

Estimativa de recarga do lençol freático em solos sobre granito e gabros alcalinos na alta bacia do rio dos Bois em Iporá-GO

Estimative of groundwater recharge in soils formed of granite and alkaline rocks at the high hydrographic basin of Bois river in Iporá-Goiás

Flávio Alves de Sousa^{1(*)}
Sílvio Carlos Rodrigues²

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a condutividade hidráulica dos solos desenvolvidos sobre duas litologias (Granitos e Rochas alcalinas: Gabros e Piroxenitos), e definir quais solos contribuíam mais para a recarga do lençol freático. O estudo foi realizado numa bacia hidrográfica, situada ao Norte do município de Iporá-GO. Além dos experimentos de infiltração e medidas de variação do lençol freático, outras análises foram realizadas para subsidiar o estudo, podendo citar, análises físicas dos solos, cálculo de perda de solos por erosão laminar, estimativa do balanço hídrico climatológico, entre outras. Aqui estão apresentados os resultados médios da condutividade hidráulica dos solos nas duas litologias e a influência dos solos na recarga do lençol freático. Os solos desenvolvidos sobre granitos e rochas alcalinas apresentaram condutividades médias estatisticamente iguais, ou seja, $kv \cdot 10^{-5}$. O lençol freático foi caracterizado como aquífero raso com alta permeabilidade saprolítica.

Palavras-chave: textura; poços; capacidade.

Abstract

The present work had as objective to evaluate the hydraulic conductivity of soils developed on two lithologys (Granites and alkaline rocks: Gabros and Piroxenitos), and to define which soils contributed more to the recharge of the water table. The study was accomplished in a hydrographic basin, located on North of Iporá district-GO. Besides the infiltration experiments and measures of variation of water table, other analyses were accomplished to subsidize the study, where she

1 Dr.; Geógrafo; Professor Efetivo do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás, UEG; Endereço: Rua Catalão, 741, CEP: 76200-000, Iporá, Goiás, Brasil; E-mail: Flavio.alves@ueg.br (*) Autor para correspondência.

2 Dr.; Geógrafo; Professor do Instituto de Geografia e da Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, UFU; Endereço: Avenida João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38400-902, Bairro Santa Mônica, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil; E-mail: silgel@ufu.br

can mention, physical analyses of the soils, calculation loss of soils for laminate erosion, estimate of the swinging hydric climatological, among others. Here they are presented in a brief way the medium results of the hydraulic conductivity of the soils in the two lithology's, and the influence of soils on the recharge of water table. The soils developed on granites and alkaline rocks presented conductivities medium same statistically, in other words, $k_v 10^{-5}$. The water table was characterized as shallow aquifers with high saprolitic permeability.

Key words: texture; wells; capacity.

Introdução

Solo e lençol freático apresentam uma relação simbiótica muito importante, pois há uma íntima dependência entre ambos. Os movimentos de oscilação do lençol freático que ocorre durante os períodos chuvosos e de estiagem resultam da maior ou menor recarga ao longo do ano e podem influenciar nos movimentos de ascensão capilar da água na zona não saturada do perfil do solo, Sousa (2013).

Apesar dos solos com textura arenosa serem mais eficientes no processo de infiltração, Fiorin (2008) destaca que em solos argilosos bem estruturados ou com estrutura estável, podem mostrar maiores taxas de infiltração. Para isso, dependem da estabilidade de seus agregados, ou agentes cimentantes, que pode ser a matéria orgânica, os óxidos de ferro e alumínio, sendo que nos solos da bacia estes últimos são abundantes, principalmente, nos solos sobre rochas alcalinas, cuja densidade de partículas denuncia valores de D_p muito acima da faixa média de 2,6 a 2,75 $kg.dm^3$ descrita por Fiorin (2008).

O conhecimento da condutividade hidráulica dos solos ou a sua capacidade de infiltração é muito importante, pois de acordo com as características físicas de cada tipo de solo, a infiltração da água de chuva se fará

de forma e intensidade diferenciada, e isso repercutirá na capacidade do solo de favorecer a percolação da água até o lençol freático e na sua suscetibilidade à erosão.

O processo de infiltração ocorre porque a água da chuva ou da irrigação, na superfície do solo tem potencial total aproximadamente nulo e a água do solo tem potencial negativo, potencial este tanto mais negativo quanto mais seco estiver o solo. É estabelecido então um gradiente de potencial total, que é a soma dos potenciais gravitacional e matricial. No início da infiltração, quando o solo está relativamente seco, o potencial matricial é relativamente grande em relação ao potencial gravitacional. (POTT, 2001. p.15).

Segundo Cabeda (1984), a taxa de infiltração de água no solo é isoladamente a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural. Islan e Weill (2000) indicam a permeabilidade do solo à água como um atributo para a avaliação da qualidade do solo, e Arzeno (1990) destaca a capacidade de infiltração de água no solo como um atributo eficaz para avaliações de manejos de solo.

A avaliação da condutividade hidráulica dos solos é também importante parâmetro nas condições de abastecimento do lençol freático. Uma vez conhecendo este

fator, será possível aportar metodologias que favoreçam o planejamento do uso da terra no que diz respeito à potencialidade dos solos e do abastecimento de água subterrânea.

