Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (CAD) e Características Físicas dos Solos na Avaliação da Distribuição da Água das Chuvas na Alta Bacia do Ribeirão Santo Antônio.

Flávio Alves de Sousa¹, Hildeu Ferreira da Assunção²

(1) Universidade Estadual de Goiás (UEG). Unidade Universitária de Iporá-GO, CEP 76.200-000, Prof^o Dr. do Curso de Geografia. Autor para correspondência; e-mail flaueg@hotmail.com e flavio.alves@ueg.br (2) Universidade Federal de Jataí-GO (UFJ). Prof^o Dr. do Departamento de Agronomia. CEP 75801-615. Autor para correspondência; e-mail hildeu@yahoo.com.

Artigo recebido em 11/06/2020 e aceito em 30/11/2020

RESUMO

O estudo avalia a capacidade de armazenamento de água dos solos (CAD), utiliza como objeto de avaliação os latossolos da alta bacia do ribeirão Santo Antônio no município de Iporá-Goiás. O objetivo do estudo foi avaliar a dinâmica da água da chuva na manutenção do fluxo de água na bacia através de avaliações em laboratório, além de testar uma nova metodologia para definir os destinos da água que chegou até a superfície. Utilizou de dados de umidade dos solos em período de déficit hídrico e de excedente para comparar o comportamento dos solos na retenção de água e na permeabilidade. Utilizou a metodologia padrão na definição do CAD, porém com ajustes específicos na obtenção da umidade e na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente PMP, que aqui foi denominado de ponto de menor umidade residual (PMUR). Informações como dados de chuva do período, balanço hídrico climatológico no período analisado (maio de 2018 a abril de 2019) e valores de vazão obtidos mensalmente no exutório durante o período de referência fizeram parte da análise. Um total de 43,5% da água disponibilizada pela chuva escoou superficialmente, 9,5% escoou em subsuperfície, 47% da água infiltra e/ou permanece retida nos solos. Os solos apresentaram boa drenagem e 42% da água das chuvas garantem a perenidade da bacia.

Palavras-chave: CAD. Permeabilidade. Umidade. Armazenamento.

Soil Water Storage Capacity (AWSC) and Physical Characteristics of Soils in the Evaluation of Rainwater Distribution in the High Basin of Santo Antônio Stream.

ABSTRACT

The study evaluates the water storage capacity of soils (AWSC). It use like object of evaluation the oxissols located at the high Santo Antônio basin. The objective of the study was to evaluate the dynamics of rainwater in maintaining the flow of water in the basin through laboratory evaluations, in addition to testing a new methodology to define the destinations of the water that reached the surface. Was used soil moisture data in a period of water deficit and surplus to compare the behavior of soils in water retention and permeability. It used the standard methodology in the definition of the AWSC but with specific adjustments in obtaining the humidity and in the field capacity (FC) and in the permanent wilting point PWP, which here was called the point of lowest residual moisture (PLRM). Information such as rainfall data for the period, climatological water balance in the period analyzed (May 2018 to April 2019) and flow values obtained monthly in the exutory during the reference period were part of the analysis. A total of 43.5% of the water provided by the rain run off superficially, 9.5% seeps in subsurface, 47% of the water seeps and / or remains trapped in the soil. The soils had good drainage and about 42% of the rainwater guarantees the basin's perpetuity.

Keywords: AWSC. Permeability. Moisture. Storage.

Introdução

A chuva apresenta-se como fator primordial no sistema solo/planta e na disponibilidade hídrica para o abastecimento dos mananciais superficiais e fluxos subterrâneos, mas da água que chega até a superfície do solo, apenas uma pequena parcela chega até o lençol freático e, portanto, o seu abastecimento é lento. Sendo assim o processo ocorre da seguinte maneira: da água que chega até a superfície uma parte é armazenada no solo e fica disponível para ser absorvida pelas raízes das plantas, outra parte segue o fluxo vertical mais intenso quando há excedente hídrico, como destaca Rossato (2001).

Estudo de Maciel (2017) mostra uma relação diretamente proporcional entre chuvas e vazão, onde aumentada a precipitação haverá uma resposta positiva também na vazão, ocorrendo o contrário quando o período chuvoso termina, e nesse caso os fluxos de base são os sustentadores das vazões. Daí a necessidade de se entender a dinâmica da água das chuvas numa bacia hidrográfica.

Devido à importância da água no solo, várias técnicas são empregadas para sua determinação, sejam elas técnicas diretas ou indiretas. Um modelo bastante utilizado é o balanço hídrico, que estabelece uma relação entre os mecanismos de entrada e saída de água no solo conforme as características físicas do solo e a disponibilidade hídrica desencadeada pela precipitação. Assim taxas de precipitação, temperatura e evapotranspiração são consideradas nos sistema.

