

---

CONTRIBUIÇÃO PRELIMINAR AOS ESTUDOS DA EROÇÃO NO MUNICÍPIO DE  
UBERLÂNDIA - MG: AVALIAÇÃO SOB O ASPECTO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM  
ENSAIOS *IN SITU* COM O USO DE INFILTRÔMETRO DE DUPLO CILINDRO

*Kelly Maria Resende Borges*  
Bolsista IC - CNPq

*Luiz Nishiyama*  
Prof. do DEGEO - UFU

*Lázaro Valentin Zuquette*  
Prof. do Dep. de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos - USP

**RESUMO:** *Apresentam-se resultados preliminares de um estudo em andamento no Município de Uberlândia-MG, cujo objetivo é determinar o potencial erosivo do solo mediante ensaios de infiltração de água **in situ**, com o uso de um infiltrômetro de duplo cilindro. Foi escolhida uma área ao norte do Município por apresentar maior diversidade litológica, de landforms, de tipos de materiais inconsolidados, de condições de uso e ocupação e de erosão. A delimitação das unidades homogêneas dos materiais inconsolidados foi realizada a partir de critérios relacionados à textura, natureza e **landform**, resultando na identificação de 11 unidades. Com base na análise de informações combinadas entre resultados dos ensaios de infiltração, de laboratório, unidades de materiais inconsolidados e uso do solo, verificou-se que existe uma boa correlação entre infiltração de água e erosão do solo.*

Palavras Chaves: *erosão; infiltração de água; materiais inconsolidados*

**ABSTRACT:** *The work presents preliminary results obtained by studies that are developing in the municipality of Uberlândia - MG, with the objective of determining the erosive potential of the soil by water infiltration tests **in situ** with the use of a double cylinder infiltrometer. A delimited area was sought which constituted a certain lithological diversity, of landform, of types of unconsolidated materials, state of use and soil erosion. Sampling of unconsolidated materials were defined by criteria based on texture, type, nature and landform, resulting in the identification of 11 surface units. An analysis of the combined information from the infiltration tests, laboratory and map of unconsolidated materials makes it possible to affirm that there is good correlation between water infiltration and soil erosion.*

Key Words: *erosion, water infiltration, unconsolidated materials*

---

## INTRODUÇÃO

O processo de avaliação do meio físico no Brasil, para fins de planejamento do uso e da ocupação, de uma maneira geral esbarra

na ausência de informações básicas, tais como: mapas em escalas adequadas (topográfico, geológico, geomorfológico, pedológico e outros); resultados de trabalhos de pesquisa; dados de sondagens; perfis

litológicos; além de outras informações acerca das condições do meio físico.

Mesmo nos grandes centros urbanos, pouco se conhece das reais condições do meio físico, no que se refere à suas limitações e/ou a suas potencialidades. As limitações, quando desconhecidas ou não consideradas no processo de planejamento, acabam por desencadear sérios problemas de natureza ambiental, social e econômico.

Se de um lado a realidade sócio-econômica do País e a sua extensão territorial são responsáveis, em parte, pela baixa densidade de informação, por outro lado, o interesse imediato em uma dada situação tem relegado uma série de dados a um segundo plano, ou até mesmo a sua desconsideração.

Em decorrência dessa realidade, estudos que visam a avaliação do meio físico necessitam suprir a ausência de informações básicas por meio de sua produção, o que, com certeza, constitui-se em uma etapa dispendiosa em termos de recursos e de tempo, porém imprescindível para a sua realização.

Conscientes dessa situação, tem-se buscado em trabalhos de mapeamento geotécnico produzidos junto ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, meios alternativos de levantamento de informações que sejam mais adequados à nossa condição sócio-econômica e extensão territorial. O trabalho pioneiro nesse sentido iniciou-se com a proposta metodológica de ZUQUETTE (1987).

Com base nessa proposta, encontra-se em andamento um trabalho de mapeamento geotécnico no âmbito do Município de Uberlândia, em escala 1:100.000, no qual vêm sendo abordados aspectos do meio físico mediante levantamento de seus atributos, objetivando orientar diferentes formas de ocupação.

