

UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO GUELPH E PENETRÔMETRO DE IMPACTO EM ESTUDOS DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Felipe Provenzale Mariano Costa
Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFU
felipeprovenzale@gmail.com

Luiz Nishiyama
Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFU
nishi@ufu.br

RESUMO

O rio Uberabinha constitui atualmente a melhor opção para o abastecimento de água da cidade de Uberlândia levando-se em consideração a sua proximidade da área urbana, as condições de vazão, a qualidade da água e um sistema hídrico superficial perene. Os solos da bacia do Uberabinha são caracterizados por grande espessura de seus horizontes associados a um relevo plano. Devido a estas características sua ocupação agrícola vem sendo feita de forma intensiva. As atividades agrícolas modernas implicam na utilização de máquinas de grande porte, o que resulta na compactação dos solos e nos problemas como a erosão. Esta forma de ocupação interfere diretamente nas condições naturais de infiltração e armazenamento de águas pluviais nas zonas freáticas. Em vista disso, a pesquisa visou avaliar a influência dos diferentes tipos de usos do solo sobre a recarga da zona freática. A compactação do solo foi avaliada com o uso do *Penetrômetro de Impacto* e a capacidade de infiltração da água com o *Permeâmetro Guelph*, em diferentes condições de usos do solo. Os resultados evidenciaram uma significativa diferença nos valores de compactação e de infiltração da água entre as áreas ocupadas por atividades agrícolas e de pecuária e onde ainda se preservam as condições naturais. A situação verificada apontam para possíveis reflexos no armazenamento de água no subsolo.

Palavras-Chave: Bacias Hidrográficas, Uso do Solo, Águas Subterrâneas.

UTILIZATION OF THE GUELPH PERMEAMETER AND THE IMPACT PENETROMETER IN SOIL USE AND OCCUPATION STUDIES IN HYDROGRAPHIC BASINS

ABSTRACT

The Uberabinha River currently constitutes the best option for the water supply of Uberlândia, considering its proximity of the urban area, the conditions of outflow and the quality of the water. Grounds of the Uberabinha's basin are characterized by its large depth, on which it develops a permanent hydric system, and due this its agricultural occupation comes being done by an intensive form. The modern agricultural activities implies in the use of grate machines, causing problems as the erosion and the compacting of ground. This form of occupation intervenes in the natural conditions of infiltration and pluvial water storage at freatic zones. Therefore, the research searched to evaluate the influence of the natural and antropics conditions on the recharge of the freatic zone. Tests had been effected with the Guelph Permeameter and the Impact Penetrometer for the verification of ground compacting and infiltration capacity of water in the different uses, making a parallel with the natural conditions still preserved. The analyses had evidenced a difference between the antropic use areas and where still the natural conditions are preserved, in the ground compacting and in infiltration, pointing to possible consequences in the water storage of the underground.

Keywords: Hydrographic Basins, Ground Use, Underground Waters.

Recebido em 29/06/2007
Aprovado para publicação em 11/10/2007

INTRODUÇÃO

A água representa um elemento fundamental à todas as formas de vida sobre a Terra, constitui um requisito insubstituível para grande maioria das atividades humanas e ao equilíbrio ambiental.

Em decorrência do crescimento do contingente humano e das atividades econômicas na maioria dos países, a demanda pela água tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, ao ponto de gerar escassez desse recurso em algumas partes do mundo.

Atualmente estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas no mundo sofra com escassez de água e que esta situação tenda a agravar ainda mais. Porém, ao se analisar este problema de forma global, constata-se que existe disponibilidade de água para atender à demanda de toda a população da Terra. O que existe, na realidade, é a má distribuição espacial e temporal da água que, somado ao problema da concentração populacional em certos pontos do planeta, faz com que certas regiões sofram permanentemente por falta de água.

A falta de adequação do uso da água em relação à disponibilidade existente em cada região do planeta tem causado crescentes preocupações, visto que as atuais condições de deterioração da qualidade e redução da oferta levam no sentido oposto às demandas decorrentes de atividades de ocupação urbana, rural e industrial.

O Brasil se encontra em uma posição relativamente privilegiada no cenário mundial no que concerne à disponibilidade de recursos hídricos, apesar de a maior parte da água doce disponível em nosso país se encontre na região Amazônica, onde se localiza uma parcela pouco expressiva da população.

A situação de escassez hídrica existente no Brasil é fruto da combinação do crescimento exacerbado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas. Como consequência desse quadro, nosso país assiste a um número crescente de conflitos cada vez mais intensos entre os usuários da água, passando esse recurso a ser visto como escasso o que no passado recente era considerado ilimitado. Essa idéia de abundância serviu de suporte, durante muitos anos, para a cultura do desperdício, com pouca valorização da água como recurso natural e, assim adiar investimentos que visassem à otimização do seu uso.