A água de infiltração alimentará o lençol freático e/ou aquíferos, conforme a natureza da rocha. De acordo com Barth e Barbosa (1999)³:

Um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada, para armazenar e transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos naturais. A expressão quantidades significativas refere-se à utilização que se pretenda dar à água subterrânea, isto é, às vazões que possam ser exploradas. As formações geológicas de baixa permeabilidade que armazenam água, mas não permitem extração econômica, chamam-se aquíferos.

Conforme os autores acima citados, os aquíferos podem ser considerados não confinados, freáticos ou livres, se suas superfícies superiores estiverem submetidas a pressão atmosférica, enquanto os aquíferos artesianos ou confinados são formações intercaladas por camadas impermeáveis, com pressão superior à atmosférica. Ou seja, os aquíferos freáticos livres não apresentam camadas rochosas impermeáveis acima de sua superfície, enquanto os confinados estão intercalados a superfícies rochosas impermeáveis acima e abaixo dos mesmos.

Portanto, a infiltração da água poderá ou não, atingir a zona saturada dependendo para isso, das condições de solo, chuva, da porosidade e permeabilidade do saprolito.

Dessa maneira, podemos dizer que a capacidade de infiltração da água no solo e a retirada pela vegetação, dependem da capacidade de armazenamento, já que um

volume pequeno de água no solo mantê-la-ia retida pela força de capilaridade, e um excesso provocaria diminuição do potencial gravitacional do solo gerando então o escoamento superficial.

No presente estudo, a princípio acreditava-se que os solos desenvolvidos sobre as rochas graníticas apresentariam maior taxa de infiltração, por possuir uma textura mais arenosa, enquanto os solos sobre rochas alcalinas apresentariam menor taxa de infiltração e armazenamento por possuir maiores teores de argila.

O objetivo principal do trabalho foi, avaliar a condutividade hidráulica nos solos das duas unidades geológicas e comparar em laboratório, as características texturais dos mesmos, pois estes resultados auxiliariam na compreensão dos resultados da infiltração.

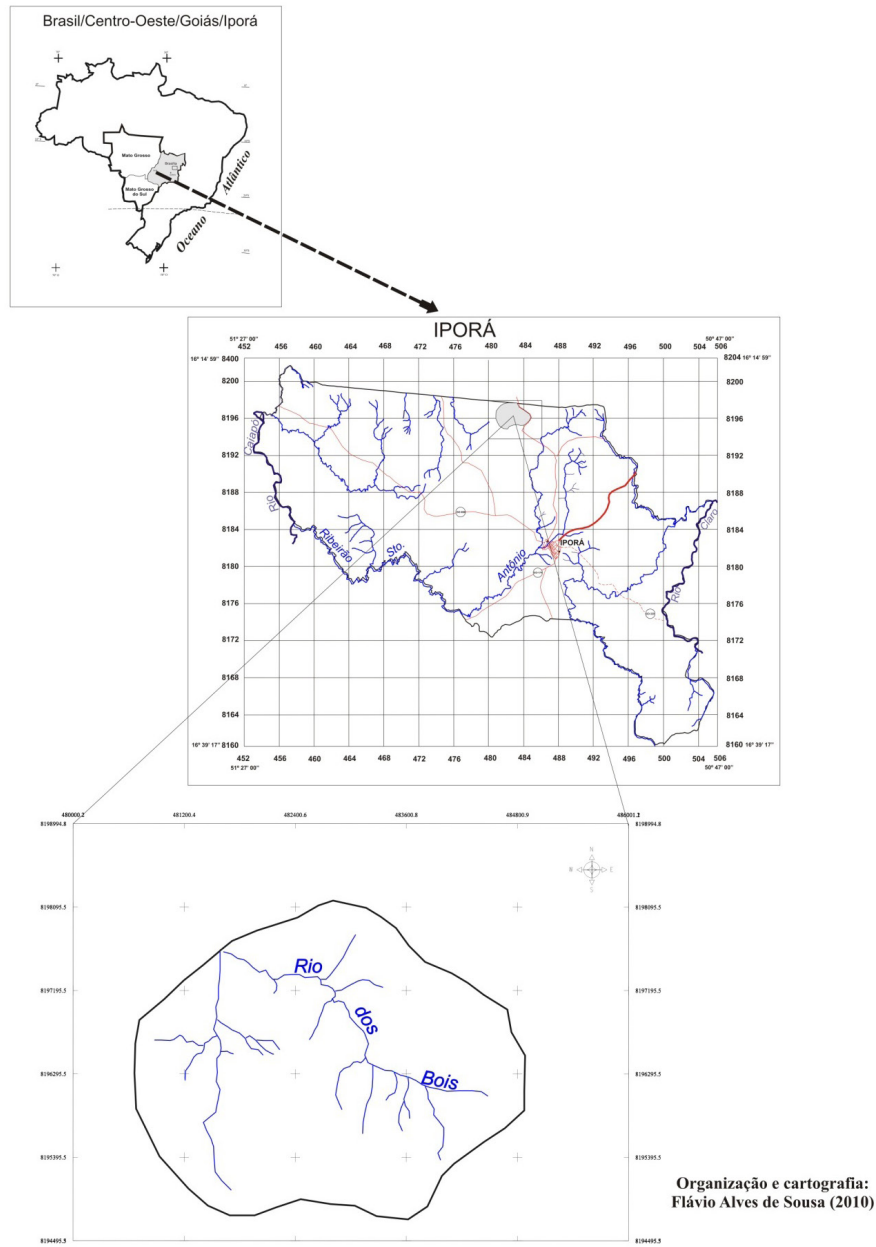
Ao final foi constatado que a hipótese não se confirmou, ou seja, os solos testados no domínio granítico e alcalino apresentaram condutividades hidráulicas estatisticamente iguais.