Sousa (2019 *a*) ao fazer experimentos para determinação do escoamento subsuperficial da água no solo, utilizou como um dos parâmetros de análise do armazenamento o balanço hídrico sequencial, utilizando um CAD de 100 mm com posterior correção para as condições físicas do solo local, pois o armazenamento de água no solo, é variável conforme as propriedades físicas do mesmo, como a textura, que influencia no volume de macro e micro poros do solo e, conseqüentemente, na resposta ao armazenamento.

A força de retenção da água no solo aumenta enquanto diminui a disponibilidade hídrica do solo, e nesse caso, haverá menos água disponível às plantas, (Bortoline, 2016).

Tem-se utilizado como referência na determinação da umidade do solo os termos capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) como parâmetros de identificação da máxima e mínima disponibilidade de água para as plantas, (Rossato, 2001). A determinação destes parâmetros carece de

técnicas específicas, que são variáveis conforme o tipo de planta, pois cada espécie atinge o seu máximo e mínimo de maneira diferenciada, conforme o autor.

Quando há déficit hídrico, diz-se que a água está sob a ação da força matricial do solo e, portanto, fica retida por adsorção e, quando há excedente hídrico, o que ocorre em períodos de acréscimo de água ao solo, por chuvas principalmente, o potencial gravitacional age, deslocando a água para movimentos laterais e verticais no perfil do solo, (Gonçalves, 1994).

Conforme Bergamaschi (1992), a retenção da água no solo é função da energia que a retém e considera que a capacidade de campo é atingida quando o potencial matricial do solo atinge -33 kPa e o ponto de murcha é atingido com -1500 kPa. O CAD é a capacidade que o solo possui de armazenar água até o ponto em que o excesso possa fluir lateralmente ou para o lençol freático sob o efeito gravitacional.

A maior parte dos trabalhos que utilizam análises relacionadas ao balanço hídrico e à determinação do CAD, os valores definidos para o cálculo são sempre considerados de 100 mm, como nos trabalhos de Ribeiro et al. (2015), Klein e Klein (2015) e Silva et al. (2017). Nesse caso considera-se que todos os solos possuem capacidade de armazenamento igual, mas se se pretende uma análise mais real, é necessário o conhecimento das características climáticas, especificamente do volume e distribuição das chuvas, bem como das condições dos solos.

Klein e Klein (2015) concordam que a capacidade de armazenamento de água nos solos depende de alguns fatores com textura, matéria orgânica e da microestrutura dos solos.

Quando o assunto é a manutenção da água que circula na bacia hidrográfica os períodos de excedente hídrico dos solos são fundamentais, pois são nestes períodos que a água pode fluir para camadas mais profundas do perfil do solo, seja para o lençol freático, seja para o canal de drenagem a partir do escoamento subsuperficial, como destaca Sousa (2019*b*).

Considerando os aspectos de déficit, excedente hídrico e capacidade de armazenamento dos solos (CAD), o estudo aqui apresentado teve como meta principal avaliar em laboratório a umidade, o CAD e a permeabilidade dos latossolos na alta bacia do ribeirão Santo Antônio, mas observando estes parâmetros de maneira distinta do habitual, ou seja, olhando pelo prisma da manutenção da água na bacia hidrográfica.

O estudo objetivou ainda testar uma nova maneira de considerar o CAD que nesse caso não

visou o sentido agrônômico, mas a capacidade que os latossolos da bacia apresentam na manutenção da água nos períodos de escassez hídrica e como a água poderá contribuir na recarga do lençol freático e consequentemente na alimentação dos mananciais, mantendo assim uma perenidade nos recursos hídricos locais. A escolha dos latossolos se deu pelo fato desses solos estarem nas principais áreas de recarga dos aquíferos.

Justificativa

A perenidade de uma bacia hidrográfica depende diretamente das condições climáticas, principalmente da variável chuva que chega até a bacia. Depende ainda das condições de uso e manejo dos solos e de suas características físicas, e das condições morfoestruturais do relevo.

Quando os solos apresentam boa cobertura vegetal, boa conservação e manejo e características físicas que favoreçam a permanência da água na bacia por maior tempo após as chuvas, isso favorece a manutenção da perenidade da água dos mananciais, juntamente com as condições de rochas que permitem em maior ou menor quantidade a interceptação do lençol freático através de fendas e falhas.

Estudo de Gomes et al. (2012) aponta que o manejo dos solos influencia diretamente na vazão dos mananciais, tornando-a mais estável mesmo em períodos mais secos. Indica ainda que as condições de porosidade e teor de argila dos solos influenciam na infiltração da água e por sua vez, na vazão dos mananciais.