Em razão da escassez de água já identificada em algumas regiões do País dos problemas causados pela falta de um sistema adequado à gestão de recursos hídricos, o setor vem ganhando atenção e interesse da sociedade brasileira, que pode ser claramente evidenciado pelo crescente número de estudos na área e pela elaboração de leis específicas para a sua gestão. Em todas elas a água passa a ser tratada como um recurso natural escasso e finito, sendo atribuído a ela um valor econômico. Dentre as cartas legais pode-se citar a criação da Lei 9.433 de 07 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Lei 9.984 de 17 de julho de 2000 que cria a Agência Nacional de Recursos Hídricos (ANA). O Órgão federal tem como função a implementação da referida Política e a coordenação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Devido à necessidade de se encontrar uma forma eficaz de gerenciamento dos recursos hídricos, a bacia hidrográfica vem sendo proposta como unidade básica de planejamento e gestão de recursos hídricos. A mesma, que tem sua conformação a partir de seus limites topográficos, reúne a maioria das relações de causa e efeito a serem tratados na gestão devido ao caráter integrador, pois reúne a maioria das relações de causa e efeito dos processos dinâmicos a serem tratados na gestão. Apesar de existirem unidades político-administrativas, como municípios, estados, regiões e países, estes não apresentam a mesma possibilidade de integração como a bacia hidrográfica.

Como nos explica Lanna (1995), o Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (GBH) é o instrumento que orienta o poder público e a sociedade no longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais – naturais e econômicos, de forma a promover o desenvolvimento sustentável.

Diante da sua característica de ser trabalhada em diferentes escalas, desde as pequenas unidades como as micro-bacias até a bacia como um todo. Ainda, outras unidades podem ser adotadas, tais como: bacias do baixo, médio a alto curso do rio principal e, isto, sem que se perca a diversidade

de informações sócio-ambientais da bacia como um todo. Por tudo isso, entende-se que o gerenciamento de bacia hidrográfica representa num poderoso instrumento de planejamento, intervenções e manejo.

No entanto, atualmente existem dificuldades no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, principalmente de natureza institucional em decorrência das contradições entre os vários órgãos que administram os recursos ambientais, inclusive a água.

Para que a Gestão de Bacias Hidrográficas venha realmente a se tornar em um poderoso instrumento de planejamento, é necessária a mudança de comportamento da sociedade e do setor público, com vistas à integração participativa por meio de mecanismos devidamente institucionalizados. A participação direta dos diversos segmentos da sociedade nas decisões promove a descentralização das mesmas, a exemplo do que está sendo feito nos Comitês de Bacias Hidrográficas, onde participam representantes de entidades públicas e privadas, de associações comunitárias e usuários independentes, que estejam interessados na gestão de uma bacia hidrográfica.

Com base nessas afirmações, o trabalho propõe a analisar aspectos referentes ao uso e ocupação dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, que hoje constitui um sistema de mananciais responsável pelo abastecimento de água da cidade de Uberlândia – MG, fazendo uso de procedimentos de análise e avaliações que permitam compreender a relação entre a compactação do solo e a diminuição da infiltração de águas pluviais. Para isto serão empregados equipamentos de fácil manuseio no campo, como o *Penetrômetro de Impacto* e do *Permeâmetro Guelph*.

A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABINHA

O rio Uberabinha, cujas nascentes estão localizadas no norte do município de Uberaba, atravessa o município de Uberlândia no sentido sudeste - noroeste numa extensão de cerca de 140 km. A bacia do rio Uberabinha forma um sistema de mananciais à montante da cidade de Uberlândia responsável pelo suprimento de água para uma população que ultrapassa o número de 500 mil habitantes. Segundo Schneider (1996), o rio Uberabinha possui um potencial hídrico suficiente para suprir a demanda por água de uma população de até 1 milhão de habitantes, caso sejam mantidas as condições atuais.

A chapada constitui a feição morfológica dominante na porção da bacia do rio Uberabinha situada a montante da cidade de Uberlândia. Segundo Feltran Filho 1997, os solos que se desenvolveram sobre as superfícies de chapadas das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba são caracterizados pela grande profundidade de seus horizontes.

A região do Cerrado brasileiro, na qual está inserida a Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha (Figura 1), foi considerada por muito tempo como imprópria à agricultura, devido à baixa fertilidade e à elevada acidez de seus solos. Por essa razão, até a década de 1960, a principal atividade econômica era a pecuária extensiva associada a áreas de cerrado relativamente preservadas. Na década de 1970 a pecuária perde extensas áreas para a silvicultura, destinadas ao plantio de pinus e eucaliptos.

Porém, com a evolução das tecnologias voltadas à agricultura, a acidez e a baixa fertilidade dos solos das regiões de cerrado deixaram de ser obstáculos para a sua ocupação por culturas anuais, sobretudo a de grãos. As extensas superfícies quase planas, típicas de áreas de chapadas, favoreceram o uso de máquinas agrícolas modernas e de grande porte. Outra característica marcante da área estudada é a presença de um sistema hídrico superficial perene, o que tornou possível a implantação de culturas irrigadas.

A partir da década de 1970, bacia hidrográfica do rio Uberabinha passa a sofrer rápida transformação como resultado da ocupação agrícola. Nas duas últimas décadas, os reflorestamentos cedem espaço para a agricultura moderna focada na produção de grãos.