Para testar a referida hipótese era preciso encontrar uma área adequada, que possuísse as litologias desejadas, o que foi conseguido na região da alta bacia hidrográfica do rio dos Bois, na divisa dos municípios de Iporá e Diorama.

O rio dos Bois é um dos principais afluentes de margem direita do rio Araguaia, tem suas nascentes situadas nos municípios de Iporá e Diorama e sua foz no município de Montes Claros de Goiás, distante cerca de 200 km de suas nascentes mais a montante. A mesma está situada a 18 km do centro urbano de Iporá, podendo ser acessada pela antiga estrada Iporá/Diorama ao norte do município, na divisa com o município de Diorama. Sua localização é: 16°18'43.75"S e 51°09'56.21"W, sua área é de 10,5 km² (Figura 1).

3 <<http://www.fcth.br/public/cursos/phd5028.htm>>

Figura 1 - Localização da bacia do alto rio dos Bois



LOCALIZAÇÃO DA ALTA BACIA DO RIO DOS BOIS

Fonte: Autores (2013).

Materiais e Métodos

O desenvolvimento da pesquisa foi circunscrito a uma bacia hidrográfica devido à facilidade na delimitação dos fenômenos que afetam a dinâmica da água em superfície e subsuperfície, como a litologia, os solos, a cobertura vegetal, as características das encostas e a precipitação.

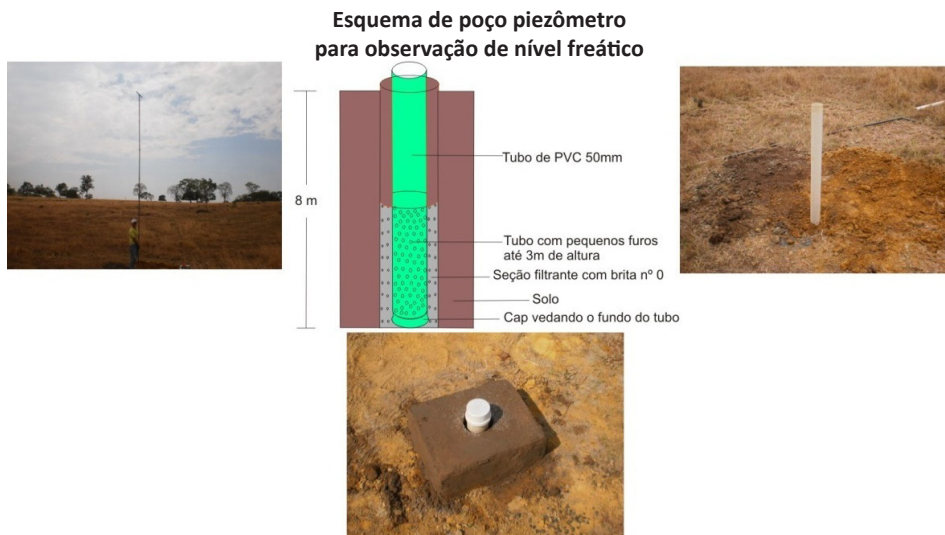
Para avaliar a variação no nível freático, foram utilizados dois poços de monitoramento. Os poços tinham respectivamente 5,6 e 8 metros de profundidade. O primeiro poço (5,6 m) é do tipo cisterna, aberto em rocha granítica e distante oito metros de um pequeno canal afluente do rio dos Bois. O segundo poço é tubular, aberto a trado para o monitoramento do nível freático no ambiente alcalino. Este foi aberto com trado helicoidal de 15 cm de diâmetro, cujo cabo foi aumentado de metro em metro.

A perfuração continuou até atingir oito metros, pois a partir daí ficou difícil retirar a terra do fundo devido à presença de água. O poço ficou com uma coluna de água inicial de 0,7 m.

Após a abertura do poço, foram introduzidos canos de PVC de 50 mm, sendo o tubo da base previamente furado até uma altura de 3 metros com furos de 3 mm de diâmetro e equidistantes entre si em torno de 10 cm. A base do cano foi vedada com um “cap”. Em seguida, foi introduzida brita nº 0 no espaço entre o cano e o solo até um pouco acima da zona dos furos (3 m), para funcionar como seção filtrante. O restante do furo (buraco) foi preenchido com o solo remanescente da escavação.