Nesse sentido o estudo teve como justificativa a busca do aprimoramento da técnica de análise da capacidade dos solos em reter/fornecer água para o sistema hidrológico, bem como avaliar em outro contexto a determinação do CAD e permeabilidade dos solos, o que pode levar à elaboração de novas pesquisas sobre o assunto, bem como permitir avaliações mais precisas sobre a avaliação da dinâmica da água na bacia hidrográfica.

O trabalho tem como referência a hipótese de que as análises sobre o meio físico e nesse caso a água que circula na bacia hidrográfica podem ser muito melhor aprimoradas, a fim de garantir maior retenção de água nos solos e permitir durante os períodos de excedente hídrico que a mesma possa fluir sistematicamente para o lençol freático e por escoamento subsuperficial para os canais de drenagem, permitindo assim, maior perenidade dos mananciais hídricos.

Aspectos metodológicos

O CAD foi determinado utilizando-se da umidade do solo que foi obtida em amostra indeformada coletada no campo. As condições padrão para determinar o CAD foram alteradas, embora se tenha utilizando a mesma equação de determinação. Tais alterações se deveram ao objetivo do estudo, que foi verificar as condições de manutenção da água nos solos da bacia hidrográfica.

Para a coleta das amostras indeformadas foram utilizados cilindros de metal de 98 cm³ com peso previamente conhecido. A escolha dos pontos de coleta na bacia foi definida primeiramente sobre o mapa de declividades da bacia, escolhendo-se áreas com declividade entre 0 e 6% em pontos mais elevados do terreno em relação à drenagem mais próxima, onde os solos se destacassem por uma boa drenagem interna, que caracterizariam os locais de domínio dos latossolos. Em cada local foram coletadas amostras em três pontos diferentes com distância mínima de 50 metros entre os pontos. Os valores adotados na análise final são resultantes de médias aritméticas já consideradas e eliminadas as possíveis discrepâncias entre os valores, o que foi feito com o auxílio do Excel para identificação dos *outliers*.

As amostras foram coletadas em dois períodos distintos, sendo um referente ao mês de déficit hídrico dos solos, e outro com excedente hídrico, que no presente estudo foram representados pelos meses de agosto de 2018 e fevereiro de 2019 respectivamente. Os meses em questão foram definidos através do trabalho de Sousa (2013) que realizou o balanço hídrico climatológico de Iporá considerando um período histórico de 38 anos (1976 a 2014). Também foi realizado um balanço hídrico climatológico no período de maio de 2018 a abril de 2019, como forma de ratificar os meses de excedente e déficit hídrico dos solos no período da pesquisa. Para o balanço hídrico utilizou-se o método de Thorthwaite e Mather (1955) apresentado por Silva et al. (2017) e desenvolvido em planilha por Rolim e Sentelhas (1999).

Os valores de umidade calculados para fevereiro foram obtidos após as amostras serem submetidas à submersão em recipiente com água e, representaram a capacidade de campo (CC). A umidade obtida em agosto representou o ponto de murcha permanente (PMP). O termo ponto de murcha permanente nesse estudo sofreu uma adaptação para ponto de menor umidade residual (PMUR), para que não houvesse comparação com a metodologia vigente na determinação da PMP,

principalmente a exposta por Viehmeyer e Hendrickson (1949), onde o PMP é representado pelo teor de água de um solo, onde as folhas de uma planta ali desenvolvida chegam ao nível de murcha irreparável e a umidade do solo é testada conforme a tensão matricial de -1500 kPa. Contudo a equação utilizada permaneceu a mesma, mudando-se apenas a terminologia e os critérios de medição, devido ao já citado objetivo da pesquisa.

O CAD foi calculado de maneira real e não estimado através de um valor padrão. Para isso foi utilizada uma variação da metodologia tradicional, onde se elencou as seguintes etapas:

- Determinação da umidade do solo em agosto (déficit hídrico);
- Determinação da umidade do solo em fevereiro (excedente hídrico);
- Imersão em água de amostra indeformada do mês mais úmido por 24 horas em recipiente com volume de água conhecido, durante 24 horas;
- Escoamento da água da amostra saturada através de peneira de 1 mm de malha, por 48 horas (o conjunto cilindro/peneira/recipientes foi coberto com um tecido de algodão para evitar perda excessiva por evaporação). Após drenada, a água escoada foi adicionada à água remanescente e realizado o cálculo do volume absorvido;
- A amostra drenada foi pesada e levada em estufa por 24 horas a 105°C para obtenção da umidade residual.
- A umidade obtida da amostra coletada diretamente em campo foi descontada da umidade residual obtida da amostra imersa, para saber quanto mais de umidade adicional o solo suportaria antes da ação da força gravitacional. Para isso utilizou-se amostra do mês mais úmido (excedente hídrico).

