

AValiação DA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA E BACIAS DE RETENÇÃO COMO REFERÊNCIA A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E TOMOGRAFIA DO SOLO

Marcelo Tsuyoshi Haraguchi^{11*}

Marta Pereira da Luz²²

Vlândia Correchel³³

Nori Paulo Griebeler⁴⁴

Felipe Corrêa Veloso dos Santos⁵⁵

Alexandre Garces de Araújo⁶⁶

Fernando Ernesto Ucker⁷⁷

RESUMO

A estrada não pavimentada em estudo apresenta encaixada e sem inclinação transversal. Nesse sentido, o dimensionamento de sistemas de drenagem e estruturas hidráulicas foram destinadas ao controle da erosão e perdas de solo. A estrada teve sua seção transversal inclinada com 4% e subdividida em trechos de 20 m ligada por um canal a uma bacia de retenção e pré bacias circulares com a utilização do software ESTRADAS. Para verificar o comportamento das bacias de retenção utilizou-se vários tratamentos e ensaios físicos do solo. Para verificar ainda o comportamento do selamento das pré bacias foram realizados ensaios de tomografias para averiguar a dinâmica da porosidade no decorrer do perfil analisado pelo depósito de sedimentos. Para a análise do evento de precipitação anula, as bacias de retenção com faixa filtro vegetativa e pré bacias apresentam dinâmica de infiltração com melhor eficiência ao longo do tempo. O software utilizado apresenta resultados significativos, uma vez que não houve transbordamento tanto das pré bacias como as bacias de retenção. Para este tipo de solo o selamento acontece em camadas sucessivas de deposição e não em uma única camada como se tem verificado.

Palavras-chave: captação de água; finos; selamento; erosão.

EVALUATION OF UNPAVED ROAD AND RETENTION BASINS AS REFERENCE TO HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SOIL TOMOGRAPHY

ABSTRACT

Studying the rate of the soil physical quality is essential to understand its behavior and potential when it comes to its use. Therefore, this study aims to analyze the physical rates associated to sediment retention basin of non-paved road of a Dystrophic Red Oxisoil. In the study place 24 retention basins were built. Four treatments with six repetitions were related to the canal and to the retention basin. Randomly, 6 retention basins were selected with different arrangements or treatments to determine the soil physical quality rates. Non-deformed samples were collected in the basins 0-5 cm depth. After collection, the samples were taken to the soil physics laboratory of the Federal University of Goiás. In the basin, the following physical parameters were analyzed. For the physical definitions, texture, particle density, soil density, total porosity and water retention in field capacity were performed. After that, descriptive analysis were performed for each treatment variable aiming to verify the behavior pattern of the studied variables distribution. To enable the comparison between the basins and the variable set, it was performed the multivariate analysis based on the Ward method, with the help of the computational application PAST, 2.08b version. According to the fine production dynamics, the retention basins performed their material retention function, and also caught the water that was not seeped into the road. Based on the evaluated parameters, the best treatment was pre basin with vegetated canal.

Keywords: water capture; thin; sealing; erosion.