A ocupação agrícola, enquanto agricultura extensiva e tradicional, implica na necessidade de utilização de equipamentos pesados como tratores e colheitadeiras de grande porte, o que causa problemas como a compactação dos solos. Esta forma de uso do solo, via de regra, interfere

acentuadamente nas condições naturais de infiltração e armazenamento de águas oriundas de precipitações nas zonas saturadas subsuperficiais (freática) e profundas. Desse modo, a ocupação da bacia do Rio Uberabinha poderia influenciar a quantidade de água a ser infiltrada através do solo e, como conseqüência, poderia determinar a redução da vazão do rio Uberabinha em razão da menor quantidade de água armazenada no sistema subterrâneo que o alimenta (escoamento de base).

Por essa razão escolheu-se como área de estudo a porção da bacia do rio Uberabinha situada à montante da cidade de Uberlândia, localizada entre as coordenadas 18°58'48" e 19°22'12" de latitude Sul; 47°50'24" e 48°18'36" de longitude Oeste (figura 1).

O objetivo deste trabalho é avaliar as condições naturais e antrópicas e sua influência na disponibilidade hídrica superficial e subterrânea na bacia hidrográfica do rio Uberabinha.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa acerca do material bibliográfico que retratassem os diferentes aspectos da bacia hidrográfica do rio Uberabinha, tais como: geologia, relevo; solos; hidrológicos; hidrogeológicos; sócio-econômicos e ambientais. Além destes materiais bibliográficos também foram levantados materiais cartográficos, tais como: mapas topográficos, mapas de uso do solo; mapas de solos e fotografias aéreas de diferentes épocas.

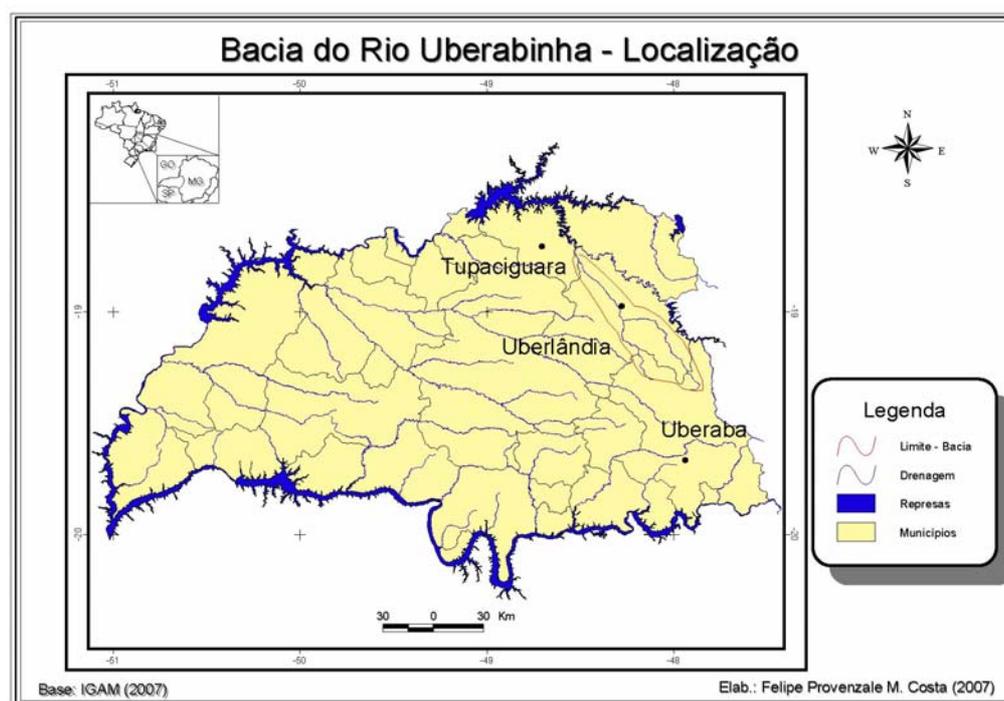


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, Minas Gerais

Vários trabalhos de campo foram realizados na área com o objetivo de se realizar o reconhecimento da área, a atualização de informações pré-existentes, a checagem de dados de fotointerpretação e os ensaios *in situ* para se obter índices de compactação e coeficiente de permeabilidade (k) do solo. Os equipamentos utilizados para a obtenção do índice de compactação

e do coeficiente de permeabilidade foram, respectivamente, o *Penetrômetro de Impacto* e o *Permeâmetro tipo Guelph*.

O *Penetrômetro de Impacto* (Figura 2) é um aparelho que permite determinar a resistência do solo à penetração de uma haste de aço à várias profundidades, de maneira fácil e rápida. O princípio de utilização é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste após o recebimento de um impacto na sua parte superior, provocado por um bloco de ferro, içado a uma altura conhecida (neste caso 61,7 cm), e em queda livre. Quando a haste de penetração atinge zonas de maior índice de compactação, é necessário um maior número de golpes. Portanto, este aparelho possibilita identificar a profundidade da camada compactada e sua espessura. Os resultados obtidos das medições são dados em quilograma força por centímetro quadrado (Kgf/cm^2).