Na área do município, os processos de erosão por ravinas e boçorocas evidenciam-se como um dos mais sérios problemas ambientais, seja pela imensa quantidade de material removido da superfície dos terrenos e conseqüente assoreamento de canais fluviais e reservatórios de água, seja por consistir em um dos maiores entraves à ocupação local e regional.

Com vistas às características de susceptibilidade à erosão dos materiais inconsolidados, presentes no município, procurou-se fazer uma avaliação da sua capacidade de infiltração *in situ* mediante a utilização de um infiltrômetro de duplo cilindro. Os resultados apresentados no trabalho referem-se a uma parte do município de Uberlândia, delimitada em sua porção norte.

#### **PRESSUPOSTO DA UTILIZAÇÃO DO ENSAIO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA *IN SITU* VISANDO O ESTUDO DA EROSIÃO**

A água da chuva, ao atingir direta e/ou indiretamente a superfície do terreno, pode seguir dois caminhos principais: uma parte infiltra-se através dessa superfície; e a outra escoar-se sobre ela. Para efeito de erosão, é essa segunda parcela que tem maior importância, por ser a responsável pela remoção de partículas que oferecem pouca resistência à energia cinética do escoamento. Vários são os fatores que influem nos processos de erosão, dentre os quais pode-se citar: textura dos materiais inconsolidados; tipo de argilo-mineral presente; grau de cimentação; capacidade de infiltração; forma e comprimento da encosta; declividade; cobertura vegetal; uso do solo e erosividade. Todos esses fatores atuam de forma mais ou menos interdependente.

Embora a quantificação da infiltração seja um procedimento menos freqüente em relação aos demais fatores no estudo dos processos de erosão, esta pode fornecer informações importantes quanto à possibilidade de formação do escoamento

superficial e conseqüente desenvolvimento de formas erosivas. Uma elevada capacidade de infiltração é inversamente proporcional à quantidade de escoamento superficial; em outras palavras, a ocorrência de escoamento superficial depende da relação entre intensidade de precipitação e capacidade de infiltração.

Devido às dificuldades de proceder-se à quantificação da infiltração sob condições de chuvas naturais em áreas extensas, torna-se imprescindível a adoção de um método de simulação que apresente valores próximos da situação real.

Constatou-se, a partir de consultas bibliográficas, que são três os principais métodos de ensaios *in situ* para a obtenção da taxa e capacidade de infiltração de água no solo: infiltrômetros de cilindro simples, de cilindro duplo e simulador de chuva.

O método do cilindro simples geralmente conduz à superestimação da velocidade de infiltração em razão da formação de um fluxo lateral de água (efeito de bordadura).

Apesar de ser o método de ensaio que mais se aproxima das condições naturais (chuvas naturais), o uso do simulador implica em custos elevados em relação aos infiltrômetros e maior dificuldade operacional.

Optou-se, portanto, com base na análise comparativa entre os métodos, adotar o infiltrômetro de cilindro duplo por este apresentar uma condição intermediária aos outros dois tipos, tanto em termos de custo quanto de benefício.

A utilização desse tipo de infiltrômetro tende a minimizar o efeito do fluxo lateral, uma vez que a verticalidade da infiltração através do cilindro interno (infiltrômetro) é assegurada pela infiltração que se processa no cilindro externo (Figura 01).

Objetiva-se, com a realização do ensaio de infiltração, a obtenção da curva de infiltração de água em função do tempo. De posse do conjunto de valores obtidos pela leitura do abaixamento do nível d'água em tempos estabelecidos, determina-se a velocidade de infiltração. Essa velocidade é relativamente elevada no início da infiltração, diminuindo com o tempo, até atingir valores que tendem à constante após algumas horas de ensaio, quando se atinge a infiltração básica (I<sub>b</sub>). Quando plotados em um gráfico, com as velocidades de infiltração representadas no eixo das ordenadas e o tempo no eixo das abscissas, evidencia uma função exponencial.

