

# VARIABILIDADE DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DO ESTADO DE GOIÁS

Joyce Pinheiro de Oliveira FIORI <sup>1</sup>, José Eloi Guimarães CAMPOS <sup>2</sup>,  
Leonardo ALMEIDA <sup>3</sup>

(1) Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP 70910-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: fiorijuicy@yahoo.com.br

(2) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP 70910-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: eloi@unb.br

(3) Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Goiás (SEMARH), Rua 82, s/n, Praça Cívica – Centro. Palácio Pedro Ludovico Teixeira. CEP 74083-010. Goiânia, GO. Endereço eletrônico: leoalmeida@gmail.com

Introdução  
Materiais e Métodos  
    Anéis Concêntricos  
    Open End Hole  
Resultados e Discussões  
Classificação Hidrológica dos Solos  
    Grupo 1  
    Grupo 2  
    Grupo 3  
    Grupo 4  
    Grupo 5  
Conclusões  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O agrupamento dos solos do estado de Goiás sob a ótica de seu funcionamento hídrico foi feito a partir de resultados de ensaios de infiltração *in situ* realizados na superfície e em profundidade. Para a realização dos ensaios de campo foram aplicados os métodos dos anéis concêntricos e *open end hole*. Cinco grupos de solos foram definidos, incluindo: Grupo 1, Neossolo Quartzarênico; Grupo 2, todas as classes de Latossolo, Grupo 3, Argissolo e Nitossolo, Grupo 4, Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e Plintossolo, Grupo 4, Gleissolo e Organossolo. A classificação proposta é considerada funcional e pode ser aplicada para estudos relacionados à recarga de aquíferos, contaminação de águas subterrâneas, projetos de irrigação, modelagem hidrológica e simulação do fluxo d'água em perfis de solos. A importância hidrológica quantitativa dos solos resulta nas seguintes características: Grupos 1 e 2 são associados a córregos e nascentes perenes com alta persistência de vazões; Grupo 3 é correlacionado a regiões com córregos perenes, contudo com maior variação anual de vazões; Grupo 4 presente em faixas de terrenos onde a drenagem superficial é intermitente e Grupo 5 representa zonas de descargas de aquíferos.

**Palavras-chave:** condutividade hidráulica, ensaios de infiltração, classes de solos.

**ABSTRACT** – J.P. de O. Fiori, J.E.G. Campos, L. Almeida - Variability of hydraulic conductivity of the major classes of soil of the state of Goiás, Brazil. The grouping of soil types of the Goiás state, Brazil, related to the water infiltration capacity was purposed by the results of *in situ* infiltration tests carried out in the surface and depth. The field infiltration tests were developed by the double rings methods to the surface and by the open end hole method to depth. Five soil types groups had been defined, including: Group 1, Quartzarenic Neosol; Group 2, all Latosol classes; Group 3, Argisol and Nitosol; Group 4, Cambisol, Litholic Neosol, Regolith Neosol and Plintosoil; Group 5, Gleisol and Organosol. The proposed classification is considered functional and can be applied for studies related to aquifer recharge, groundwater contamination, irrigation projects, hydrologic modeling and groundwater flow simulation profiles. The quantitative hydrologic importance of the soils hydraulic conductivities results in the following characteristics: Groups 1 and 2 are associates the perennial with high persistence of outflows streams; Group 3 is correlated the regions with perennial streams, however with larger annual variation of outflows; Group 4 present in lands where the superficial draining is intermittent and Group 5 represents zones of aquifer discharge.

**Keywords:** hydraulic conductivity, infiltration tests, soil types.

## INTRODUÇÃO

Ensaio de infiltração *in situ* representam uma série de metodologias utilizadas para estimar as condutividades hidráulicas verticais ( $K_{\theta v}$ ) do meio testado. Estes ensaios apresentam vantagens sobre os

métodos de laboratório, pois são mais rápidos, de baixo custo e não exigem a retirada de amostras deformadas ou indeformadas do material a ser testado. Os experimentos montados no campo medem a relação da taxa

de água infiltrada no tempo necessário para sua percolação e visam definir a condutividade hidráulica não saturada dos solos. Os ensaios de infiltração ou testes de permeabilidade são definidos com base no diferencial de pressão exercido no meio, e medem a quantidade de água infiltrada verticalmente na superfície do solo ou em profundidade (ABGE, 1996).