A água absorvida pela amostra no recipiente de imersão mais a água escoada da amostra, demonstrou o volume de água absorvida por cm³ de solo para sua saturação até a capacidade de campo, a partir da qual atuaria a força gravitacional, que deslocaria o excesso de água para os horizontes mais profundas do solo e para o lençol freático.

Após a secagem da amostra saturada por imersão, verificou-se a diferença de peso entre a umidade residual normal e a umidade da amostra imersa, que serviu como base para definição da umidade na capacidade de campo (UCC). Para determinação do CAD utilizou-se equação um, modificada de Farias et al.(2005).

$$\text{CAD} = [(UCC - \text{PMUR}) / 100] \times P \quad (\text{E1})$$

Onde:

CAD é a capacidade de armazenamento;

UCC é a umidade na capacidade de campo (% peso);

PMUR é o ponto de menor umidade residual (% peso), obtida em agosto.

P é a profundidade da coleta da amostra (mm).

Quanto à textura, esta foi determinada pelo método do densímetro de Boyoucos descrita por Sousa (2013). A densidade do solo e a porosidade total foram determinadas a partir da metodologia da Embrapa (1997), que consiste na relação entre a massa dos solos e o volume total dos mesmos, conforme equação três. A equação quatro extraída de Lepsch (2011) embasou o cálculo da porosidade total.

$$D_s = M_s / V_t \quad (\text{E2})$$

$$P_t = [(D_p - D_s)/D_p] \times 100 \quad (\text{E3})$$

Onde:

D_s é a densidade; **M_s** é a massa seca, **V_t** é o volume total; **P_t** é a porosidade total e **D_p** é a densidade de partículas.

A umidade do solo foi obtida através da metodologia da Embrapa (1997) através da relação entre a massa de água e a massa de solo representada na equação quatro.

$$\theta = V_w / V_t = V_w / V_s + V_a + V_w \quad (\text{E4})$$

Onde:

θ é a umidade volumétrica; **V_w** é o volume da água; **V_t** é o volume total; **V_s** e **V_a** são respectivamente volume do solo e volume da amostra.

A densidade de partículas foi calculada conforme metodologia de Blake e Hartge (1986), através da equação cinco.

$$D_p = a/(50-b) \quad (\text{E5})$$

Onde:

D_p - Densidade de partículas;

a - Peso da amostra seca a 105°C;

b - Volume de álcool etílico gasto

Os materiais utilizados na determinação da D_p foram: Bureta digital 0-50 ml; balão volumétrico de 50 ml; 20g de solo seco em estufa (TFSA); álcool etílico; balança de precisão.

Foi também avaliada a tensão matricial dos

solos, onde as amostras de solo foram submetidas à medida da tensão matricial através de tensiômetro com vacuômetro, constituído por um tubo de PVC com capsula de porcelana na extremidade inferior. As medidas foram realizadas em agosto (período de déficit hídrico dos solos) e em fevereiro (período de excedente hídrico dos solos).

As medidas foram tomadas em amostras de solos coletadas a 40 cm de profundidade e acondicionadas em sacos plásticos resistentes, num total de aproximadamente 3 kg de solo por embalagem. Em laboratório o tensiômetro foi inserido na amostra para realização da tensão por 24 horas.

A tensão matricial saturada foi obtida da mesma maneira, somente foi acrescido na amostra, um volume de água proporcional ao acréscimo obtido no volume de solo da amostra indeformada saturada.

O balanço hídrico climatológico foi gerado com dados de chuva e temperatura coletados entre 01/05/2018 a 30/04/2019 na estação meteorológica da UEG câmpus de Iporá. O CAD utilizado no cálculo foi de 32 mm conforme valor médio dos resultados de umidade obtidos dos solos avaliados.

Dados sobre a vazão na alta bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio foram obtidos através de régua linimétrica (obtida por curva chave) instalada na barragem de nível da estação de captação de água da SANEAGO (Companhia de Abastecimento de água de Goiás). Os dados foram compilados de Moura (S/D), que realizou medições sistemáticas da vazão no ponto de captação de água desde 2016.

Os dados de vazão foram aplicados na determinação do índice de escoamento superficial, conforme equação sete.

Utilizou-se no estudo o conceito “chuva líquida”. Conceito desenvolvido nesse estudo que representa a diferença entre a chuva total e evapotranspiração real (ETR) para definir a quantidade de chuva que realmente entra no sistema através de infiltração, escoamento superficial e subsuperficial. A equação seis mostra como se obteve a chuva total líquida.

$$P = P_{tb} - ETR \quad (E6)$$

P = precipitação líquida ; P_{tb} = precipitação total bruta;
ETR = evapotranspiração real.