Determinada a curva de infiltração e a infiltração básica, torna-se possível estimar a intensidade crítica de precipitação, abaixo da qual toda a água será infiltrada no solo, e acima desta dar-se-á início ao escoamento superficial.

## ASPECTO FÍSICOS DA ÁREA INVESTIGADA

### LOCALIZAÇÃO

A primeira etapa de execução dos ensaios de infiltração *in situ* foi realizada em uma área do município localizada em sua porção norte, limitada pelas coordenadas geográficas de 18°35'30" - 18°45'00" S e 48°15'00" - 48°32'00" W.G., abrangendo uma superfície de aproximadamente 540 Km<sup>2</sup>.

### GEOMORFOLOGIA

Inserido no domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná - sub-unidade Planalto Setentrional (RADAM, 1983), a área em questão apresenta duas unidades distintas no que se refere à estruturação do relevo, as quais podem ser caracterizadas da seguinte maneira:

- a) relevo suave desenvolvido em porções de cimeira, onde predominam colinas alongadas e superfícies de topos horizontalizados, remanescentes das chapadas;

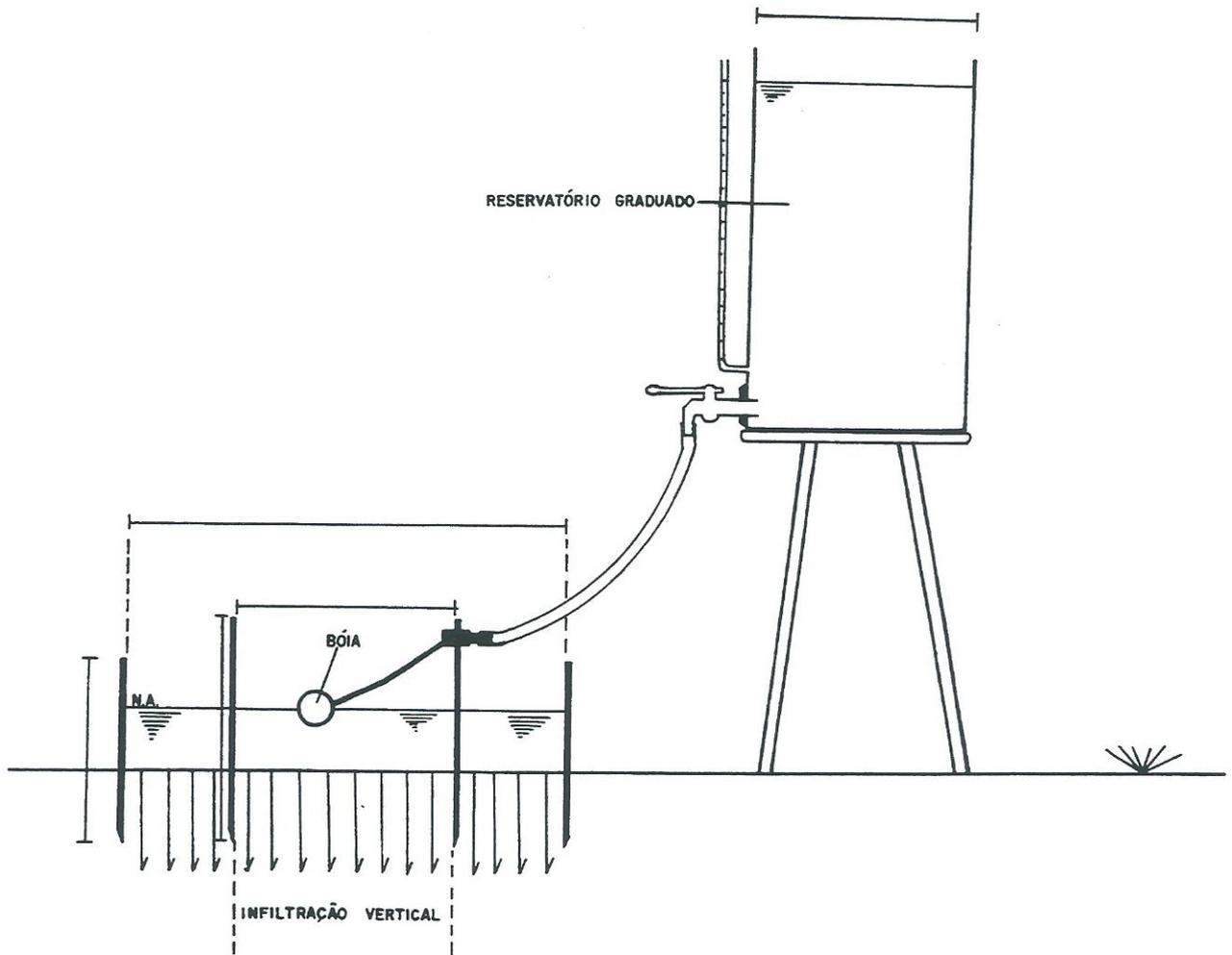


FIGURA 01 - ESQUEMA DE INFILTRÔMETRO DE CILINDRO DUPLO

b) relevo fortemente inclinado com zonas de relevo moderado intercaladas (patamares interderrames), desenvolvido pela ação do profundo entalhe fluvial (rios Araguari, Uberabinha e das Pedras), responsável pela exposição de litologias das formações Marília, Serra Geral, Botucatu e do Grupo Araxá.

sua porção limítrofe com o embasamento cristalino. Acha-se representada pelas litologias das formações Marília, Serra Geral, Botucatu e do Grupo Araxá. A síntese da constituição geológica dessa porção do município é apresentada na tabela 01. As unidades do substrato rochoso acham-se representadas no mapa da Figura 02.

## GEOLOGIA

### - Mapa do Substrato Rochoso

A área estudada situa-se na borda nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, em

Apesar de presente na área, a Formação Botucatu não foi representada no mapa do substrato rochoso em razão de constituir corpos lentiformes de pequena extensão e espessuras geralmente inferiores a 5 metros. Assenta-se diretamente sobre as litologias do