No presente estudo foi realizado um conjunto de 336 ensaios distribuídos em todo estado de Goiás (Almeida et al., 2006). A definição dos locais para realização dos ensaios foi feita com o intuito de cobrir o maior número de classes de solos, unidades geomorfológicas e geológicas, em áreas com os mais diversos tipos de uso e ocupação.

A condutividade hidráulica de um solo (em superfície e em profundidade) é um parâmetro

fundamental para se determinar ou se prever o funcionamento hídrico dos diferentes tipos de coberturas. Estes resultados são importantes para as avaliações de condições de recarga dos aquíferos, regularização de vazões de cursos d'água superficiais, comportamento de plumas de contaminação, determinação de taxas de aspersão em sistemas de irrigação, caracterização da vulnerabilidade que cada tipo de solo apresenta quanto à contaminação das águas subterrâneas rasas ou freáticas, dentre outras aplicações.

O objetivo do presente artigo é avaliar o comportamento médio da condutividade hidráulica dos solos do estado de Goiás e propor uma classificação de grupos de solos com comportamento hídrico homogêneo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Em cada ensaio foram realizados cinco testes, sendo um superficial (< 10 cm) e quatro em diferentes profundidades (50, 100, 150 e 200 cm). Essa metodologia objetivou avaliar a variabilidade da condutividade hidráulica em profundidade e permitiu obter mais de 900 valores de condutividades hidráulicas pontuais em todo estado de Goiás. Os testes superficiais foram realizados pelo método dos anéis concêntricos e os testes em profundidade foram feitos de acordo com a técnica conhecida como *open end hole*. Esses dois métodos direcionam a água na direção vertical, o que é pretendido em estudos que objetivem estimar os potenciais de recarga, onde o processo é baseado na movimentação vertical das plumas de umidade nos períodos em que há superávit hídrico.

### ANÉIS CONCÊNTRICOS

O método dos anéis concêntricos consiste na utilização de dois anéis, com diâmetros diferentes, em forma de cilindros, cravados na superfície do solo. Este arranjo resulta na delimitação de dois compartimentos que serão preenchidos com água: o compartimento externo, delimitado pela parede interna do cilindro de maior diâmetro e pela parede externa do menor cilindro; e o compartimento interno, totalmente delimitado pela parede interna do cilindro menor. A água infiltrada no solo a partir do compartimento externo apresenta uma tendência natural de fluir vertical e lateralmente. A saturação do solo nas porções imediatamente abaixo do compartimento externo permite que a água infiltrada a partir do compartimento interno infiltre predominantemente segundo o sentido vertical.

Mesmo considerando a limitação potencial do método dos anéis concêntricos em comparação dos

outros métodos (ex. simulador de chuvas, Costa et al., 1999), optou-se pela aplicação desta técnica, pois, os objetivos dos ensaios foram principalmente visando os estudos de hidrogeologia e recarga de aquíferos.

Para uma boa realização do ensaio, recomenda-se o nivelamento horizontal prévio dos anéis e a verificação da ausência de vazamentos entre os dois compartimentos.

Com o auxílio de uma trena realizam-se medidas das alturas das colunas d'água do compartimento interno, no período inicial ( $T_0$ ) e final ( $T_f$ ) tomando-se o respectivo intervalo de tempo decorrido entre as medidas. Para evitar que ocorra infiltração com componente lateral, a partir do compartimento interno, é necessário manter o nível da água no compartimento externo mais elevado que no compartimento interno.

Para a obtenção dos valores de condutividades hidráulicas verticais ( $K_{0v}$ ) do meio testado as medidas são aplicadas na equação (Bernardo, 1986):

$$K_v = U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right) \quad (1)$$

onde: I - Profundidade do anel no solo (mm);  $\Delta t$  - Intervalo de tempo do ensaio (min);  $h_0$  - Nível inicial da água após a saturação externa (mm);  $h_t$  - Nível da água ao tempo t (mm); U - Fator de conversão mm/min para m/s (1/60000);  $K_v$  - Condutividade hidráulica vertical do meio (m/s).