O índice de escoamento superficial foi obtido através da relação entre o volume escoado (vazão), e o volume total da precipitação bruta. Para tal utilizou-se a equação sete.

$$C_{es} = \frac{\text{Volume total escoado (mm)}}{\text{Volume total precipitado (mm)}} \quad (E7)$$

Foi realizada uma estatística básica dos componentes texturais (argila, silte e areia), bem como a correlação e regressão entre a porosidade total e os componentes texturais e entre a umidade do solo com a tensão matricial. As análises foram feitas através do programa Excel da Microsoft.

Resultados e discussão

A alta bacia do ribeirão Santo Antônio está localizada ao norte do município de Iporá, que por sua vez está inserido na região geográfica denominada Centro Oeste Goiano, (Figura 1), onde predomina clima tropical subúmido com um período chuvoso que vai de outubro a abril e um período seco de maio a setembro, Sousa (2013). A média pluviométrica anual é de 1646 mm conforme dados obtidos nesse estudo através de dados da estação climática da UEG no câmpus Iporá.

A bacia possui uma área de 125 km² até o ponto de coleta da SANEAGO. O relevo é suave ondulado a ondulado com declividades que variam de 0 a 20%, sendo a declividade média de 8,2%, conforme estudo de Moura (2017), realizado para a mesma porção da bacia.

A estrutura geológica é constituída por rochas do embasamento cristalino como granitos, gnaisses e granodioritos, e de maneira localizada, por rochas alcalinas como gabros, piroxenitos e dunitos, além de rocha sedimentar da Formação Furnas de acordo com levantamento realizado através do mapa geológico de Iporá disponibilizado no site do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG).

Os solos presentes na alta bacia são neossolos litólicos, cambissolos, argissolos, solos hidromórficos e latossolos, estes últimos ocupando as partes mais elevadas e planas do relevo, e por isso, mais intensamente ocupadas por pastagens e lavouras temporárias, sendo o foco deste estudo. Os latossolos ocupam cerca de 40% da área da bacia e estão distribuídos em sete parcelas na alta bacia.

Figura 1. Localização da área de estudo

O Quadro 1 mostra algumas propriedades físicas dos solos como a textura, densidade,

densidade de partícula, porosidade total e a umidade residual no mês de agosto de 2018.

Quadro 1. Resumo das propriedades físicas e umidade em Agosto de 2018).

Ponto	Textura	Ds (g.cm ⁻³)	Dp (g.cm ⁻³)	Pt (%)	Umidade (g.kg ⁻¹)
1	Franca	1,58	3,6	56	134
2	Franca	1,33	2,5	47	70
3	Franca	1,22	2,53	52	80
4	Franca	1,36	2,85	52	40
5	Franca	1,15	2,66	57	55
6	Franco-argilosa	1,26	2,5	49	135
7	Franco-argilosa	1,27	2,5	49	120
	Médias	1,31	2,73		90,6

Os solos apresentam textura franca onde predominam rochas alcalinas (ponto 1) e granitos (pontos 2, 4 e 5); arenito Furnas no ponto 3, enquanto nos pontos 6 e 7 os solos apresentam uma textura franco-argilosa, com teores de argila na casa dos 30% em granodiorito.

A densidade dos solos apresentou média de 1,31g.cm⁻³, típica de solos de textura média (franca), entretanto é possível notar que nos pontos 1 e 4 a densidade e a densidade de partícula são ligeiramente maiores em função de serem pontos situados em rochas com maior teor de óxido de ferro, o que eleva a densidade do solo, inclusive com alta

atração magnética como no caso do ponto 1.

A porosidade total quando correlacionada com teor de argila, areia e silte não apresentou correlação a ser considerada. Na correlação com a argila percebe-se um movimento em direções opostas entre as variáveis como mostra o valor obtido (-0,402624356). As correlações com areia e silte mostram valores fracos (0,242749427) e com silte de 0,059385873. Ou seja, os valores de porosidade total do solo não apresentam significado quando comparados apenas com os valores texturais. O Quadro 2 apresenta os valores da estatística básica.

Quadro 2. Estatística básica dos agentes texturais dos solos.

Variáveis	Porosidade total	Argila	Areia	Silte
Média	51,85714	18,71429	48,571429	32,71428571
Erro padrão	1,370238	3,378604	4,7652369	3,427579222
Mediana	52	15	47	33
Modo	52	#ND	#ND	43
Desvio padrão	3,625308	8,938946	12,607632	9,068522219
Variância da amostra	13,14286	79,90476	158,95238	82,23809524
Curtose	-0,99839	-0,90421	-0,09331	0,426069487
Assimetria	0,30762	1,037231	0,6133407	-0,590983994
Intervalo	10	22	36	26
Mínimo	47	10	34	17
Máximo	57	32	70	43
Soma	363	131	340	229
Contagem	7	7	7	7
Nível de confiança (95%)	3,352851	8,267147	11,660115	8,386984218

Os desvios padrões das propriedades texturais dos solos apontam valores altos, compatíveis com dados homogêneos e dispersos em torno da média, caracterizando solos com texturas heterogêneas na bacia. A Figura 2 mostra

a regressão entre argila e porosidade total, apontando uma regressão baixa, de 16%, configurando uma baixa correlação entre porosidade e textura.