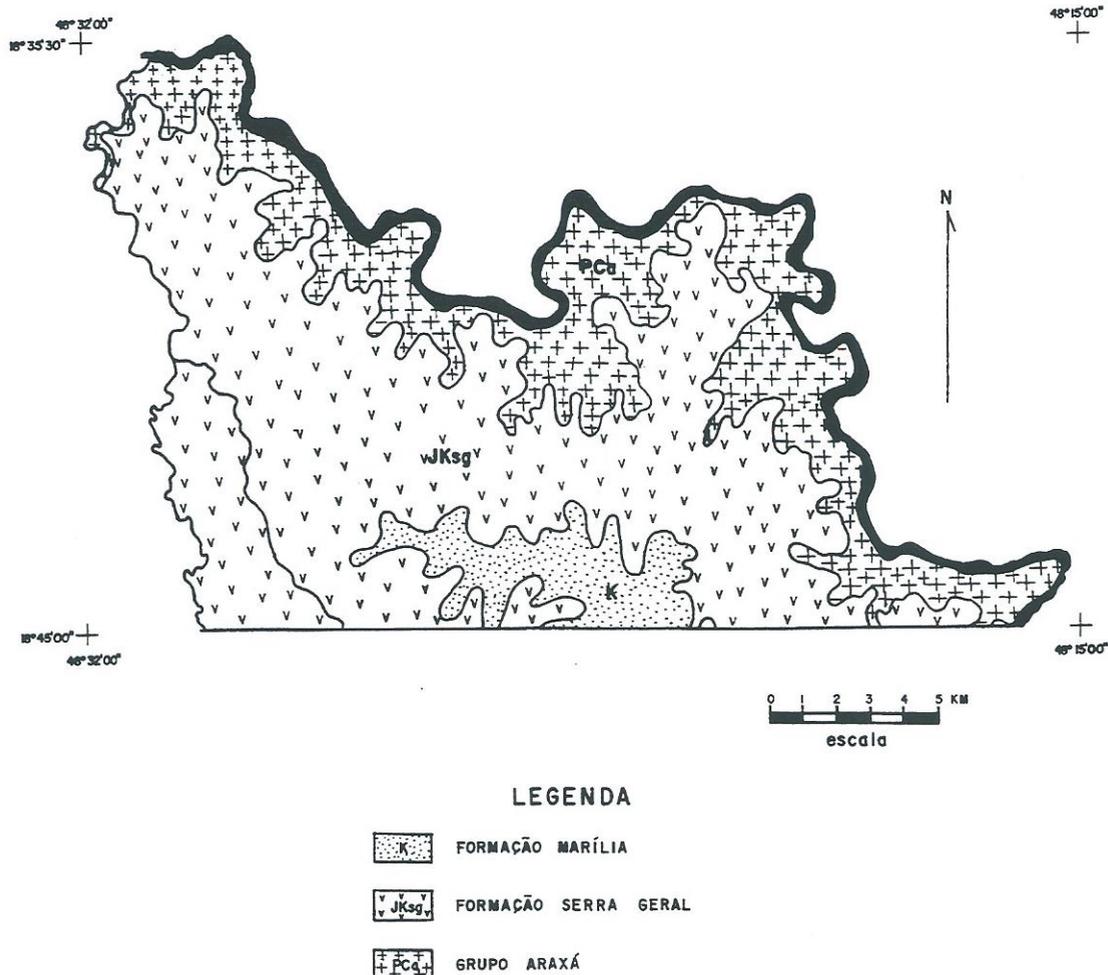


FIGURA 02 - MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO - NORTE DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA

**Tabela 01 - Constituição Geológica da porção norte do município de Uberlândia**

Grupo	Formação	Litologias
Bauru Marília São Bento Botucatu Araxá	arenitos imaturos, arenitos Serra Geral basaltos muscovita - biotita - quartzo xisto, muscovita - sericita - granada - quartzo xisto e muscovita quartzito	conglomeráticos e conglomerados  arenitos eólicos

**Tabela 02 - Características e variações das unidades dos materiais inconsolidados presentes na porção norte do município de Uberlândia.**

Unidades	Características e variações
Residuais da Formação Marília (1)	- materiais rudáceos nas bordas das áreas de cimeira (1.1) - materiais areno-argilosos em áreas de topo (1.2)
Residuais da Formação Serra Geral (2)	- residual litólico (2.1) - pequena espessura de material de alteração (menos de 1 metro). - residual (2.2) com mais de 1 metro de espessura
Residuais do Grupo Araxá (3)	- residual litólico (3.1) - residual com mais de 1 metro de espessura (3.2)
Retrabalhado arenoso (4)	- contribuição predominante da Formação Marília
Retrabalhado argilo-arenoso (5)	- contribuição da Formação Serra Geral e Marília; pode conter seixos, argila e areia em proporções variáveis
Retrabalhado argiloso (6)	- forma depósitos coluvionares com contribuição predominante de materiais de alteração do basalto
Retrabalhado argiloso (7)	- contribuição de materiais de alteração do basalto e do Grupo Araxá
Retrabalhado argiloso (8)	- contribuição predominante dos litotipos do Grupo Araxá
Depósito de tálus (9)	- pequena espessura, associado à áreas de relevo abrupto da Formação Serra Geral
Depósito de tálus (10)	- pequena espessura, associado à áreas de relevo abrupto do Grupo Araxá
Depósitos aluvionares (11)	- materiais arenosos associados a seixos rolados