### OPEN END HOLE

O método denominado *open end hole*, utilizado para obter os valores de condutividades hidráulicas em profundidade, consiste em um conjunto de ensaios

utilizando-se furos verticais no solo, em profundidades de 50, 100, 150 e 200 cm, perfurados com trado manual, revestidos com tubos de PVC e cravados na base, para posteriormente serem preenchidos com água até uma altura inicial ( $h_0$ ). A água infiltrará exclusivamente pela extremidade inferior do poço (infiltração preferencialmente vertical) e, como no teste dos anéis concêntricos, medem-se as alturas das colunas d'água inicial e final e o intervalo de tempo decorrido para o rebaiamento. A estimativa das condutividades hidráulicas verticais ( $K_{\theta v}$ ) é realizada aplicando-se os valores

obtidos em campo na seguinte equação (adaptada de Earth Manual, 1974):

$$K_v = 2,303 \times \left( \frac{R}{4\Delta t} \right) \times \left[ \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \right] \quad (2)$$

com resultado em m/s, onde: K - condutividade hidráulica vertical do meio; R - raio interno do tubo (metro);  $\Delta t$  - tempo de infiltração (segundo);  $h_1$  - nível da água no início da medição (cm);  $h_2$  - nível da água após o intervalo de tempo  $\Delta t$  (cm).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de condutividade hidráulica vertical na zona não saturada dos solos são fundamentais para a avaliação das condições de infiltração que controlam a recarga dos aquíferos, bem como sua eficiência. Além desse aspecto, estes resultados também são importantes para estudos de contaminação das águas subterrâneas, pesquisas em projetos de irrigação, análise de perda de solos, avaliação geotécnica e estudos hidrológicos.

Em última análise os valores de  $K_{\theta v}$  dos solos traduzem o funcionamento hídrico das coberturas e controlam diretamente a função filtro dos aquíferos, desempenhada pela zona não saturada, e a função reguladora, exercida pela porção superior da zona saturada (descarga de base das águas subterrâneas).

Segundo Freeze & Cherry (1979) e Fetter (1994) valores típicos de condutividades hidráulicas podem ser classificados como:  $> 10^{-3}$  m/s muito alta,  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/s alta,  $10^{-6}$  m/s moderada,  $10^{-7}$  a  $10^{-8}$  m/s baixa e  $< 10^{-8}$  m/s muito baixa. De acordo com a classificação apresentada, o valor de  $K_{\theta v}$  com ordem de grandeza de  $10^{-6}$  m/s pode ser considerado como limite entre valores altos e valores baixos.

Os dados de ensaios de infiltração *in situ* apresentados no presente trabalho são considerados de alta relevância, pois foram realizados com ampla distribuição nos tipos de coberturas de solos mais comumente encontrados no estado, em diferentes condições de relevo e em diferentes condições de usos. Dessa forma, o grande número de dados (mais de 300 ensaios, com mais de 900 valores individuais, considerando os resultados de superfície e profundidade) permitiu uma avaliação estatística deste importante parâmetro físico dos solos.

A partir de uma avaliação preliminar e dos resultados dos ensaios, foram propostos agrupamentos de solos que incluem: Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo + Plintossolo + Neossolo Litólico + Neossolo Regolítico, Neossolo Quartzarênico, Argissolos + Nitossolos e Gleissolo.

Nos Latossolos Vermelhos avaliados os valores de  $K_{\theta v}$  na superfície variaram da ordem de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-7}$  m/s, com a seguinte distribuição:  $10^{-4}$  m/s (1,5% dos dados);  $10^{-5}$  m/s (40%);  $10^{-6}$  m/s (47%) e  $10^{-7}$  m/s (11,5%). Em profundidades de 50 a 200 cm os resultados variam da ordem de grandeza de  $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  m/s, com a seguinte distribuição estatística:  $10^{-5}$  m/s (3%);  $10^{-6}$  m/s (44%);  $10^{-7}$  m/s (38%) e  $10^{-8}$  m/s (15%) em uma amostragem de 91 ensaios. Os Latossolos estudados são derivados de grande variedade de materiais parentais. Foi observado que há uma tendência de diminuição da condutividade com o aumento da profundidade e que, em praticamente todos os casos foi possível desenvolver o ensaio completo, isto é, até 200 cm de profundidade. Portanto, os Latossolos Vermelhos apresentam valores de condutividade alta em 47% dos horizontes estudados e valores baixos em 53% dos casos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam valores e distribuição estatística muito similar à encontrada para os Latossolos Vermelhos, com a seguinte classificação: em superfície -  $10^{-4}$  m/s (3,3%);  $10^{-5}$  m/s (40%);  $10^{-6}$  m/s (46,7%) e  $10^{-7}$  m/s (10%) e em profundidade -  $10^{-5}$  m/s (2%);  $10^{-6}$  m/s (43%);  $10^{-7}$  m/s (37%);  $10^{-8}$  m/s (16%) e  $10^{-9}$  m/s (1%) em um total de 39 ensaios.