Figura 2. Regressão entre argila e porosidade total.

No Quadro 3 estão representados os valores dos componentes texturais em cada classe

de solo, e na Figura 3 a variação entre os componentes.

Quadro 3. Textura dos solos.

Ponto	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Total (%)
1	43	43	14	100
2	53	32	15	100
3	70	17	13	100
4	47	43	10	100
5	57	27	16	100
6	36	33	31	100
7	34	34	32	100

Nota-se no Quadro 3 que os solos analisados apresentam teores de areia e silte superiores, com exceção dos solos 6 e 7. Nos solos de textura franca há maior número de macroporos que facilita a percolação da água durante os períodos chuvosos, mas ao mesmo tempo apresentam teores de silte mais elevados, favorecendo o movimento capilar durante os períodos de estiagem. Uma vez que a força capilar é definida pelo tamanho dos poros do solo, a fração silte se coloca como intermediária nesse processo, enquanto os poros em solos argilosos são menores e mais abundantes, porém retardam o movimento da água, enquanto nos solos arenosos a ascensão é rápida, mas com altura limitada. Solos siltosos favorecem a capilaridade, conforme destaca Lepsch (2011), mas também perdem água por

evaporação nas camadas mais superficiais do horizonte A durante os períodos mais secos e quentes, principalmente quando a cobertura vegetal é pouco eficiente, como nas pastagens degradadas da bacia.

A Figura 3 representa a distribuição dos atributos texturais dos solos onde é possível notar uma distribuição mais diferenciada nos solos dos pontos 1,2,5. O ponto 3 apresenta uma proximidade entre silte e argila e uma maior concentração de areia, pois este ponto está sobre um terreno arenoso resultante do arenito da Formação Furnas (Devoniano). O ponto 4 apresenta uma proximidade maior entre silte e areia, enquanto os pontos 6 e 7 apresentam maior homogeneidade entre as partículas.

Figura 3. Distribuição dos valores de areia, silte e argila.

Com relação à tensão matricial, quando a umidade diminui há o aumento da tensão ou do potencial matricial. Este fator é utilizado para estimar a umidade na CC independente do método de determinação do PMP conforme destaca Klein et al.(2006).

Os valores considerados como PMUR para os solos analisados na bacia durante o mês de agosto estão apresentados no Quadro 4, onde são demonstradas as umidades, as tensões do solo e o teor de argila em cada ponto avaliado.

Quadro 4. Tensão, umidade e teor de argila dos solos (Agosto).

Ponto	kPa	Umidade (%)	Argila (%)
1	- 55	13,4	14
2	- 61	7	15
3	- 60	8,0	13
4	- 67	4,0	10
5	- 61	5,5	16
6	- 65	13,5	31
7	- 66	12	32

A correlação entre umidade e tensão matricial foi de -0,841150181, indicando uma diminuem. A Figura 4 mostra a regressão entre a umidade e a tensão, configurando-se uma

correlação forte em sentidos opostos, ou seja, quando a umidade aumenta os valores da tensão correlação de 70% entre as variáveis.

Figura 4. Regressão linear entre umidade e tensão matricial.

Considerando que a capacidade de campo dos solos é atingida a -33 kPa e o PMP a -1500 kPa conforme Bergamaschi (1992), o mês mais seco e com maior déficit hídrico na bacia em condições de campo apresentou valores variando de -55 a -66

kPa, ou seja, nesse período os solos são considerados naturalmente secos e o capim, que é a vegetação comum na bacia se encontra bem seco como mostra a Figura 5 obtida em agosto de 2018.

Figura 5. Solo com capim seco e degradado. Foto: os autores (2018)

Conforme escala de saturação dos solos proposta pela IEAG (1979) todos os solos na bacia apresentaram uma condição classificada como

“naturalmente seco”, durante o mês de agosto de 2018, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Classificação do solo quanto ao grau de saturação.

Valor da umidade (%)	Classificação
0 a 25	Naturalmente seco
25 a 50	Úmido
50 a 80	Muito úmido
80 a 95	Saturado
95 a 100	Altamente saturado

Fonte: IEAG (1979).

O Quadro 6 apresenta os valores relativos à umidade residual, a tensão matricial e a umidade saturada, que serviu como referência para o cálculo

da capacidade de campo (CC) e a tensão matricial saturada.