Uma questão que tem dificultado bastante o uso de penetrômetros é a dependência da resistência à penetração com a umidade, para isso é recomendado que se faça as medidas em condições de umidades nem muita alta, nem muito baixas, preferencialmente dentro da capacidade de campo (Embrapa).

Os ensaios com penetrômetro de impacto foram realizados em 5 modalidades de usos de solo, quais sejam: cultura anual; reflorestamento; pastagem; mata ciliar e cerrados, observando-se sempre os parâmetros relacionados à umidade dos solos. Em cada uma das referidas modalidades a profundidade máxima de ensaio foi de 40 cm, subdivididos em três níveis distintos de testes: 10, 20 e 40 cm.

Para converter o número de impactos necessários para atravessar as camadas de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm e de 20 a 40 cm, em kgf cm^{-2} , procedeu-se a calibração do penetrômetro com base na fórmula proposta pelos holandeses e descrita por Stolf (1991), conforme dedução a seguir.

$$F(\text{kgf}) = (M + m)g + \frac{M}{M + m} \frac{Mgh}{X}$$

O penetrômetro de impacto utilizado na avaliação de resistência à penetração do solo neste trabalho, possui as seguintes características: $M = 3,86 \text{ kg}$ ($Mg = 3,86 \text{ kgf}$); $m = 3,18 \text{ kg}$ ($mg = 3,18 \text{ kgf}$); $(M+m)g = 7,04 \text{ kgf}$; $M/(M+m) = 0,548$; $h = 41,18 \text{ cm}$, considerando a aceleração da gravidade $g = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Todos os termos constituintes desta equação estão ilustrados e especificados na figura 2.

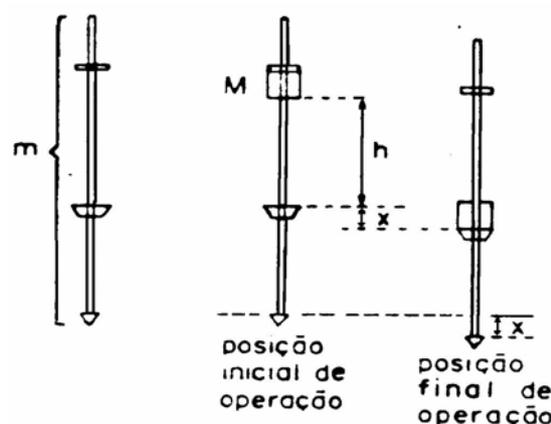


Figura 2 - Representação esquemática de um penetrômetro de impacto, e a variação da posição de seus componentes na direção do campo gravitacional. $h+x$: variação de M (massa de impacto); x : variação de m (massa do corpo do aparelho)

Gontijo (2003)

Aplicando-se esses valores na fórmula, obtem-se $F(\text{kgf}) = 7,04 + 87,15/x$. A ponta do referido penetrômetro segue o padrão proposto por Stolf (1991), apresentando área (A) = $1,29 \text{ cm}^2$. Portanto, a resistência do solo à penetração, segue os padrões da fórmula: $R(\text{kgf cm}^{-2}) = 5,46 + 67,56 N$ (impacto cm^{-1}), sendo N o número de impactos por centímetro do solo.

O *Permeâmetro Guelph* (Figura 3), segundo Soto (1999), foi desenvolvido por Reynolds e Elrick, em 1983, posteriormente aperfeiçoado em 1985, na *University of Guelph*, Canadá. O uso do permeâmetro é uma forma fácil de determinar a condutividade hidráulica saturada do solo (k), podendo ser aplicado em vários projetos, como sistemas de irrigação, sistemas de drenagem e estudos hidrológicos de solos em geral.

O referido aparelho pode ser utilizado para efetuar medições de permeabilidade na superfície ou no perfil do solo por meio de fornecimento de água, mantendo-se uma carga hidráulica constante e conhecida. Permite medições em qualquer posição no perfil, em um orifício aberto por trado no solo, sendo possível a identificação de diferentes permeabilidades devido à estratificação, ao bloqueamento dos poros ou à compactação. Nos ensaios, as determinações efetuadas com o permeâmetro tipo *Guelph* foram realizadas nas camadas mais compactadas do solo, identificadas a partir dos resultados de ensaios com penetrômetro de impacto.

Os resultados são interpretados de acordo com o método teórico desenvolvido por Reynolds e Elrick (1983) baseado na equação de Richards (1931) para fluxo permanente num furo cilíndrico. O fluxo permanente é aproximado por uma equação onde a vazão (Q) é determinada da seguinte forma:

$$Q = R \times A$$

Onde Q é a vazão do regime permanente, R é a razão da vazão constante obtida durante os ensaios, e A é a área do reservatório do permeâmetro utilizado ($36,19 \text{ cm}^2$).