**LEGENDA**

- 1-2 RESIDUAL DA FORMAÇÃO MARÍLIA - 1-2 - ARENOSO
- 2-1 2-2 RESIDUAIS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL - 2-1 - ESPESSURA MENOR 1 METRO  
- 2-2 - ESPESSURA MAIOR 1 METRO
- 3-1 3-2 RESIDUAIS DO GRUPO ARAXÁ - 3-1 - ESPESSURA MENOR 1 METRO  
3-2 - ESPESSURA MAIOR 1 METRO
- 5 RETRABALHADO ARGILO-ARENOSO - CONTRIBUIÇÃO SERRA GERAL E MARÍLIA
- 6 RETRABALHADO ARGILOSO - CONTRIBUIÇÃO PREDOMINANTE SERRA GERAL
- 7 RETRABALHADO ARGILOSO - CONTRIBUIÇÃO PREDOMINANTE GRUPO ARAXÁ E SERRA GERAL
- 8 RETRABALHADO ARGILOSO - CONTRIBUIÇÃO PREDOMINANTE GRUPO ARAXÁ
- 11 DEPÓSITOS ALUVIONARES
- LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

**FIGURA 03 - MAPA DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS - NORTE DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA**

Grupo Araxá ou, então, formam intertrapes nos basaltos.

### - Mapa dos Materiais Inconsolidados

Foram identificadas 11 unidades homogêneas de materiais inconsolidados denominadas residuais (quando resultantes da alteração *in situ* de materiais do substrato rochoso) e de retrabalhados (quando mostram evidências de remobilização em relação ao seu local de origem). As unidades homogêneas dos materiais inconsolidados estão descritas na Tabela 02 e representadas no mapa da Figura 03.

As unidades 4, 9 e 10 não foram representadas no mapa da Figura 03 por constituir depósitos dispersos e de pequena extensão, geralmente sobrejacentes aos residuais da Formação Marília, Serra Geral e Grupo Araxá, respectivamente.

## METODOLOGIA

Antecedendo à fase de ensaios de infiltração, foram elaborados quatro mapas básicos (de declividade, do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados e de densidade de erosão por sulcos), com a finalidade de se definir as unidades dos materiais inconsolidados e os locais de amostragem.

Realizou-se um conjunto de 38 ensaios de infiltração, dos quais 8 pontos foram para confirmação dos resultados anteriormente obtidos.

O infiltrômetro utilizado consiste em cilindros de aço confeccionados com chapa de 3mm de espessura. As dimensões do cilindro maior são de 60 cm de diâmetro por 25 cm de altura, e as do cilindro menor (infiltrômetro) são 30 cm por 30 cm.

Os dois cilindros são cravados no solo cerca de 10 cm, em disposição concêntrica. O cilindro interno acha-se ligado através de uma bóia a um reservatório graduado em milímetros, de mesmo diâmetro, no qual se procede à

leitura da altura infiltrada. A espessura da lâmina de água no infiltrômetro é controlada pela bóia. Durante os ensaios, essa espessura foi mantida entre 5 e 8 centímetros. No espaço anular entre os cilindros também é colocada a água, a fim de assegurar a verticalidade da infiltração no cilindro interno (Figura 01).

As leituras foram realizadas nos seguintes tempos: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos, conforme proposto por CAUDURO & DORFMAN (1986).

Com os valores das leituras nos tempos determinados e das diferenças de abaixamento do nível d'água  $h = h_n - h_{n-1}$  para as diferenças de tempo correspondentes  $t = t_n - t_{n-1}$ , pode-se calcular a velocidade de infiltração para cada um daqueles instantes.

$$v_i = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times 60 = \frac{h_n - h_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \times 60$$

Uma vez calculadas as velocidades de infiltração, estas foram plotadas em um gráfico (eixo das ordenadas), relacionando-as com tempo de leitura (eixo das abcissas).

Concomitantemente aos ensaios, realizou-se a amostragem dos materiais inconsolidados visando a obtenção dos índices físicos em ensaios de laboratório. Foram coletadas amostras com uso de trado a cada 20 cm de profundidade, próximo aos cilindros e no próprio ponto de infiltração, após o ensaio. Coletou-se, ainda, amostras indeformadas, a uma profundidade média de 60 cm, em cilindro de PVC rígido com dimensões de 76 mm de diâmetro por 48 mm de altura.