Apesar da aparente similaridade de valores, há uma diferença entre as duas classes de Latossolos avaliadas. Enquanto nos Latossolos Vermelhos são raras as situações onde não é possível desenvolver o ensaio até 200 cm, na classe dos Vermelho-Amarelos esse fato é recorrente, em função da presença comum de horizontes petroplínticos a profundidades maiores que 150 cm. A tendência de diminuição da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade é mais marcante nos Latossolos Vermelho-Amarelos que nos Latossolos Vermelhos, indicando a limitação da drenagem interna de alguns desses perfis.

Outro grupo de coberturas estudado é representado por uma associação de solos jovens e pouco

desenvolvidos composta por Cambissolo, Plintossolo, Neossolo Regolítico e Neossolo Litólico. Esse conjunto soma 98 ensaios, no qual raramente é possível desenvolver o ensaio a profundidades maiores que 50 cm. Os resultados indicam que em superfície os valores de  $K_{\theta v}$  variam de  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  m/s, com a seguinte distribuição:  $10^{-4}$  m/s (2,5%);  $10^{-5}$  m/s (38%);  $10^{-6}$  m/s (48%),  $10^{-7}$  m/s (9%) e  $10^{-8}$  m/s (2,5%). Em profundidade (menor que 100 cm) os valores variam da seguinte forma:  $10^{-5}$  m/s (8%);  $10^{-6}$  m/s (16%);  $10^{-7}$  m/s (60%) e  $10^{-8}$  m/s (16%).

Salienta-se que em superfície 88,5% dos resultados são maiores que  $10^{-6}$  m/s e que em profundidade, 76% dos valores são menores que  $10^{-6}$  m/s. Esse fato é devido à freqüente pedregosidade observada no horizonte superficial desses solos. Neste conjunto de solos, a percolação da água para maiores profundidades é dificultada e a elevada infiltração inicial é em grande parte perdida por interfluxo entre os horizontes A e Bi ou A e C.

Uma classe de Neossolo que apresenta funcionamento hídrico distinto, tanto dos demais Neossolos, quanto dos Latossolos, foi tratada como um único grupo. Trata-se dos Neossolos Quartzarênicos (areia quartzosa da classificação de solos anterior a 1999) que apresentam a seguinte variação de condutividade hidráulica para 39 ensaios: em superfície:  $10^{-4}$  m/s (15%),  $10^{-5}$  m/s (54,5%),  $10^{-6}$  m/s (23%) e  $10^{-7}$  m/s (7,5%), em profundidade: de 50 a 200 cm -  $10^{-5}$  m/s (14,8%),  $10^{-6}$  m/s (68,2%) e  $10^{-7}$  m/s (8%). Nessa classe de solos, há uma notável manutenção de valores moderados ( $>10^{-6}$  m/s) por toda a extensão do perfil, sendo que os raros valores  $<10^{-6}$  m/s correspondem a situações com maior quantidade de argilas infiltradas ou de argilominerais neoformados.