Para determinar os parâmetros correspondentes à infiltração dos solos analisados, foi utilizado o método de uma carga hidráulica (Elrick et al., 1989). Este método consiste em aplicar uma altura de carga hidráulica H constante e quando o regime permanente é atingido, a vazão Q e a condutividade hidráulica de campo (K_{fs}) são determinados por:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H / \alpha)}$$

Onde: C é o parâmetro fator de forma, que depende da relação H/a e do tipo do solo, que de acordo com Soto (1999), a *Soilmoisture Equipment Corp*, fornece o fator C para três classes de solos de acordo com a macroporosidade e textura. Como dito anteriormente, H é altura da carga hidráulica utilizada (8cm), enquanto a é o diâmetro do orifício aberto pelo trado no solo (3,1 cm).

As classes de solos fornecidos são *sands*, *structured loams and clays* e *unstructured clays*, sendo a segunda utilizada para a determinação do parâmetro C (1,1) dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha.

O parâmetro α é estimado inicialmente por avaliação visual *in situ* da macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura do solo, a partir da tabela 1.

Tabela 1
Valores de α sugeridos para tipos de solo

α (cm ⁻¹)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos).
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia Grossa inclui solos com macroporos e fissuras.

Fonte: Soto (1999)

Foi utilizado o valor 0,12, julgando-se ser o que melhor se enquadrava nas características dos solos analisados em geral. No total, foram analisados 17 pontos ensaiados, distribuídos pela área de estudo.

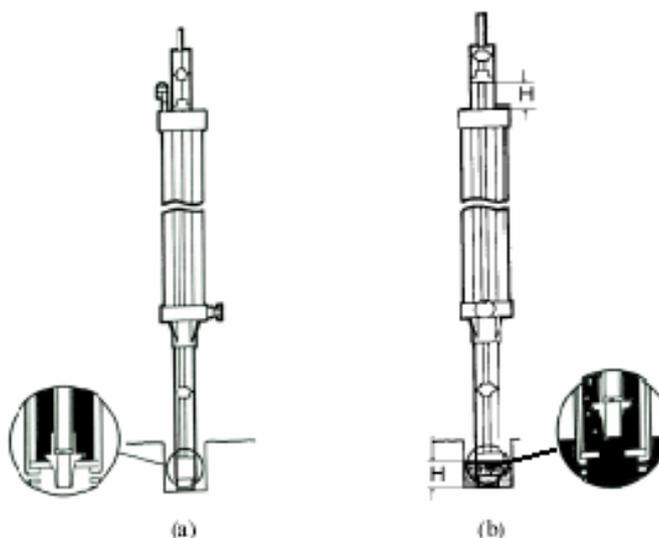


Figura 3 - Permeâmetro Guelph sem saída de água (a), Permeâmetro Guelph com saída de água (b) Soto (1999)

Uso e Ocupação do solo

A análise do mapa de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 4) realizado por DUARTE (2004) evidencia uma intensa ocupação agrícola na área estudo, principalmente no que tange às ao plantio de culturas anuais (soja, milho, sorgo, dentre outros). Estas, na maioria das vezes não respeitaram ou não respeitam os limites das áreas de preservação permanente (APP) estabelecidos em leis. Segundo Duarte (2004), as APPs estão sendo gradativamente incorporados às terras produtivas das fazendas da região. Duarte afirma que houve uma redução de 9,07 km² nos campos hidromórficos em decorrência do aumento de áreas de pastagem e de cultura anual, ao fazer comparação com os estudos realizados por Schneider (1996).