## RESULTADOS

De uma maneira geral, as unidades ensaiadas apresentaram valores relativamente elevados de infiltração básica (Ib), mesmo para solos de textura predominantemente argilosa, como os residuais da Formação Serra Geral (2), retrabalhado argilo-arenoso (5),

**Tabela 03 - Valores de infiltração básica, índices físicos e uso do solo para as unidades de materiais inconsolidados ensaiadas**

Unidade	Ponto	Ib (mm/h)	n (g/cm <sup>3</sup> )	dn (g/cm <sup>3</sup> )	e <sub>0</sub>	Textura (%)		Uso do solo		
						P	A	S	Ar	
(2)	10	180				1,0	15,0	13,2	70,8	pastagem
	17	120				0,7	15,3	22,0	62,0	pastagem
	18	150								pastagem
	19	120								agricultura
	20	225				1,5	2,50	22,0	74,0	agricultura
(4)	21	150								pastagem
	22	180				0,2	3,80	12,2	83,8	pastagem
	4	60								agricultura
	4a	18	1,384	1,214	1,224	0,0	50,0	5,0	45,0	agricultura
	7	270								pastagem
(5)	7a	180	1,458	1,362	0,982	0,20	60,8	7,5	31,5	pastagem
	12	270								mata
	25	235	1,343	1,241	1,176					pastagem
	1	60				1,0	15,0	24,0	60,0	pastagem
	8	150								agricultura
(6)	23	50								pastagem
	27	82	1,563	1,346	1,006					agricultura
	2	30								pastagem
	3	50								agricultura
	5	60								agricultura
	5a	31	1,180	0,943	2,181	0,2	8,80	18,5	72,5	agricultura
	24	28	1,318	1,049	1,860	0,6	3,40	23,5	72,5	pastagem
	26	39	1,396	1,128	1,659					pastagem
	28	44	1,471	1,166	1,573					pastagem
	29	78	1,256	1,039	1,887					pastagem
(7)	6	120								agricultura
	6a	132	1,397	1,146	1,618					agricultura
	11	120								pastagem
	11a	116	1,246	1,053	1,659					pastagem
	13	240								agricultura
	13a	112	1,265	1,059	1,644					agricultura
	13b	186								agricultura
	14	60								agricultura
(8)	15	60								agricultura
	15a	207	1,250	1,011	1,770	0,8	13,2	16,5	69,5	agricultura
	15b	72	1,301	1,063	1,634					agricultura
	16	90								pastagem

Ib = infiltração básica

n = massa específica natural

P = pedregulho

A = areia

d<sub>n</sub> = massa específica seca natural

e<sub>0</sub> = índice da vazios natural

S = silte

Ar = argila

retrabalhado argiloso (6 e 7), com o lb variando de 30 mm/h a 270 mm/h.

Porém, ao se analisar separadamente, nota-se uma tendência à diminuição dos valores para o retrabalhado argiloso (6), com variação no intervalo de 30 mm/h a 78 mm/h.

A unidade retrabalhado arenoso (4) exibe um intervalo amplo de variação (18 mm/h a 270 mm/h), igualmente verificado para a unidade argilosa (7) (60 mm/h a 240 mm/h).

Os residuais da Formação Serra Geral (unidade 2) apresentaram uma variação mais discreta (120 mm/h a 225 mm/h).

Os valores de infiltração básica e os índices físicos referentes às unidades ensaiadas são mostrados na Tabela 03.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Embora os ensaios tenham sido realizados no ápice do período seco, os valores de infiltração básica não devem diferir significativamente dos valores encontrados no período chuvoso do ano. É provável que nesse período o tempo necessário para atingi-los seja menor em função do maior teor de umidade inicial.

Os valores de lb encontrados para as unidades de materiais inconsolidados indicam uma capacidade relativamente elevada de infiltração. Entretanto, deve ser levado em consideração que as situações de ensaio não reproduzem algumas condições naturais que interferem na infiltração da água da chuva. Dentre estas pode-se citar a declividade do terreno e o impacto das gotas da chuva.