Os solos que apresentam em seus processos pedogenéticos a translocação de argilas dos horizontes

superficiais para os mais profundos foram tratados em um conjunto representado por uma associação de Argissolo + Nitossolo, ou seja, solos com horizontes diagnósticos B textural (Bt) ou B nítico (Bn). Nesse caso, a distribuição estatística dos resultados de condutividade hidráulica foi a seguinte:  $K_{\theta v}$  superficial  $10^{-4}$  m/s (2,9%),  $10^{-5}$  m/s (26,4%),  $10^{-6}$  m/s (58,8%) e  $10^{-7}$  m/s (11,9%) e  $K_v$  em profundidade  $10^{-5}$  m/s (0,8%),  $10^{-6}$  m/s (40,3%),  $10^{-7}$  m/s (36,8%),  $10^{-8}$  m/s (21,3%) e  $10^{-9}$  m/s (0,8%) (total de 51 ensaios). O processo de acumulação das argilas em horizontes mais profundos fica claro quando se analisa de forma global os resultados superiores e inferiores a  $10^{-6}$  m/s, o que resulta em que 88,1% dos resultados em superfície são maiores que  $10^{-6}$  m/s e que apenas 41,1% dos resultados em profundidade maior que 50 cm são maiores que  $10^{-6}$  m/s.

Os solos com deficiência de drenagem e horizonte B glei (Bg) também foram tratados em um único conjunto. Os 23 ensaios *in situ* realizados em solos dessa classe alcançaram os seguintes resultados: em superfície -  $10^{-5}$  m/s (20%),  $10^{-6}$  m/s (50%) e  $10^{-7}$  m/s (30%) e em profundidade  $10^{-6}$  m/s (26%),  $10^{-7}$  m/s (39%),  $10^{-8}$  m/s (30%) e  $10^{-9}$  m/s (5%).

A análise global dos resultados apresentados de forma sinóptica na Tabela 1 permite destacar alguns aspectos gerais.

- Mais de 85% de todos os resultados em superfície (com exceção dos gleissolos) são maiores que  $10^{-6}$  m/s. Esse fato é decorrente da atividade biológica (raízes e organismos) que provoca bioturbação intensiva nos primeiros centímetros dos solos.
- Apenas a associação de Cambissolos, Neossolos e Plintossolos apresenta valores menores que  $10^{-7}$  m/s para o  $K_{\theta v}$  em superfície. Esse fato é devido à

**TABELA 1.** Distribuição estatística dos resultados dos ensaios de infiltração *in situ* nas diferentes classes de solos em superfície e em profundidade. (-) valores não encontrados nos ensaios.

Classes ou associações de solos	Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em m/s									
	Em superfície					Em profundidade				
	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Neossolo Quartzarênico	15%	54,5%	23%	7,5	-	7%	68,2%	17%	-	-
Latossolo Vermelho	1,5%	40%	47%	11,5%	-	3%	44%	38%	15%	-
Latossolo Vermelho-amarelo	3,3%	40%	46,7%	10%	-	2%	44%	37%	16%	1%
Argissolo + Nitossolo	2,9%	26,4%	58,8%	11,9%	-	0,8%	40,3%	36,8	21,3%	0,8%
Cambissolo + Plintossolo + Neossolo litólico e Regolítico	2,5%	38%	48%	9%	2,5%	8%	16%	60%	16%	-
Gleissolo	-	20%	50%	30%	-	-	26%	39%	30%	5%

exposição de saprolitos diretamente na superfície do terreno, nos casos em que os horizontes A são fracos e sem pedregosidade. Quando desenvolvido sobre rochas argilosas, alguns desses solos muito jovens e pouco desenvolvidos podem ser considerados virtualmente impermeáveis desde a superfície do terreno.

- A partir de 50 cm de profundidade não há resultados maiores que  $10^{-5}$  m/s e mesmo os valores maiores que  $10^{-6}$  m/s são estatisticamente representados por menos de 10% dos dados. Este fato é atribuído a maior presença de argila com aumento da profundidade (para algumas classes de solos), pela diminuição progressiva da estruturação dos solos (principalmente para os latossolos) e pela diminuição da porosidade (a partir do aumento do peso do próprio perfil).

### CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DOS SOLOS

Do ponto de vista do funcionamento hídrico dos solos, propõe-se uma classificação das coberturas estudadas em cinco agrupamentos, em função dos valores e da variabilidade vertical das condutividades hidráulicas. O mapa da Figura 1 mostra a distribuição dos grupos hidrológicos de solos no Estado de Goiás. A seguir são descritas as principais características de cada grupo.