Quadro 6. Umidade, tensão, umidade e tensão saturada. (Fevereiro)

Pontos	Umidade (%)	Tensão (kPa)	Umidade saturada (CC) %	Tensão saturada (kPa)
1	26	39	28,3	-43
2	8,2	14	12,2	-17
3	13,5	22	15,5	-22
4	10,2	15	13,2	-18
5	14,5	20	16,3	-32
6	19,7	30	21,8	-37
7	18,3	32	22,3	-38

A correlação entre tensão e umidade residual em fevereiro foi 0,976664, portanto uma alta correlação, indicando uma forte relação entre umidade e tensão matricial. Na capacidade de

campo a correlação foi de 0,944188791 seguindo a mesma tendência. As Figuras 6 e 7 mostram a regressão entre as variáveis, umidade e tensão.

Figura 6. Regressão entre umidade e tensão em fevereiro de 2019.

Figura 7. Regressão da tensão na umidade na CC.

A Figura 8 representa o balanço hídrico mostrando que o levantamento da umidade do solo em agosto de 2018 está coerente com o período de maior déficit hídrico dos solos, e que fevereiro

representou o pico de excedente hídrico, mostra ainda os períodos de excedente e déficit hídrico dos solos.

Figura 8. Excedente e déficit hídrico dos solos (maio 2018/abril 2019)

Os valores observados para o PMUR e para a capacidade de campo (CC) representada pela umidade saturada das amostras resultaram em CAD médio de 32 mm.m⁻³. A Figura 9 mostra que o armazenamento de água nos solos vai de novembro a março, atingindo seu pico máximo

somente em três meses, novembro, dezembro e fevereiro. Os meses de maio a outubro são meses de déficit hídrico e os meses de janeiro, março e abril apresentaram ligeiro déficit hídrico no período considerado.

Figura 9. CAD dos solos avaliados.

As condições de solo, relevo e de chuva na bacia influenciam no escoamento e armazenamento de água. A chuva líquida é considerada a chuva que efetivamente contribui para a dinâmica da água em uma bacia hidrográfica. A vazão representa o volume de água que passou pelo exutório da bacia, nesse caso, calculado em L/s e modificado depois para L/mês.

O índice de escoamento superficial não foi considerado para os períodos sem chuva ou com valores que resultassem em número negativo. O quadro 6 mostra um resumo da distribuição da água na bacia.

O índice de escoamento superficial variou entre zero no período sem chuva, a 0,65, sendo a média do período de 0,27 ou 27%. Foi possível

notar que nos meses mais chuvosos os solos estavam mais úmidos o que refletiu no acréscimo do índice no mês posterior. Os meses de maio a agosto de 2018 não apresentaram escoamento superficial, pois os solos estavam secos e porque não houve chuva, significativa no período.

A chuva líquida forneceu ao sistema cerca de 104,6 bilhões de litros. Nos meses de maio a setembro não houve contribuição das chuvas na vazão, sendo que a mesma se manteve em função da influência do lençol freático que forneceu 5,7 bilhões de litros ao sistema de drenagem. O escoamento superficial contribuiu para o sistema com uma vazão de 45,5 bilhões de litros durante o período, enquanto a vazão no exutório foi de 50,9 bilhões de litros/ano.

Do total de água disponibilizada pela chuva no sistema da bacia, 59,1 bilhões de litros ou 56,5% da água foi infiltrada, influenciando na retenção de água nos solos e na recarga direta do sistema freático.

Estimou-se em 10 bilhões de litros ou 9,56% a água retida nos solos, o que define os solos da

bacia como apresentando baixa retenção de água e favorecendo a infiltração direta devido a sua alta permeabilidade, o que ocorre em função da textura franca da maioria dos solos da bacia, o que foi também demonstrado pelo CAD obtido. O Quadro 7 mostra a contribuição da água da chuva na vazão direta do manancial e na infiltração.

Quadro 7. Contribuição da chuva no sistema no período de maio de 2018 a abril de 2019.

Chuva efetiva (bilhões de litros)	Escoamento Superficial (bilhões de litros)	Água do solo e escoamento subsuperficial (bilhões de litros)	Infiltração direta (bilhões de litros)
104,6	45,5	10	44,2

Considerações finais

A alta bacia do ribeirão Santo Antônio apresenta solos latolizados em 60% de sua área, embora essas terras mais planas e bem drenadas sejam descontínuas ao longo da bacia são áreas muito utilizadas para pastagens e agora em muitos pontos a pastagem está sendo substituída por soja.

Quanto aos objetivos da pesquisa, estes foram alcançados, uma vez que as análises e determinações do CAD e da permeabilidade dos solos em laboratório foram realizadas com eficiência conforme a proposta do trabalho.

A metodologia adotada para determinação do CAD e dos volumes de água que circulam na bacia se mostraram promissores para futura avaliações em outras bacias hidrográficas, e poderá auxiliar em planejamentos hídricos.