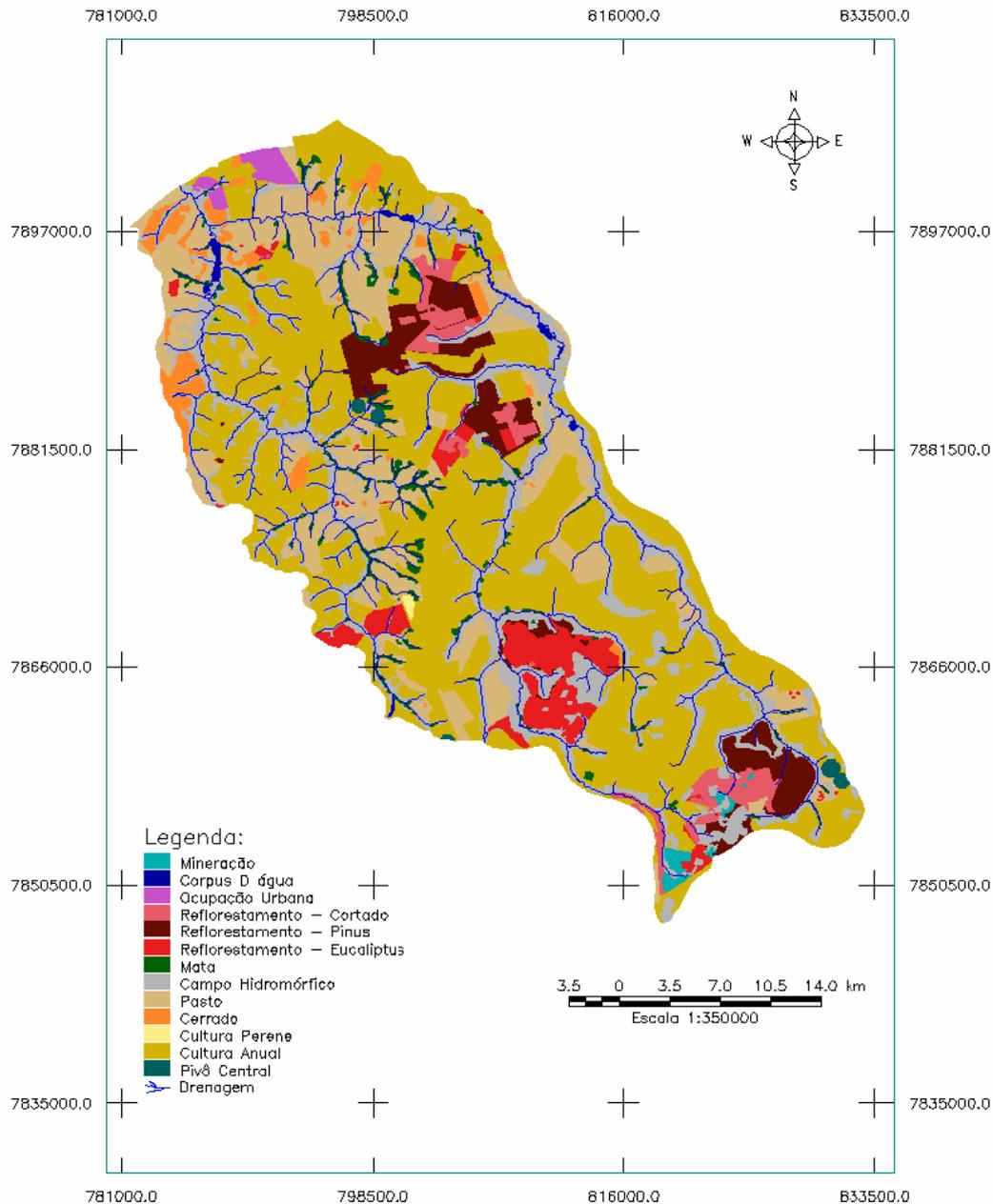


Figura 4 - Mapa de Uso e Cobertura Vegetal, Alto Curso do Rio Uberabinha

Compactação dos solos

A partir dos resultados obtidos com uso do *Penetrômetro de Impacto* podem-se observar as diferentes valores de resistência para cada modalidade de uso do solo, os quais podem ser relacionados com o grau de compactação de cada nível ensaiado, como mostram a tabela e o gráfico da Figura 5, à seguir:

Tabela 2

Valores de pressão para cravação do penetrômetro relacionado aos diferentes tipos de uso.

Uso/Profundidade	10 cm	20 cm	40 cm
Cerrado (Cer)	34,7 Kgf / cm ²	43,1 Kgf / cm ²	31,0 Kgf / cm ²
Mata Ciliar (Mat)	27,4 Kgf / cm ²	31,6 Kgf / cm ²	33,3 Kgf / cm ²
Reflorestamento (Refl)	15,6 Kgf / cm ²	32,4 Kgf / cm ²	39,2 Kgf / cm ²
Cultura Anual (Lav)	49,9 Kgf / cm ²	36,1 Kgf / cm ²	32,1 Kgf / cm ²
Pastagem (Past)	74,6 Kgf / cm ²	49,0 Kgf / cm ²	43,5 Kgf / cm ²

Org.: Costa, F.P.M (2006)



Figura 5 - Gráfico comparativo da energia de cravação versus diferentes tipos de uso.

Ensaio de infiltração da água

Os testes de infiltração da água no solo com o uso do *Permeâmetro Guelph* foram realizados nos mesmos pontos de ensaios de compactação. A tabela 3 e a Figura 06, a seguir, apresentam os resultados dos coeficientes de permeabilidade (k) para cada modalidade de usos do solo avaliada.

Tabela 3

Valores de coeficiente de permeabilidade (k) relacionada com diferentes tipos de usos do solo.

Uso	K (cm/s) Coeficiente de permeabilidade
Cerrado (Cer)	$4,45 \times 10^{-2}$
Mata Ciliar (Mat)	$6,25 \times 10^{-2}$
Reflorestamento (Refl)	$4,20 \times 10^{-2}$
Cultura Anual (Lav)	$1,34 \times 10^{-2}$
Pastagem (Past)	$1,00 \times 10^{-2}$

Org.: Costa, F.P.M (2006)