### Grupo 1

O Grupo 1 é relacionado aos Neossolos Quartzarênicos, que apresentam um comportamento homogêneo de elevados valores de  $K_{\theta v}$  independente da profundidade considerada.

Os materiais sem estrutura são desenvolvidos a partir de arenitos da Bacia do Paraná (principalmente Grupo Bauru, Formação Furnas e Formação Ponta Grossa), de colúvio de arenitos da Bacia Sanfranciscana, de quartzitos do Grupo Araxá e de aluviões cenozóicos da Formação Araguaia. Apresentam espessuras variáveis desde 2 m, quando associados a quartzitos até mais de 20 m quando derivados dos diversos arenitos distribuídos pelas bacias sedimentares. Está distribuído em cerca de 4% da poligonal do estado.

Os valores de condutividade hidráulica de sua zona não saturada variam, na superfície, de  $1,0 \times 10^{-7}$  m/s a  $1,0 \times 10^{-4}$  m/s (média de  $3,3 \times 10^{-5}$  m/s) e, em profundidade, de  $5,0 \times 10^{-9}$  m/s a  $5,7 \times 10^{-4}$  m/s (média de  $4,0 \times 10^{-6}$  m/s). Considerando as variações de espessuras saturadas variando de 1 a 40 m, a transmissividade média desse sistema deve variar entre  $4,0 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s e  $1,6 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. A porosidade total é estimada em 18% e a porosidade efetiva em torno de 12%, uma vez que essa classe de cobertura não apresenta estruturação, mas apenas textura arenosa em grãos simples.

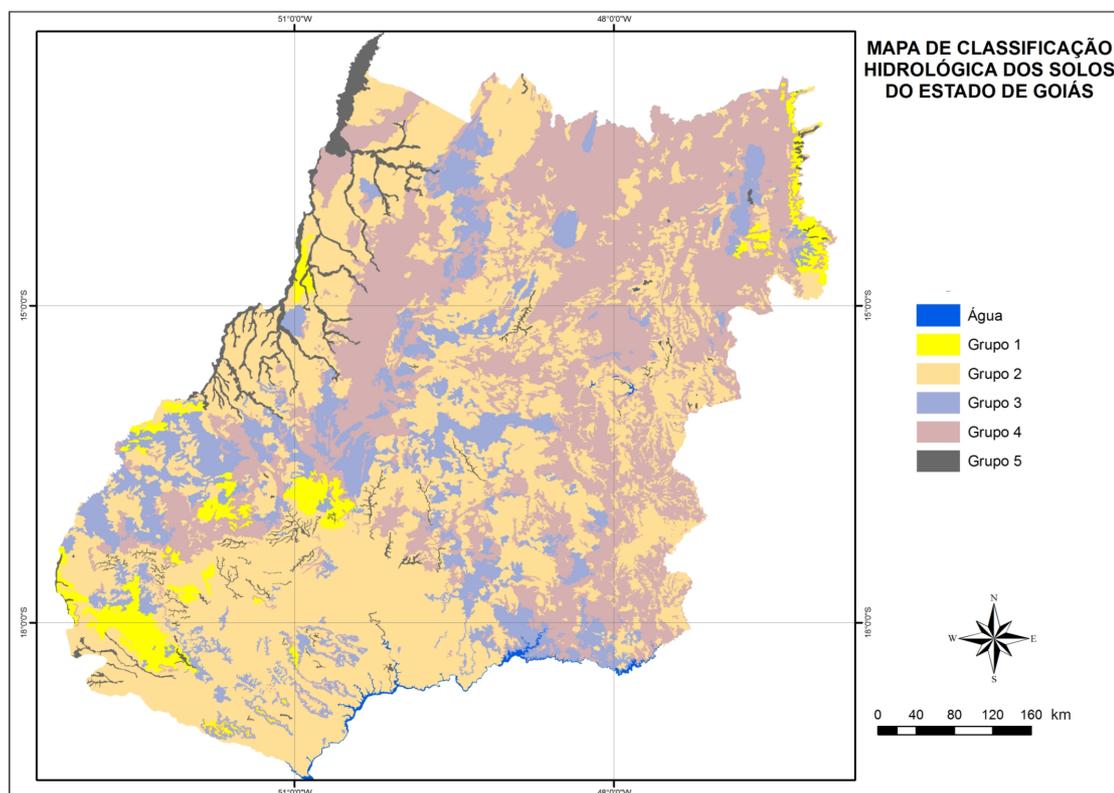


FIGURA 1. Distribuição das classes hidrológicas de solos no Estado de Goiás.