Cabe destacar que o poço foi aberto em setembro por ser um período de maior nível de rebaixamento do lençol freático. A figura 2 mostra o esquema de abertura do poço tubular.

Figura 2 - Sequência esquemática da abertura do poço tubular



Fonte: SOUSA (2013).

As medidas do nível freático foram realizadas no período de 30 de setembro de 2011 até 30 de julho de 2012, numa frequência de trinta dias. Nesse período, pegaria-se as estações, chuvosa e seca. A variação do nível freático é fundamental no processo de cálculo da recarga dos aquíferos, pois refletem a velocidade com que a água de infiltração chega até o lençol freático após um período chuvoso.

As variações do nível da água foram monitoradas com o auxílio de piezômetro (medidor de nível), com cabo de cem metros, em cuja extremidade há um sensor que dispara um sinal sonoro quando atinge o nível da água (Fotografia 1). As medidas de variação do nível freático foram monitoradas mensalmente em cada um dos poços e anotadas em planilha de campo, e posteriormente transmitida para planilha eletrônica construída em *software* Excel® da Microsoft®.

Fotografia 1 - Medidor de nível



Fonte: SOUSA (2013).

A partir da variação observada da água nos poços, calculou-se a reserva renovável do aquífero (parcela de água repostada durante o período chuvoso); a reserva permanente (água estocada nos poros e interstícios

rochosos); a reserva explorável (água que pode ser retirada sem prejuízo ao estoque do lençol freático) ambas em (m³/ano). Para isso, foram utilizadas equações extraídas de (COSTA, 2000), demonstradas a seguir.

Cabe destacar que as variáveis porosidade efetiva e espessura saturada foram calculadas com base em dados de Almeida et al. (2006), em estudo realizado nas rochas fraturadas do Estado de Goiás.

$$R_r = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h \quad R_r = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h \quad (1)$$

Em que:

R_r = reserva renovável;

A = área de influência do aquífero (m²);

η_e = porosidade efetiva;

Δh = Oscilação do nível (m).

$$R_p = A \cdot b \cdot \eta_e \quad R_p = A \cdot b \cdot \eta_e \quad (2)$$

Em que:

R_p = reserva permanente;

A = área de influência do aquífero (m²);

η_e = porosidade efetiva;

b = espessura saturada do aquífero.

$$R_{exp} = R_r + x \cdot R_p \quad R_{exp} = R_r + x \cdot R_p \quad (3)$$

Em que:

R_{exp} = reserva explorável;

R_r = reserva renovável;

x = é um percentual da reserva permanente;

R_p = reserva permanente.

Foram realizados experimentos de condutividade hidráulica dos solos na superfície utilizando o método dos anéis concêntricos (ALMEIDA et al., 2006), que no presente estudo, foi modificado, pois os anéis propostos anteriormente consumiam grande quantidade de água, e não havia

reservatórios suficientes para levar ao campo nem um transporte adequado para fazê-lo, uma vez que a água utilizada nos experimentos foi levada em galões de cinquenta litros de capacidade, e transportados juntamente com outras ferramentas em reboque puxada por veículo leve.

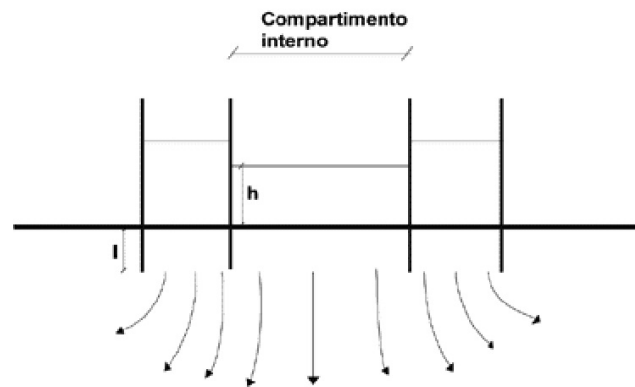
O instrumento consistiu em dois anéis em PVC, com diâmetros de 25 cm (anel externo) e 10 cm (anel interno), e altura de 30 cm para o anel externo e 100 cm para o anel interno, que foram cravados entre 7 e 10 cm no solo (conforme o solo) com auxílio de uma marreta e um pedaço de caibro, os

mesmos foram nivelados e aprumados com o auxílio de um nível de mão.

O sistema contou com uma régua construída com uma fita em fórmica onde foi colada uma fita métrica e uma bóia de isopor acoplada em sua base. A régua/bóia foi encaixada em um suporte de madeira com fenda central onde era feita as medidas de infiltração.

A figura 3 mostra o esquema de infiltração em superfície, caracterizando uma infiltração lateral no anel externa e verticalizada no anel interno. A fotografia 2 mostra o aparelho utilizado nos experimentos.

Figura 3 - Modelo de infiltração no sistema dos anéis concêntricos



Fonte: Campos e Souza (2001).

Fotografia 2 - Ilustração esquemática do modelo de anéis utilizado na pesquisa



Fonte: SOUSA (2013).