Recebido em 07 de novembro de 2023. Aprovado em 20 de dezembro de 2023

¹ PUC-GO, Escola Politécnica e de Artes, E-mail: haramt@yahoo.com.br

² PUC-GO, Escola Politécnica e de Artes, E-mail: marta.eng@pucgoias.edu.br

³ UFG, Escola de Agronomia, E-mail: vladiacorrechel@hotmail.com

⁴ UFG, Escola de Agronomia, E-mail: nori@ufg.br

⁵ PUC-GO, Escola Politécnica e de Artes, E-mail: felipesantos@pucgoias.edu.br

⁶ UEG, Engenharia Civil, E-mail: alexandregarces@gmail.com

⁷ UNIARAGUAIA, Engenharia Ambiental, e-mail: ferucker@gmail.com

INTRODUÇÃO

As estradas não pavimentadas possuem grande importância para o desenvolvimento social e econômico do Brasil, uma vez que servem de ligação as estradas pavimentadas. A erosão provocada pela água no leito e nas margens destas estradas é um dos principais fatores para sua degradação. Para evitar a erosão utilizou-se as bacias de acumulação, associado à aspectos de conservação e a preservação ambiental. A estrada piloto está localizada no município de Goiânia – GO, tendo como referência a estrada GO 462 saída para o município de Nova Veneza. Essa estrada apresenta 600 m de comprimento, com declividade média de 5%, tendo sido mapeada topograficamente de 20 em 20 m. O solo da área é o Latossolo Vermelho Distrófico. Como a estrada é encaixada, decidiu-se chapar a seção transversal em torno de 4% e associar as bacias de acumulação. Foram construídas 24 bacias, porém 08 bacias apresentaram uniformidade para as análises. No primeiro tratamento a bacia de acumulação é ligada a estrada por um canal aberto de 10 m de comprimento. No segundo, no canal é plantado grama Batatais com comprimento de 10 m. No terceiro é utilizado uma pré bacia de 3 m de diâmetro e 1,5 m de profundidade ligada a estrada por um canal aberto com 5 m de comprimento. O quarto também tem uma pré bacia com mesmas características porém com canal vegetado com grama Batatais de 5 m. A largura dos canais é fixa em 0,80m e são colocadas em 20 em 20m da estrada. Para o dimensionamento dessas bacias circulares foi utilizado o programa ESTRADAS com 6 m de diâmetro e 2,0 m de profundidade. A estrada foi subdividida com lombada e tem 5 m de largura e 20 m de comprimento, totalizando 100 m² de área de influência para a coleta de drenagem das águas pluviais e sedimentos gerados. A chegada dos sedimentos nas bacias e pré bacias alteram significativamente os atributos físicos e interferem direta na dinâmica de infiltração ou ainda na condutividade hidráulica.

Como a condutividade hidráulica não foi totalmente anulada, utilizou-se a microtomografia para verificar o comportamento da porosidade com a profundidade. Constatou-se que o selamento ou a incapacidade de infiltração acontece em camadas sucessivas e não somente superficialmente como era a hipótese. A variabilidade da porosidade corrobora essa constatação. O melhor tratamento é a pré bacia com canal vegetado, seguido de canal vegetado, seguido de pré bacia sem canal vegetado, seguido de canal não vegetado. Nesse sentido, os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando-se diferentes propriedades físicas do solo, tais como: compactação do solo (Müller et al, 2001), densidade (Alves et al., 2007) e resistência do solo à penetração (Blainsk, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

Dimensionamento das bacias usando o software “Estradas”

Depois de averiguada a adequação da estrada, foi implantado o experimento e em cada tratamento analisado o volume de água infiltrada, os atributos físicos do solo por meio de diversos indicadores de qualidade física e hídrica do solo, em diferentes posições nas bacias e pré-bacias, bem como a área superficial das mesmas.

Depois de analisar se a adequação da estrada não pavimentada para implantação do experimento, foi realizado o dimensionamento da bacia de retenção de água de chuva utilizando o programa ESTRADAS, que permite dimensionar sistemas de drenagem e bacias de acumulação em estradas não pavimentadas, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (MG). A Figura 4.1 ilustra as telas do programa com os dados de entrada, e os valores estimados para o projeto.