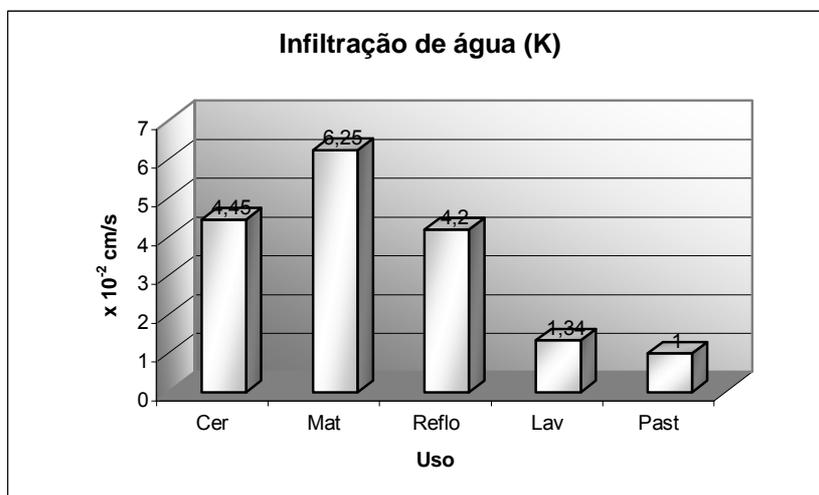


Figura 6 - Gráfico comparativo dos valores do coeficiente de permeabilidade (k) sob diferentes tipos de usos

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao se analisar os resultados de ensaios de permeabilidade de solo *in situ*, obtidos para diferentes modalidades de uso, nota-se que cada uma delas influencia no nível de infiltração da água, e conseqüentemente no volume infiltrado para a zona saturada subsuperficial (água freática) e profunda (água subterrânea).

Quanto à compactação, a pastagem se destaca como o tipo de uso que apresenta os maiores valores de resistência a cravação da haste do penetrômetro, nos três níveis analisados. Tal fato pode ser atribuído ao intenso pisoteio provocado pelo gado, principalmente nas áreas de rotação de pastagem controladas por piquetes, onde se nota um maior número de cabeças de gado por metro quadrado de área.

Os índices são superiores a 80 Kgf/cm^2 na camada superficial dos solos (10 cm) e superiores a 40 Kgf/cm^2 na camada mais profunda ou seja, o grau de compactação se mostra elevado em todo o perfil analisado. As áreas de culturas anuais aparecem em segundo lugar, também apresentando altos índices de compactação nos três níveis ensaiados, porém com valores inferiores à da pastagem. O significativo grau de compactação pode ser atribuído, em grande parte, ao trânsito de máquinas pesadas, como tratores e colheitadeiras utilizados no preparo da terra, no plantio e na

colheita. Com a introdução de técnicas de plantio direto, vislumbra-se uma tendência à redução dos níveis de compactação dos solos nestas áreas com passar dos anos. Os implementos tradicionais, como arados e grades, que faziam o revolvimento da terra, cederam lugar às modernas máquinas de plantio direto na área estudada.

As plantações de pinus e eucaliptos apresentaram o menor índice de compactação da camada superficial, com valores inferiores a 20 Kgf/cm², sendo menor, inclusive, que os índices encontrados para áreas com vegetação nativa, como cerrado e mata ciliar. Este baixo índice de compactação da camada superficial do solo (10 cm) pode ser explicado pelo grande acúmulo de matéria orgânica proveniente da queda das folhas e galhos das árvores, associado à quase total ausência de trânsito de animais e veículos em geral. No entanto, a partir dos 20 cm de profundidade, o grau de compactação sofre considerável aumento, alcançando níveis superiores a 20 Kgf/cm².

Os resultados obtidos para as matas ciliares e de encosta mostraram quão baixo é o grau de compactação dos solos nestes locais, apresentando-se quase constante nos três níveis, com índices iguais e inferiores a 30 Kgf/cm². Os solos de cerrado não se mostraram compactados quanto aos que encontramos nas matas, porém ainda apresenta valores menores que os solos encontrados nas áreas de plantio e de pastagem, com exceção do nível de 20 cm, que apresenta um valor menor apenas ao nível correspondente a das pastagens.

Os ensaios de infiltração da água no solo confirmaram os resultados obtidos com o penetrômetro de impacto (Figura 7). As áreas de pastagens se mostraram as menos susceptíveis à percolação de água, com valores de coeficiente de permeabilidade (k), algo em torno de 1,00 x 10⁻² cm/s. Os solos mais capazes de absorver grandes quantidades de água foram os encontrados sob as matas, com 6,25 x 10⁻² cm/s, ou seja, 6 vezes mais que as pastagens. Os cerrados e as áreas com plantio de pinus e eucaliptos vêm logo em seguida, com 4,45 x 10⁻² cm/s e 4,20 x 10⁻² cm/s, respectivamente. Esta pequena diferença em favor dos solos de cerrado pode ser explicada pela grande densidade de raízes em função de uma maior densidade de cobertura vegetal.

Os solos onde se pratica a agricultura também apresentaram baixa susceptibilidade à percolação de água, com 1,34 x 10⁻² cm/s, próximo aos encontrados nas áreas de pastagens.