Os valores de condutividade hidráulica vertical (K_v) foram obtidos a partir da equação abaixo obtida de Campos e Souza (2001).

$$K_v \text{ (m/s)} = U \cdot I/t \cdot \ln h_0/h_t \quad (4)$$

Em que:

K_v = Condutividade hidráulica vertical do meio (m/s);

U = fator de conversão mm/min para m/s (1/60.000)

I - Profundidade de cravação do anel no solo (mm);

h_0 - Coluna d'água inicial;

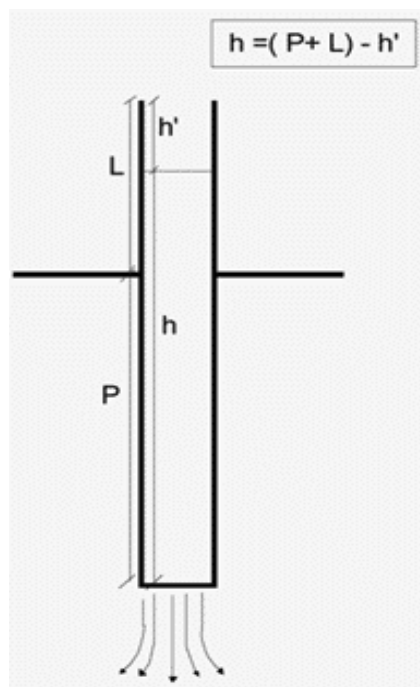
h_t - Coluna d'água final ao tempo t_f (mm ou cm)

t - Tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h_t (min).

Medidas de condutividade hidráulica em profundidade foram tomadas utilizando o método *open end hole*. O método citado é utilizado para obter valores de condutividades hidráulicas mais profundas, e consistiu em um conjunto de ensaios com quatro furos verticais no solo em profundidades de 50, 100, 150 e 200 cm, com diâmetro de 100 mm. Os furos foram feitos com trado manual helicoidal de 15 cm de diâmetro. Eles foram revestidos com tubos de PVC de 100 mm, e cravados na base, e foram cheios de água até uma altura inicial (h_0), e, após algum tempo (entre 2 e 3 horas), foi verificado o nível final da água.

A figura 4 mostra o esquema de infiltração no método Open end Hole.

Figura 4 - Ilustração esquemática do método



Fonte: Campos e Souza (2001).

A estimativa das condutividades hidráulicas verticais foi realizada aplicando-se os valores obtidos na equação obtida de Campos e Souza (2001).

$$K(m/s) = 2,303 \times (R/4t) \times [\log(h_0/h_t)] \quad (5)$$

Em que:

R - Raio interno do tubo (m);

h_0 - Coluna d'água inicial;

h_t - Coluna d'água final;

t - Tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h_t (seg.).

Os solos encontrados na bacia foram: Argissolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo Litólico e Glei, todavia apenas os solos mais desenvolvidos das duas litologias foram utilizados para realização dos experimentos de condutividade hidráulica, por oferecer maiores condições para instalação dos equipamentos de medida, ou seja, Argissolo (granito), Latossolo (granito), Latossolo (alcalinas) e cambissolo (alcalinas).

Os resultados de condutividade hidráulica de cada solo tiveram suas médias comparadas estatisticamente através do teste *t de student*. A finalidade do teste é comparar se as médias obtidas são estatisticamente iguais ou diferentes entre si.

Foi calculado o balanço hídrico climatológico do período que compreendeu o estudo (2010-2012), utilizando-se a metodologia de Rolim e Sentelhas (1999). A intenção era correlacionar à variação do lençol freático com os períodos de excedente e déficit hídrico dos solos no município.

Os dados de chuva e temperatura que serviram para compor o cálculo do balanço hídrico foram obtidos do Sistema Meteorológico e Hidrológico

do Estado de Goiás (SIMEHGO) na Estação Meteorológica (2013) situada nas dependências da Universidade Estadual de Goiás – *Campus* de Iporá, localizada a 16° 25' 28" S e 51° 07' 02" O e altitude 602 m.

Resultados e Discussões

A precipitação média anual no município de Iporá, entre os anos 2010 – 2012 foi de 1.383 mm, com maior volume de chuvas no ano de 2010 (1.617 mm). O período mais chuvoso foi o de novembro a março, e o menos chuvoso, de abril a outubro. Os meses mais secos compreendem maio a setembro, com nenhuma precipitação registrada nos meses de julho e agosto.

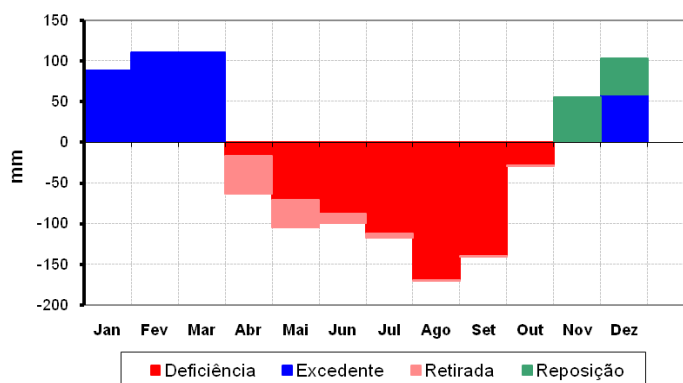
As menores temperaturas ocorreram durante o período chuvoso e no inverno, quando as primeiras frentes frias vindas do pólo sul, adentram em Goiás e provocam quedas parciais nas temperaturas. As temperaturas nos meses de agosto e setembro foram bem elevadas, pois nesse período, massas de ar secas e quentes, ficam estacionadas sobre a região.