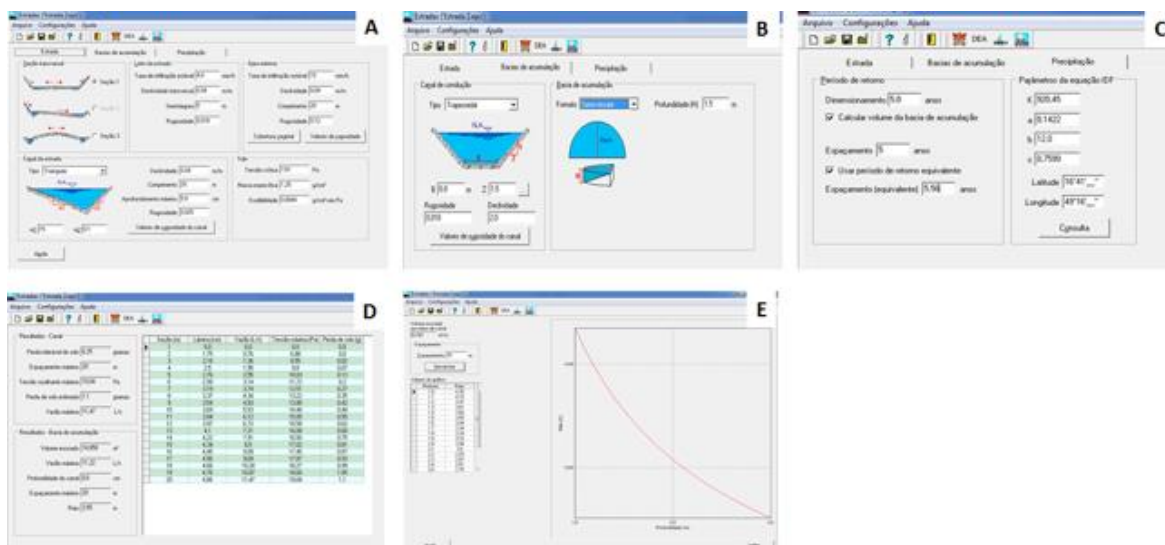


Figura 1. Dimensionamento das bacias de retenção de água usando o programa ESTRADAS e dados conforme Oliveira et. al (2005 e 2008).

Bertoni & Lombardi Neto (1975) recomendam que a estrada tenha declividade de 5 a 10% e distância máxima entre bacias de retenção de 50 m. A unidade experimental foi subdividida em trechos de aproximadamente 20 m de extensão e 5 m de largura, apresentando mesma área de drenagem e distância linear entre pontos de coleta de água.

Construção das bacias e pré-bacias

Com o intuito de verificar a dinâmica de infiltração na bacia de retenção, a cada final de trecho separado por obstáculo na pista tipo lombada, foi interligado um canal para escoamento das águas de chuva e sedimentos gerados nesta área, estando este canal interligado à bacia de retenção e infiltração ou pré bacia. Portanto a unidade experimental, inicialmente plana foi modificada, inclinando a seção transversal da pista em torno de 7% com a utilização da motoniveladora (Figura 2a).

A largura do canal está relacionado a largura da “concha” da retroescavadeira, nesse caso, 80 cm. A profundidade varia a partir de 50 cm para mais, uma vez que a estrada é caracterizada como encaixada (Figura 2b) e sua variação ocorre na extensão longitudinal, com declividade média de 5%. A declividade média dos canais foi de 4%.

Para a execução do canal (Figura 2b), o comprimento dos canais foi estimado em 10 m tanto para canais com ou sem vegetação, porém para canais interligados por pré bacia, o comprimento do canal foi de 5 m.

Assim, a bacia de acumulação ou retenção adotada foi 6,0 m de diâmetro e 2,0 m de profundidade, com espaçamento entre bacias de 20 m, para garantir a acumulação de água, com base nos tratamentos.



Figura 2. Construção das bacias de retenção: mudança do abaulamento da pista (A) e execução do canal (B).

Tratamentos

Os tratamentos foram compostos para diferentes condições de manejo, de forma a verificar a variação na dinâmica de infiltração de água da chuva, tanto no canal de ligação, quanto na pré bacia de decantação e bacia de retenção.

O dimensionamento foi proposto de maneira a atender em diferentes coberturas vegetais e conseqüentemente, diferentes taxas de infiltração, intensidades de enxurrada e deposição de material erodido no canal, na pré bacia de decantação e na bacia de retenção.

Para o estudo foram relacionados quatro tratamentos (Figura 3) com seis repetições para o canal e a bacia de retenção: 1 – canal sem vegetação e ligado a bacia de retenção (testemunha e comumente utilizado), 2 – canal vegetado com grama batatais (*Paspalum notatum*), ligado a bacia de retenção, 3 – canal sem vegetação ligado a uma pré bacia de sedimentação e depois ligado a bacia de retenção e 4 – canal vegetado com grama batatais (*Paspalum notatum*), ligado a uma pré bacia de sedimentação e depois ligado a bacia de retenção. O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente Casualizado (DIC), sendo os tratamentos distribuídos por meio de sorteio. A Tabela 4.1 indica os tipos de tratamento e o sorteio das bacias e pré bacias.