Os solos avaliados apresentaram boa drenagem, o que é favorável para o abastecimento do lençol freático, todavia há uma baixa retenção de água durante os períodos mais secos, devido à estrutura e textura dos mesmos. Isso implica que em condições severas de secas o manancial pode diminuir muito a sua vazão, como se tem notado nos últimos anos. Nesse caso é preciso melhorar as condições de uso e manejo dos solos da bacia e implantar uma política de não ocupação das áreas de preservação permanente para manter a água mais tempo nos solos e permitir que os mananciais se mantenham em períodos de estiagem, considerando que a perenidade dos mananciais depende em 42% da água que infiltra até o lençol freático que por sua vez manterá o escoamento nos canais durante o período de estiagem.

Agradecimentos

Ao diretor da UEG campus de Iporá, Saulo

Henrique de Oliveira pela disponibilização da caminhonete para os trabalhos de campo.

Aos professores Valdir Specian e Washington Silva Alves responsáveis pela estação climática do campus Iporá pelo fornecimento dos dados de chuva e temperatura.

Aos alunos Deise Vilela (bolsista) e José Helder (voluntário) pelo auxílio na coleta de amostras em campo e organização de dados.

Referências

- Bergamaschi, H. 1992. Agrometeorologia aplicada à irrigação. Editora da Universidade/UFRGS. Porto Alegre.
- Blacke, G. R., Hartge, K. H. 1986. Particle Density: Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Madison. American Society of Agronomy. Wisconsin USA.
- Bortoline, D. 2016. Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina. Tese (Doutorado). Lages. UDESC.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro.
- Farias, J. R. B., Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N. 2005. Água em solos arenosos: Estabelecimento de déficit hídrico em culturas. Embrapa soja, documentos 265. Ata da XXVII reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil. Córnelio Procopio-PR.
- Gomes, M. A., Lani, J. L., Costa, L. M. da, Pontes, L. M., Figueredo, N. A. de, Bardales, N. G. 2012. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos. Revista Árvore. 36, 93-102.

- <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000100011>
- Gonçalves, M. C. P. B., 1994. Características hidrodinâmicas dos solos: sua determinação e funções de pedo-transferência. Tese (Doutorado). Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.
- GOVERNO DE GOIÁS. SIEG. (S/D). Mapa geológico de Iporá. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acessado em 15/04/2019.
- IEAG. (Internacional Association of Geology). 1979. Classification of rocks and soil for engineering geological mapping. Part I. Rock and Soil Materials. Bull. n° 19, Krefeld, 364 – 371.
- Klein, C., Klein, V.A. 2015. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. REGET, 9, 21-29.
- Klein, V. A.; Reichert, J.M.; Reinert, d. J. 2006. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 10, 646–650.
- Lepsch, I. F., 2011. 19 Lições de Pedologia. 1ª Ed. Oficina de textos. São Paulo.
- Maciel, S.A. 2017. Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasil. Dissertação (Mestrado). Uberlândia, UFU.
- Moura, D. M. B de. 2017. Avaliação ambiental e fisiográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, com vistas ao abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO). Dissertação (Mestrado). Jataí. UFG/REJ.
- Moura, D. M. B., Oliveira, I. J., Nascimento, D.T.F. (S/D). Monitoramento da vazão do ribeirão Santo Antônio no município de Iporá(GO) pelo método do vertedor retangular. Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e práticas educacionais. 9, Em fila para publicação.
- Ribeiro, A. A., Simeão, A.; Santos, A.R.B. 2015. Balanço hídrico climatológico para os municípios de Piripiri e São João do Piauí, Piauí-Brasil. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. V.9 (3), 228-235.
- Rolim, G. S.; Sentelhas, P. C, 1999. Balanço hídrico normal por Thornthwaite e Mather (1955). Programa para Excel, v. 6. Piracicaba.
- Rossato, L. 2001. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil. – Dissertação (Mestrado). São José dos Campos INPE.
- Silva, G. N. Silva, J. G. F., Santana, W. M. de. 2017. Estimativa do balanço hídrico climatológico: um estudo de caso. Revista de Extensão da URI, 13, 117-127.
- Sousa, F. A. de. 2013. 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. Tese (Doutorado). Uberlândia. UFU.
- _____. 2019a Metodologia para avaliação do escoamento subsuperficial em vertentes. Bol Goiano de Geografia. V. 39, p. 9-22.
- _____. 2019b. Identificação das zonas de recarga e caracterização dos sistemas freáticos de Iporá-GO. Revista Geoambiente online. 1, 23-44.
- <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i33.52073>
- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R., 1955. The Water Balance. Climatology. Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, , 8. New Jersey.
- Viehmeyer, F.J.; Hendrickson, A.H., 1949. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. Soil Science, 68, 75-94.