Os solos na região de Iporá apresentam excedente hídrico em apenas quatro meses do ano, janeiro, fevereiro, março e dezembro, pois nesses meses, há os maiores índices de precipitação. Os demais meses são de déficit ou de reposição de água nos solos.

O gráfico 1 mostra os períodos do ano com déficit e excedente hídrico dos solos além do período de reposição, que vai de novembro a dezembro, sendo que este último apresenta também um excedente. Abril e maio são meses com maior retirada de água.

Gráfico 1 - Comportamento edáfico dos solos ao longo do ano

Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica



Fonte: SOUSA (2013).

Nível freático

Os testes de infiltração realizados apontam para duas situações em relação ao lençol freático. A primeira se refere ao conjunto de solos mal drenados (hidromórficos), os pouco desenvolvidos (neossolos litólicos e cambissolo desenvolvido em granito), indicando uma maior tendência ao escoamento superficial, e em casos excepcionais de infiltração, a água deve fluir por sistemas de juntas e diáclases. Esta primeira situação ocorre na maior parte da bacia (74%).

Na segunda situação, estão os Latossolos (de ambas as litologias), o Argissolo e no Cambissolo (alcalinas), que juntos, somam 26% da área da bacia, e compõem a área de recarga do lençol freático. Os valores de condutividade hidráulica (k_v) destes solos, apontaram valores médios de 10^{-5} , que são valores altos, indicando solos de boa permeabilidade.

Para Almeida et al. (2006), solos com boa permeabilidade constituem zonas

saturadas e não saturadas, que permitem a circulação da água, que posteriormente poderá abastecer o lençol freático profundo.

Informações fornecidas por técnico da empresa mineradora Teckcominco S/A⁴, indicam uma espessura saprolítica das rochas alcalinas locais, da ordem de 25 metros, informações essas embasadas na abertura de poços piezômetros para monitoramento do lençol freático em área adjacente à bacia estudada.

Informações da empresa de poços artesianos Água da Fonte, indicam para área granítica de Iporá, uma espessura saprolítica de até 30 metros, com presença de água em média aos 20 metros. Informações de Almeida et al. (2006) mostram uma profundidade média de 15 metros para a espessura dos saprolitos nos aquíferos freáticos de classe II (onde predominam Latossolos) no Estado de Goiás.

⁴ Empresa canadense realizadora de prospecção do níquel no município de Iporá-GO.

Considerando as informações obtidas, optou-se por uma aproximação da média da espessura saturada, utilizando-se para este estudo o valor de vinte metros.

A porosidade efetiva e a porcentagem da Reserva Permanente, utilizadas no cálculo das reservas, foram extraídas de Almeida et al. (2006), por estarem compatíveis com os valores de K_v encontrados para os solos da bacia.

A variação do nível freático tem relação direta com a disponibilidade de chuva que atinge a superfície, e que infiltra através do solo. Este processo depende do excedente de água no solo e de suas características físicas que poderá favorecer a drenagem profunda e o abastecimento do lençol freático. Nesse sentido, apenas quatro meses do ano favorecem este abastecimento na bacia, ou seja, aqueles em que há excedente hídrico (dezembro a março).

O processo de infiltração em superfície é bastante rápido, seguindo a disponibilidade de chuvas, mostrando que há uma elevada porosidade dos solos e da zona saprolítica,

pois a variação do nível da água é mais ou menos simultânea com os períodos de chuva.

Com relação aos solos, o estudo de Campos e Souza (2001), que avaliou o desempenho da infiltração de água nos regolitos no Distrito Federal, mostra uma infiltração média (m/s) em superfície variando entre 10^{-4} e 10^{-5} da mesma forma que em profundidade.

Os valores de K_v para o Estado de Goiás, avaliados por Almeida et al. (2006) mostram que nos Latossolos vermelhos a infiltração em superfície foi da ordem de 10^{-4} a 10^{-7} , enquanto em profundidade variaram de 10^{-5} a 10^{-8} .

Considerando que os testes de infiltração na bacia foram realizados em solos bem desenvolvidos e de textura argilosa e muito argilosa, os valores de K_v foram semelhantes aos citados acima, ou seja, tanto em superfície como em profundidade, os valores médios foram de 10^{-5} . No quadro, abaixo estão apresentadas as características dos solos onde foram realizados os experimentos de infiltração na bacia.