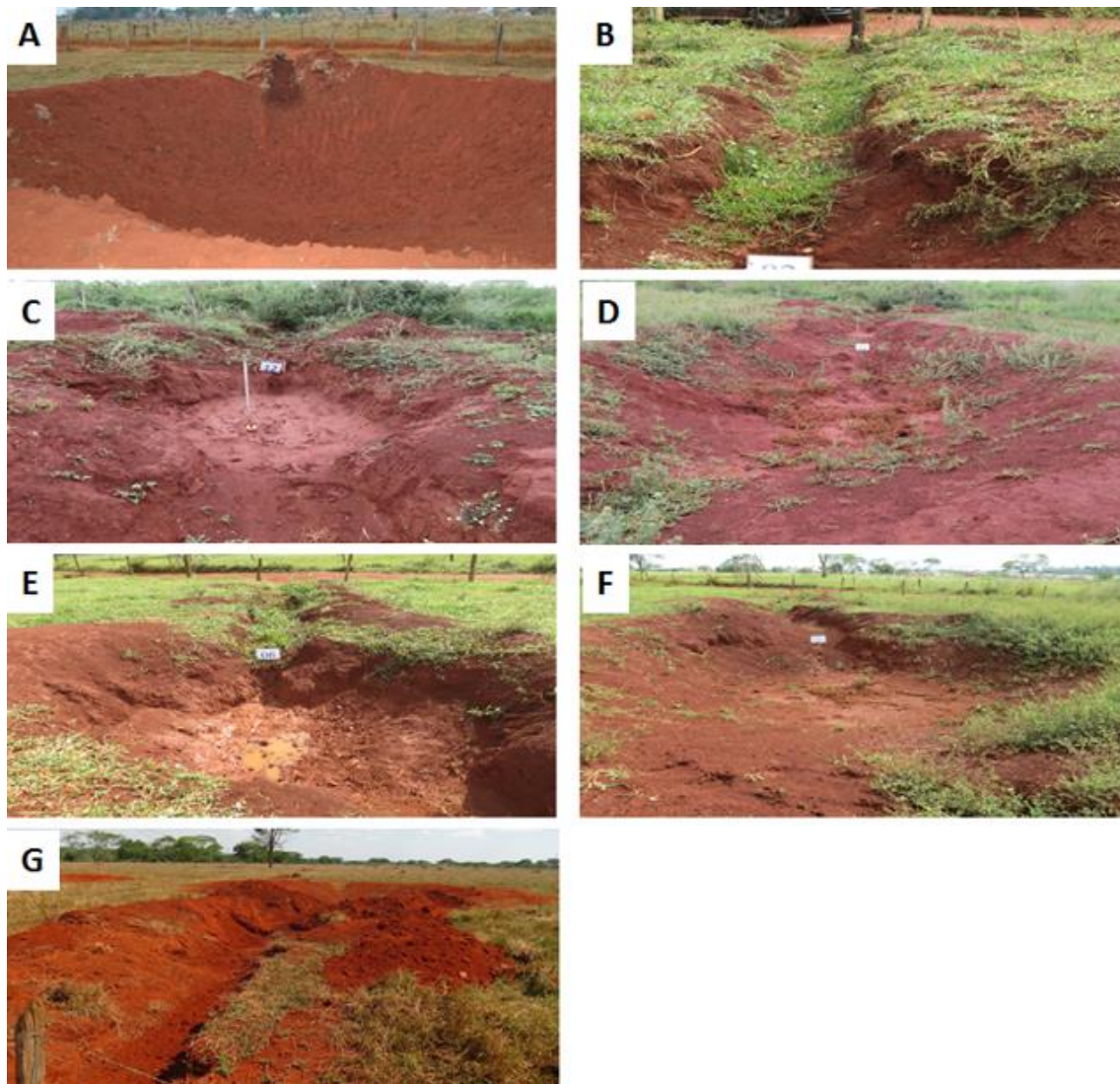


Figura 3. Tratamentos: Canal não vegetado ligado a bacia (A), canal vegetado ligado a bacia (B), canal não vegetado ligado a bacia (C) e pré-bacia(D), canal vegetado ligado a pré-bacia (E) e bacia (F) e canal executado (G).