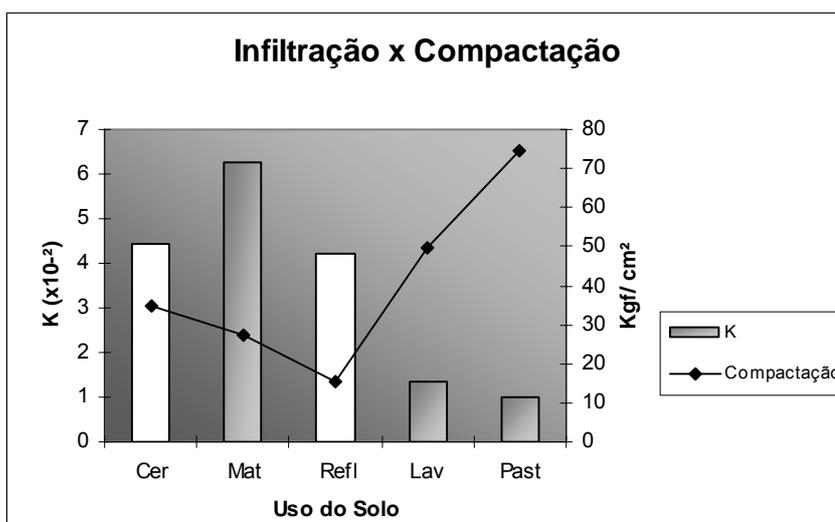


Figura 7 - Gráfico comparativo dos valores do coeficiente de permeabilidade (k) em relação à compactação, de acordo com os diferentes usos do solo

CONCLUSÃO

Permeâmetro tipo Guelph e o Penetrômetro de Impacto são instrumentos muito úteis ao estudo de bacias hidrográficas devido à sua facilidade e praticidade de transporte e operação, não sendo necessário um treinamento exaustivo para a utilização dos mesmos. A rapidez na execução de ensaios e na obtenção dos resultados diretamente no campo, enfatiza a vantagem do uso desses equipamentos, o que constitui um requisito fundamental para estudos no âmbito do gerenciamento de bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos.

Em vista dos resultados obtidos e analisados, permite concluir que todas as mudanças que ocorrem atualmente na bacia do rio Uberabinha são reflexos, principalmente, da intensiva ocupação agrícola. As condições impostas pela agricultura à compactação dos solos e à infiltração de água influem diretamente sobre a dinâmica hídrica de toda a bacia. Medidas devem ser tomadas na tentativa de reverter este quadro, uma vez que o abastecimento de água potável da cidade de Uberlândia poderá ser afetado em médio prazo, tanto no que diz respeito à qualidade quanto à sua quantidade. A mobilização do poder público municipal, juntamente com toda a sociedade, deve constituir uma ação prioritária no sentido de buscar o uso sustentável da bacia, a fim de que, problemas como racionamento de água na época da seca, investimentos vultosos em projetos de tratamento e de captação em outros mananciais não se tornem realidade.

REFERÊNCIAS

BACCARO, C. A. D. Os Estudos Experimentais Aplicados na Avaliação dos Processos Geomorfológicos de Escoamento Pluvial em Área de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 5 (9 e 10): 55-61, Janeiro/Dezembro 1993.

BACCARO, C. A. D. *Estudos Geomorfológicos do Município de Uberlândia*. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 5 (9 e 10): 9-24, janeiro/dezembro 1993.

BRITO, J.L.B. **Adequação das Potencialidades do Uso da Terra na Bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG):** Ensaio de Geoprocessamento, 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DEL GROSSI, S.R. **De Uberabinha a Uberlândia:** Os Caminhos da Natureza – Contribuição ao estudo da Geomorfologia Urbana, 1991. 208p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

DUARTE, W. de O.; BRITO, L. S. **Análise Temporal do Uso da Terra e Cobertura Vegetal do Alto Curso do Rio Uberabinha Utilizando Imagens do Satélite CBERS 2.** In: XII simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, 2005.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W.D and TAN, K.A. **Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis.** In: Groudwater Monitoring Review. Vol. 9, p. 184-193, 1989.

VAZ, C. M P; PRIMAVESI, O; PATRIZZI, V. C; IOSSI, M. F. **Influência da Umidade na Resistência do Solo Medida com Penetrômetro de Impacto.** São Carlos, EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2002. 5 p (EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA. Comunicado Técnico, 51).

FILHO, A. F. **A estruturação das paisagens nas chapadas do Oeste Mineiro**, 1997. 252 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

HANNA, R.A. Rio Uberabinha - Levantamento das Fontes Agropastoris. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v 2, n. 3, p. 63 - 68, jun. 1990.

LANNA, A. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos.** IBAMA. Brasília, 1995.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e Áreas Adjacentes. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.1, n.1, p 09-16, jun. de 1989.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de Mapeamento Geotécnico como Base para Análises e Avaliações Ambientais do Meio Físico, em Escala 1/100.000, Aplicados ao Município de Uberlândia – MG**, 1998. 363 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

SCHNEIDER, M. O. **Bacia do Rio Uberabinha: Uso agrícola do solo e meio ambiente**. 1996. 157 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SHIMIZU, W.A. **Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio no Rio Uberabinha: Um estudo da Poluição Orgânica Biodegradável**, 2000. 67 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

SOTO, M. A. A. **Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados**, 1996. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo**. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU. **Estudo de Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Uberabinha**. Relatório Técnico para a Prefeitura Municipal de Uberlândia, PROCESSO Nº 48500.006031/