Quadro 1 - Características físicas dos solos

Propriedades	Classes de solos			
	Argissolo - Granito	Latossolo - Granito	Latossolo - Alcalinas	Cambissolo - Alcalinas
Argila (%)	55	55,8	66,3	66,3
Silte (%)	15	11	15,5	15,5
Areia (%)	30	31,2	18,2	18,2
Condição textural	Argiloso	Argiloso	Muito argiloso	Muito argiloso
Cor	4/4 2,5YR – úmida Bruno-Avermelhada	3/4 – 2,5 YR – úmida Vermelho-Escuro	2,5/4 – 2,5 YR – úmida Bruno Avermelhado-Escuro	2,5/4 – 2,5 YR – úmida Bruno Avermelhado-Escuro
RP mínima (kPa)	938	1773	1802	1802
RP máxima (kPa)	2080	2160	1942	1942
Densidade (kg/dm^{-3})	1,28	1,43	1,36	1,36
Porosidade total (%)	52,9	49,5	57,9	57,9
K_v superficial (m/s)	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
K_v profund. (m/s)	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
Densidade de partículas (kg/dm^{-3})	2,72	2,75	3,23	33,2

Fonte: Autores (2013).

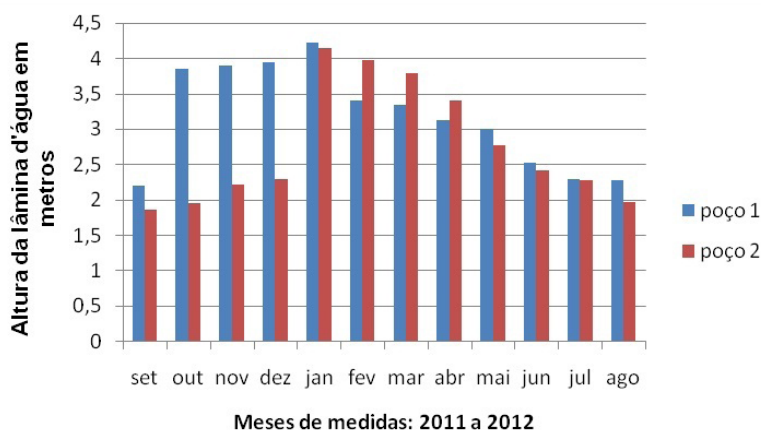
SOUSA, F.A. RODRIGUES, S. C.

As características físicas analisadas apresentaram médias estatisticamente iguais, com exceção da densidade de partículas, que foi o diferencial na capacidade de infiltração de água nos solos alcalinos. Nos solos alcalinos avaliados a porosidade natural é facilitada, permitindo a percolação da água devido à grande presença de óxido de ferro [gibbsita – $(\text{AlOH})_3$] que aparecem em grande quantidade na forma de pequenos grânulos, e facilita a porosidade total nesses solos igualando-os aos solos graníticos que apresentam uma estrutura com presença de pequenos grânulos de quartzo e maior presença de areia em sua composição textural.

Entretanto, apesar do decréscimo do nível freático entre os meses de abril a setembro, a água continua fluindo da região saprolítica em direção aos poços, indicando para a bacia a presença de um aquífero freático de boa porosidade na faixa saprolítica.

Percebe-se, pelo gráfico 2, que embora os valores da variação do nível sejam diferentes, os dois poços apresentaram um mesmo padrão na variação do nível freático, com pico máximo em janeiro. A partir de fevereiro, há um decréscimo com pico mínimo em setembro. Os meses de outubro a dezembro são de reposição.

Gráfico 2 - Variação do nível freático nos poços monitorados na bacia



Fonte: SOUSA (2013).

Nota: (poço 1 = cisterna e poço 2 = tubular).

Quando cessam as chuvas, no final de março, o processo efetivo de infiltração se extingue, mas a água nos solos é redistribuída para o interior, uma vez que as chuvas abundantes saturam com maior eficiência as camadas mais próximas da superfície, ou seja, as camadas mais profundas dos solos apresentam menor umidade que as camadas mais superficiais. Assim, em períodos de intensas chuvas o escoamento superficial é favorecido.

De acordo com Machado e Torres (2012), ao diminuir a intensidade das chuvas, a água dos solos tendem à redistribuição, promovendo a inversão da umidade, as camadas mais superficiais tendem a perder umidade pela evaporação e pela absorção das raízes, assim o período de retirada da água nos solos na bacia, ocorre entre o final de março e o final de junho, quando o nível freático está bastante baixo.

A variação do nível freático e da chuva apresentam uma dinâmica compatível, ou seja, aumentando as chuvas, sobe simultaneamente a lâmina de água.

Considerando que no final de setembro o nível freático está mais baixo, e que, mesmo após cinco meses sem aporte de água da chuva os poços não secam, e que há o aumento do nível da água concomitantemente com o aporte das chuvas, é possível inferir, que a zona de aeração ou subsaturada do lençol apresenta boa porosidade e transmissividade, já que o retardo da infiltração é bem pequeno.

A predominância de relevo plano a suave ondulado, a presença de Latossolos

e a boa condutividade hidráulica dos solos, tanto em superfície como em profundidade, indicam um aquífero freático raso.