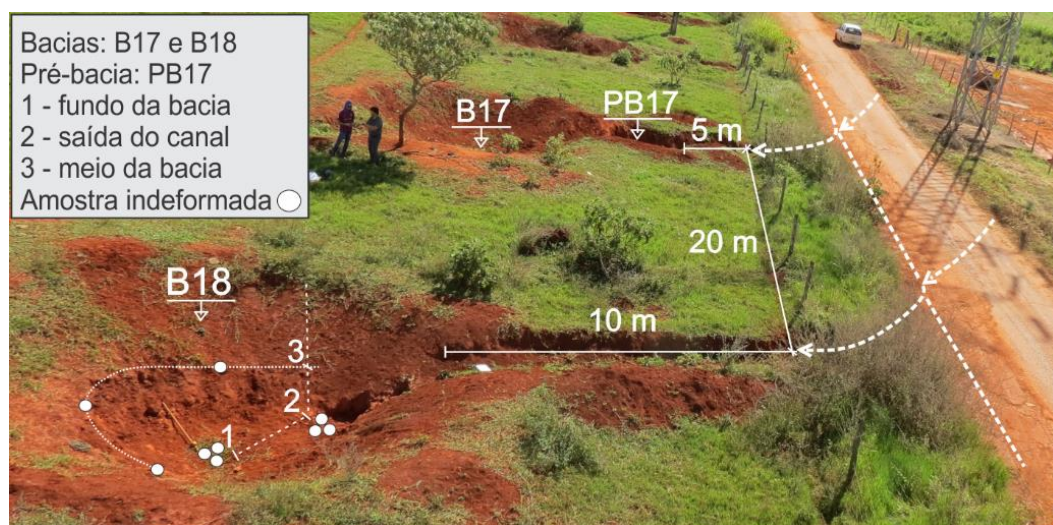


Figura 4. Esquema do perfil de coleta de solo – amostragem indeformada.

Para cada tratamento foram retiradas 9 amostras indeformadas em anéis volumétricos de aço inox, com 0,053 m de altura média e 0,043 m de diâmetro médio, conforme a figura 4.

Parâmetros Físicos (Indicadores físicos de qualidade do solo)

Foram analisados os seguintes parâmetros físicos na Bacia: densidade do solo (DS), porosidade total calculada (PTc), porosidade total determinada (PTd), condutividade hidráulica saturada (KSAT).

Para as determinações físicas foram realizadas textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, retenção de água na capacidade de campo, realizadas segundo método descrito em Embrapa (2011).

Condutividade Hidráulica do Solo Saturada (K_0)

Para essa análise foi construído um Módulo de Permeâmetro de Carga Constante com capacidade para analisar sete amostras de modo simultâneo (Figura 4.6).



Figura.5. Módulo do Permeâmetro de Carga Constante construída para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado das Bacias de retenção em estradas não pavimentadas.

Para o cálculo da condutividade hidráulica saturada foi utilizado a equação de Darcy com dados obtidos da figura 5:

$$K_0 = \frac{V_A \cdot L}{A \cdot t(h+L)} \quad (4.7)$$

Em que: V_A é o volume coletado (cm^3); L o comprimento do filtro que contém a amostra (cm); A é a área da secção transversal (cm^2); t é o tempo para a coleta do volume (s); H é a carga hidráulica sobre a amostra (cm); K_0 é a condutividade hidráulica (cm h^{-1}).

Tomografias

A microtomografia computadorizada de raios X (microCT) fundamenta-se na atenuação de feixes de raios X que, ao atravessar um objeto em análise, sob diversos ângulos possibilita a reconstrução da sua estrutura interna. Como técnica não-destrutiva apresenta inúmeras vantagens na análise da estrutura do solo, mantendo a integridade das amostras (Steppe et al., 2004; Wenersson et al., 2009). A microCT é uma das mais avançadas tecnologias de análise não destrutiva, proporcionando a construção de imagens da estrutura interna em 2 e 3D a microCT (Mayo et al., 2010)

No presente estudo, a microTC foi utilizada para medir a porosidade das amostras de solo. Para a obtenção das imagens tomográficas do solo retirado das pré bacias foi utilizado um Microtomógrafo de Raios X, marca SkyScan, modelo 1172 (Figura 6), do Laboratório de Técnicas Nucleares da Embrapa Instrumentação Agropecuária/CNPDIA, em São Carlos, SP.