## Grupo 2

O Grupo 2 é representado pelos Latossolos, uma vez que tem ampla similaridade de valores absolutos, distribuição estatística e distribuição vertical dos resultados de  $K_{\theta v}$ .

Pedologicamente, este grupo inclui todas as classes de Latossolos (Vermelho, Vermelho-Amarelo, Amarelo e Bruno) e, portanto apresenta maior expressão areal no estado (ocupa cerca de 45% da área total). Geomorfologicamente, é fortemente vinculado às superfícies de aplainamento regionais, com padrão de relevo suave ondulado a plano.

Esta classe de solo apresenta uma feição marcante relacionada à presença de estruturas do tipo granular ou grumosa que faz com que todos os latossolos, independente de sua textura (muito argilosa, argilosa, franca, arenosa e etc.) resultem em materiais com funcionamento hídrico similar, de forma geral, de alta condutividade hidráulica e elevada porosidade eficaz.

Os valores da condutividade hidráulica variam, na superfície, na ordem de grandeza de  $10^{-7}$  até  $10^{-4}$  m/s, e em profundidade, de  $10^{-9}$  a  $10^{-4}$  m/s, sendo os valores médios de  $3,3 \times 10^{-5}$  m/s em superfície, e  $4,0 \times 10^{-6}$  m/s em profundidade. A porosidade total pode ser superior a 20% e a porosidade efetiva é estimada entre 7 a 9% em função da variação textural. A diminuição significativa da porosidade é devida à alta fração de micro porosidade presente nos latossolos.

## Grupo 3

O Grupo 3 é constituído pela associação Argissolos e Nitossolos; nesse grupo, o fator relevante é o contraste entre os valores na superfície e a significativa diminuição a maiores profundidades (nos latossolos esse fenômeno ocorre, contudo de forma menos sensível).

Este grupo inclui os solos com horizonte diagnóstico B textural e B nítico, com argila de baixa atividade, classificados como Argissolo e Nitossolo. De forma geral, estes tipos de cobertura (solo e saprolito) apresentam espessuras médias inferiores a 15 m.

Os valores médios de condutividade hidráulica vertical, na superfície em profundidade, são respectivamente de  $1,4 \times 10^{-5}$  m/s e de  $2,5 \times 10^{-6}$  m/s. Devido à significativa diminuição da condutividade hidráulica em profundidade, há uma tendência de desenvolvimento de fluxo interno, que dificulta a recarga dos aquíferos situados a maiores profundidades.

O comportamento da porosidade é considerado similar ao dos latossolos, sendo que nesse caso, a poro-

sidade efetiva pode sofrer uma diminuição nos horizontes que recebem a argila translocada a partir dos horizontes mais rasos e o valor médio é definido como 6%.

Estes solos, em geral, sobrepõem rochas básicas e ultrabásicas e mais raramente rochas carbonáticas. Quando os solos apresentam-se ricos em fragmentos rochosos (rochosidade e/ou pedregosidade) a condutividade hidráulica pode ser incrementada, melhorando as características gerais de drenagem do perfil.

Este sistema está distribuído sobre relevo ondulado a forte ondulado ou sobre rebordos de chapadas.

## Grupo 4

O Grupo 4 é representado pela associação de solos jovens ou pouco desenvolvidos que inclui Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e Plintossolo, os quais tem valores de  $K_{\theta v}$  menores que  $10^{-6}$  m/s em mais da metade dos casos, tanto na superfície quanto em profundidade.

Com exceção dos plintossolos, a ampla maioria dos solos que compõem este grupo ocorre em regiões de relevo forte ondulado. São desenvolvidos a partir de metassedimentos de baixo grau relacionados aos grupos Araxá, Canastra, Paranoá, Serra da Mesa e Araí. Ocupa cerca de 30% da área do estado.