Almeida et al. (2006) destacam que os Latossolos apresentam funcionamento hídrico similar, independente da textura, geralmente com condutividade hidráulica elevada (10^{-7} a 10^{-4}) em superfície, e 10^{-9} a 10^{-4} em profundidade, e a porosidade efetiva não é inferior a 8% como ocorre na área avaliada.

Os valores de referência utilizados nos cálculos do lençol freático estão descritos no quadro abaixo.

Quadro 2 - Dados de referência para o cálculo das reservas do nível freático

Sistema	Espessura saturada (m)	η_e ou IFi (porosidade efetiva, %)	Área aflorante (em m ²)	Observações
Freático	20	10	1.050.000	A boa permeabilidade dos solos de textura argilosa favoreceu a elevação da porosidade efetiva.

Fonte: SOUSA (2013).

O valor da Reserva renovável calculado foi de 177.240 m³/ano o que equivale a 10,55% da precipitação média anual na bacia. Almeida et al. (2006) indicam uma porcentagem de 5 a 12% para aquíferos freáticos de classe II em Goiás, ou seja, o valor obtido está de acordo com a média estabelecida para o Estado de Goiás.

A reserva permanente calculada foi de 1.680.000 m³/ano e a reserva explorável foi de 345.240 m³, sabe-se que a reserva explorável é aquela em que a água subterrânea pode ser utilizada sem prejuízo para o equilíbrio do sistema.

Um resumo das características da bacia e do lençol freático é apresentado no quadro a seguir:

Quadro 3 - Síntese dos dados da bacia

Variável	Observações ou descrições
Área da bacia	10 km ²
Relevo	Suave ondulado a ondulado
Litologias	Granitos, Piroxenitos alcalinos e Gabro alcalino
Uso da terra predominante	Pastagem
Classes de solos	Argissolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo Litólico e Glei
Declividade média	11%
Suscetibilidade Erosiva dos solos	Baixa
Área de contribuição na recarga do lençol freático	26% ou 2,73 km ²
Condutividade hidráulica média dos solos na Zona de recarga	10 ⁻⁵ m/s
Reserva Renovável	177.240 m ³ /ano
Reserva Permanente	1.680.000 m ³ /ano
Reserva Explotável	345.240 m ³
Definição do aquífero	Aquífero freático

Fonte: SOUSA (2013).

Conclusões

O lençol freático tem uma pequena área de recarga na bacia, área esta compreendida principalmente pelos Latossolos de ambas as litologias. A variação do nível freático segue a dinâmica das chuvas, com um retardo de infiltração pequeno. A zona saprolítica se caracterizou como boa armazenadora e fornecedora de água em ambas as litologias.

Apesar das diferenças morfológicas dos solos sobre granitos e rochas alcalinas,

ambos se equivalem na condutividade hidráulica.

Agradecimentos

Ao professor e técnico em mineração Nelson Ribeiro Gomes, pelas informações importantes sobre a espessura saprolítica dos afloramentos alcalinos de Iporá.

À Empresa Água da Fonte pelas informações sobre a espessura saprolítica dos granitos de Iporá.

Referências

ALMEIDA, L. de.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: 2006. Secretaria da Indústria e Comércio SIC. 232 p.: il. (Série Geologia e Mineração, n. 1).

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solos em Latossolo roxo distrófico**. Piracicaba, 1990. 259 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP, 1990.

BARTH, F. T.; BARBOSA, W. E. S. **Recursos hídricos**. 1999. Disponível em: <<http://www.fctb.br/public/cursos/phd5028.html>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

CABEDA, M. S. Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1., 1984, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: PIVCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p.28-33.

CAMPOS, J. E.; SOUZA, M. T. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.54, n.3, July/sept. 2001.

COSTA, W. D. Uso e gestão de águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO J. (Ed.). **Hidrologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. p. 341-367.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA. **Dados de chuva e temperatura**. Iporá: Inmet, 2013.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2008.

ISLAN, K. R.; WEILL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.55, p.69-79, 2000.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178 p.

MICROSOFT OFFICE®. **Microsoft Excel®**. Version 14. [S.I.]: Microsoft Corporation, 2010. 1 CD-ROM.

NIMER, Edmon. Clima da região Centro-Oeste. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia da região Centro-Oeste**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. [S.I.].

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo**. 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)- Instituto Agrônomo, Pós-Graduação do Instituto Agrônomo, 2001.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thorntwaite & Mather** (1955). Piracicaba: ESALQ/USP – Departamento de Ciências Exatas: Área de Física e Meteorologia, 1999. (Programa para Excel, v.6).

SECTEC/SIMEHGO. **Gerência de Estatística Socioeconômicas de Goiás**. [S.I.]: 2003.

SOUSA, F. A. de. **A contribuição dos solos originados sobre granitos e rochas alcalinas na condutividade hidráulica, na recarga do lençol freático e na suscetibilidade erosiva: um estudo de caso na alta bacia hidrográfica do rio dos Bois em Iporá-GO**. 2013. 207 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2013.

TECKCOMINCO S/A. **Mapa geológico do projeto alcalinas da região do rio dos Bois em Iporá-GO**. [S.I.]: 1976.