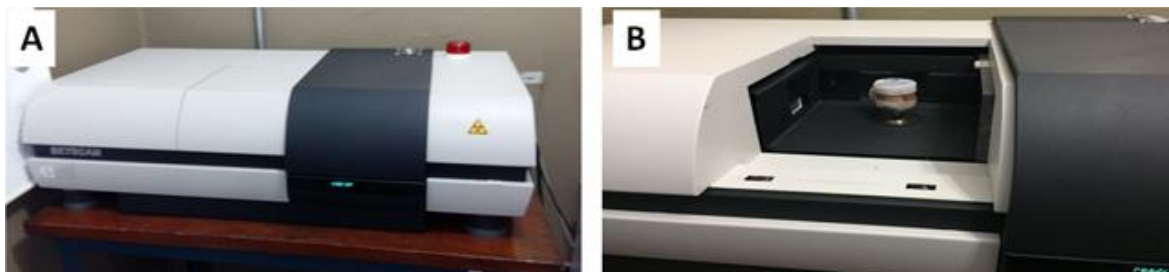


Figura 6. Microtomógrafo computadorizado marca SkyScan modelo (A) utilizado na análise da porosidade das amostras coletadas nas pré bacias (B).

Para as análises da tomografia do solo foram escolhidas as somente as pré bacias 05 (PB05), 07 (PB07), 12 (PB12) e 13 (PB13) com canal não vegetado (Figura 7) em função de não restringir a passagem de fluxo de sedimentos no canal. Pelo fato da pré-bacia ser menor que a bacia (3m de diâmetro e 1,5m de profundidade), assim como seu canal (5m), o monitoramento da chegada dos resíduos finos foi mais adequado e com repetições. O canal foi protegido com madeira com 15 cm de altura e 40 cm de largura, com a finalidade de evitar a chegada de resíduos do desbarrancamento do talude. Assim, somente os resíduos da estrada e do canal chegavam a pré bacia. Desta forma, a distribuição e concentração dos sedimentos na pré bacia pode ser melhor analisada. Foram analisados os pontos A (Centro), B (meio) e C (lateral) da pré bacias (Figura 7).

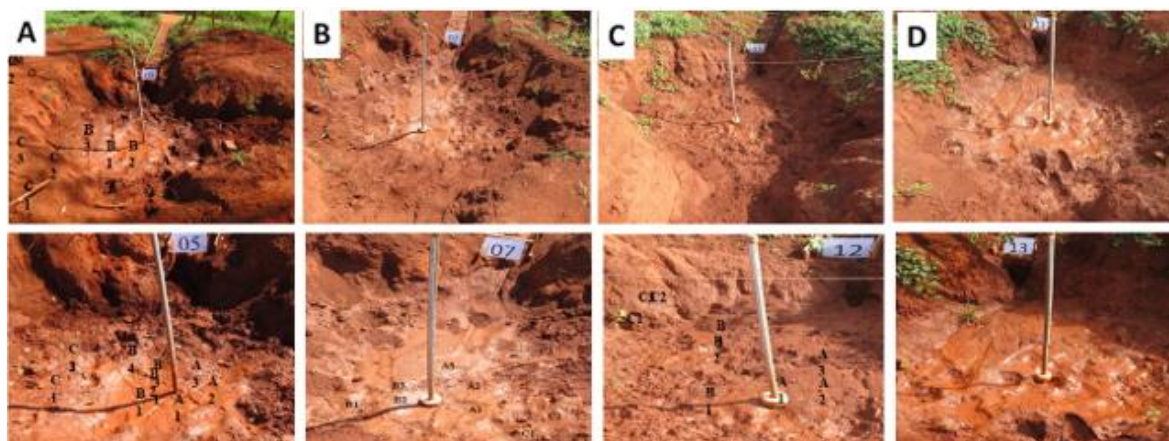


Figura 7. Tratamentos selecionados para coleta de amostras para análise tomográfica: Bacia e Pré Bacia 05 (A), 07 (B), 12 (C) e 13 (D) e posições de coleta (A= Centro, B = meio e C = lateral, com 03 repetições).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando a Tabela 1 com os dados obtidos por Santos et. al (2011), os atributos encontrados na área de pastagem contínua (similar a área de estudo), da Embrapa Arroz e Feijão no município de Santo Antonio de Goiás, local a 7 km da área da estrada não pavimentada e das bacias e pré bacias apresentaram diferenciações na densidade do solo, com valor médio de

1,17 (Mg m^{-3}); porosidade total, com valor de 0,51 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); microporosidade, com valor de 0,34 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); macroporosidade, apresentando valor de 0,17 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e condutividade hidráulica no valor de 272 (mm s^{-1}). Isto indica que o fluxo de sedimentos que chegam nas bacias e pré bacias são suficientes para alterar o comportamento dos atritutos físicos que estão diretamente relacionados a dinâmica de infiltração tanto da pré bacia como bacia. A constatação da diminuição da condutividade hidráulica é o principal fator que corrobora para essa dinâmica.