As áreas em que ocorrem solos deste grupo apresentam a maior parte dos cursos de águas superficiais intermitentes, pois como a infiltração da água de precipitação é limitada, o escoamento superficial é elevado e a transferência de água subterrânea para alimentação de nascentes e drenagens é reduzida.

## Grupo 5

É associado aos Gleissolos e Organossolos, por conter as coberturas com menores valores absolutos de  $K_{\theta v}$  desde a superfície até as maiores profundidades.

Estes solos ocorrem em áreas limitadas compondo apenas cerca de 1% da área do estado. Ocorrem em áreas planas e permanecem a maior parte do tempo encharcados, com nível de saturação próximo à superfície.

Este é o grupo de solo onde há o maior percentual de resultados de  $K_{\theta v}$  menores ou iguais a  $10^{-8}$  m/s (35% dos resultados) e menores ou iguais a  $10^{-7}$  m/s (74% dos dados), o que sem dúvida, mostra que a associação de Gleissolo e Organossolo tem as piores condições de drenagem do perfil (e por isso são permanentemente ou sazonalmente encharcados).

## CONCLUSÕES

As condutividades hidráulicas verticais ( $K_{\theta v}$ ) foram obtidas a partir da realização de 336 ensaios de infiltração

*in situ* distribuídos em todo o estado de Goiás, com auxílio dos métodos dos anéis concêntricos e *open end hole*.

O agrupamento em cinco conjuntos inclui: Grupo 1 (Neossolo Quartzarênico), Grupo 2 (todas as classes de Latossolo), Grupo 3 (Argissolo e Nitossolo), Grupo 4 (Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Plintossolo) e Grupo 5 (Gleissolo e Organossolo).

As variações da condutividade hidráulica vertical ( $K_{\theta v}$ ), de cada grupo dos diferentes tipos de coberturas de regolitos e solos, são controladas, principalmente, pela estrutura e macroporosidade do perfil. A diminuição da condutividade observada com o aumento da profundidade é devida aos processos de translocação de argilas (Grupo 3) e pela redução da estruturação granular e grumosa (Grupo 2).

O Solo do Grupo 1 apresenta a maior condutividade desde a superfície até maiores profundidades, pois se trata de um perfil homogêneo, composto por grãos simples e com materiais parentais e substrato caracterizado por material arenoso muito permeável.

O Grupo 5 representa perfis com deficiência de drenagem, ora pela própria natureza do material, que

apresenta textura muito argilosa, na maioria dos casos, ora pela natureza impermeável do substrato, que mantém os níveis d'água elevados (ex.: Neossolo Quartzarênico hidromórfico).

Os resultados obtidos do presente trabalho podem ser aplicados em outras áreas do centro-oeste brasileiro no contexto morfoclimático e geomorfológico do cerrado.

A rede de drenagem superficial associada aos solos dos grupos 1 e 2 apresenta as maiores vazões específicas e uma tendência de regularização de vazões (são essencialmente córregos perenes). Os cursos d'água situados em áreas de ocorrência dos solos do Grupo 3 tendem a ser perenes, entretanto mostram amplas variações de vazões entre os períodos chuvosos e secos do ano. Os solos do Grupo 4 são relacionados a córregos intermitentes, com fluxo mais abundante no período chuvoso, que na época de recessão das chuvas. Por fim, os solos do Grupo 5 são áreas de descarga de aquíferos e compõem áreas encharcadas e campos úmidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. Ensaio de permeabilidade em solos - orientações para sua execução no campo. 3 ed. **Boletim**, n. 4, 35 p., 1996.
2. ALMEIDA, L.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A.P.; CAMPOS, J.E.G. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Superintendência de Geologia e Mineração, Governo de Estado de Goiás, 230 p., 2006.
3. BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 596 p., 1986.
4. COSTA, E.L.; SILVA, A.M.; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.
5. EARTH MANUAL. A Water Resources Technical Publication: **A guide to the use of soils as foundations and as construction materials for hydraulic structures**. Washington D.C., U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 2 ed., 810 p., 1974.
6. FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. 3 Ed. New York: MacMillan College Publisher Co., 691 p., 1994.
7. FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. **Groundwater**. New York: Prentice Hall, 604 p., 1979.

*Manuscrito Recebido em: 25 de fevereiro de 2010  
Revisado e Aceito em: 24 de maio de 2010*