Os limites inferiores dos intervalos encontrados para as unidades (2), (4) e (7) correspondem às áreas cultivadas. Nesses casos, o uso do solo parece influenciar de forma acentuada a infiltração de água, provavelmente como resultado da formação de uma camada compactada entre 20 e 40 cm de

profundidade pelo uso contínuo de equipamentos pesados, como pode ser caracterizada pelos valores apresentados pelos pontos 4, 4a, 5, 5a, 14, 15, 15b. Não obstante esses pontos indiquem essa tendência, outros pontos localizados em áreas cultivadas exibiram valores relativamente elevados de infiltração (pontos 6, 8, 20, 13, 13a, 13b e 15a). Esse fato pode ser explicado pela recente transformação, pelo menos nos dois últimos anos, de pastagens para áreas agrícolas.

Ao se sobrepor o mapa dos materiais inconsolidados com um mapa de densidade de erosão em sulcos (ravinas), obtém-se uma boa correlação entre eles. De uma maneira geral, as áreas correspondentes à unidade 6 apresentaram maior densidade de ravinas, coincidindo com os menores valores de infiltração básica.

A maior incidência de ravinas na unidade 6 pode estar relacionada à baixa infiltração, porém a declividade e a presença de cobertura inconsolidada de pequena espessura (do tipo 2.1) a montante são fatores que também devem ser considerados.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados dos ensaios de infiltração da água direta no campo verifica-se a existência de uma boa correlação entre a velocidade de infiltração com os tipos de materiais inconsolidados e sua susceptibilidade à erosão. Materiais que possuem características de textura, índice de vazios e porosidade semelhantes, a exemplo dos materiais argilosos presentes na área (unidades 2, 5, 6 e 7), apresentam valores diferenciados de velocidade de infiltração. Ao serem confrontados em fotografias aéreas e em trabalhos de campo, as unidades 5 e 6 desenvolvem elevada densidade de erosão por sulcos permanentes (ravinas), enquanto as unidades 2 e 7 mostram baixa densidade de ravinamento, do mesmo modo que as unidades arenosas (1 e 4).

Verifica-se também que o uso do solo influencia, de certa maneira, a velocidade de infiltração. Em algumas unidades, os limites inferiores dos intervalos de variação coincidem com o uso agrícola. Porém, nem todos os pontos acompanham essa tendência, o que pode ser atribuído aos fatores que levam a mudanças na capacidade de infiltração, dentre os quais cita-se: tipo de manejo do solo; tempo de prática agrícola no local; tipo de equipamento utilizado; compactação diferencial entre as linhas de cultivo pela passagem de implementos e outros.

Mediante os resultados apresentados, ainda que preliminares, pode-se considerar que as características de infiltração da água obtidas nos ensaios *in situ* constituem-se em um método promissor para avaliação dos materiais inconsolidados quanto à sua capacidade de absorção de água. Juntamente com outros parâmetros de laboratório e característica de erosividade, podem fornecer uma estimativa do potencial à erosão para cada unidade de materiais inconsolidados.

Agradecimentos: os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelos recursos destinados, os quais possibilitaram a realização do presente estudo.

## BIBLIOGRAFIA

- BRASIL - Ministério das Minas e Energia (1983). *Levantamento de recursos naturais*. Rio de Janeiro, V. 31 (Projeto Radam Brasil).
- CAUDURO, F. A & DORFMAN, R (1986). *Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem*. Ministério da Irrigação - Programa Nacional de Irrigação - PRONI e Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS - Porto Alegre - RS, 216 p.
- NISHIYAMA, L. (1989) Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. In: *Revista Sociedade e Natureza*. EDUFU, 1(1), p.9-16.
- REICHARDT, K (1990). *A água em sistemas agrícolas*. Ed. Manole, São Paulo, 188 p.
- SILVEIRA, A. L. da; LOUZADA, J.A.; BELTRAME, L. (1993). Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Ed. UFRGS, EDUSP e ABRH, Porto Alegre - RS, p. 335-365.
- ZUQUETTE, L. V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. EESC/USP, São Carlos - SP, 3 v., 673 p. (tese de doutoramento).