Tabela 1. Principais indicadores físicos estudados.

IQ*	BCV		BSV		BSV+PBSV		PAST	
DMP	1,81	± 0,14	2,24	± 0,11	2,01	± 0,25	4,51	± 0,17
DMG	1,19	± 0,15	1,82	± 0,22	1,43	± 0,31	3,52	± 0,23
%agreg>2m m	50,2	± 5,22	62,46	± 3,89	53,9 2	± 10,85	70,01	± 6,65
IEA	88,81	± 1,04	92,13	± 0,45	91,2 9	± 1,55	92,82	± 1,01
DS	1,34	± 0,04	1,33	± 0,02	1,28	± 0,09	1,21	± 1,27
DP	2,63	± 0,03	2,66	± 0,02	2,65	± 0,05	2,65	± 0,03
Ptdeterminada	0,59	± 0,02	0,57	± 0,01	0,59	± 0,03	0,47	± 0,43
MIC	0,46	± 0,02	0,42	± 0,01	0,42	± 0,04	0,12	± 0,12
MAC	0,13	± 0,01	0,15	± 0,01	0,18	± 0,04	0,35	± 0,31
G.F	76,68	± 2,58	83,35	± 2,4	82,1 7	± 7,95	85,32	± 2,47
KSAT	27,67	± 8,7	54,49	± 18,87	51,5 9	± 14,96	158,9	± 44,4

Bacias: BCV – Bacia com Canal Vegetado; BSV – Bacia com canal Sem Vegetação; BSV+PBCV – Bacia com canal Sem Vegetação com Pré Bacia com Canal Vegetado; PAST – Pastagem (área adjacente); DMP: diâmetro médio ponderado, DMG: diâmetro médio geométrico, AGRE: agregados maiores 2mm,; IEA: índice de estabilidade de agregados, Ds: densidade do solo, DP: densidade de partículas, PTc: porosidade total calculada, PTd: porosidade total determinada, Mi: microporosidade, Ma: macroporosidade, GF: grau de floculação, KSAT: condutividade hidráulica saturada.

A produção de sedimentos tem grande potencial para estudar a degradação e o manejo dos recursos naturais, pois podem estimar os impactos das atividades agrícolas (Roffe, 2012; Silva, 2020). Na Tabela 1, observa-se variações atípicas, uma vez que a deposição de sedimentos ressalta a possibilidade de utilizar a análise de textura como estimativa. Rodrigues *et al.* (2013) e Dorneles *et al.* (2019) discutiram a geração de sedimentos em microbacias hidrográficas, corroborando com os resultados da Tabela 2.

Os dados acumulados de distribuição de chuva para janeiro de 2016 foram registrados em 432,2 mm, o que é bem diferente dos 141,2 mm em 2017. No entanto, este primeiro teve mais chuvas torrenciais, o que resultou em aumento do escoamento (*runoff*). No caso de áreas urbanas parcialmente a totalmente impermeáveis, a permeabilidade diminui devido ao aumento da densidade de partículas, gerando um elevado escoamento superficial e conseqüentemente alto índice de partículas nas bacias de retenção. Resultados equivalentes foram ratificados por trabalhos como os de Nunes, Fiori e Firpo (2011) e Hamza e Anderson (2005).

Nas condições do presente estudo, a impermeabilização da estrada contribuiu para o transporte de material arenoso no fundo da bacia, com valores de DMP e DMG alterados, comprovando que essas bacias são fundamentais para reduzir alguns processos de erosão. A

variabilidade dos vários tipos de bacias fica evidente com a deposição de finos, correspondendo a bacia com vegetação apresentando menor valor, como se observa na tabela 2.

A partir da comparação entre os resultados encontrados em campo (tabela 2), nota-se que há fortes indícios de compactação na área da bacia vegetada. Sá e Santos Júnior (2005) conceituaram a compactação como o processo de rearranjo das partículas e agregados do solo. Estes últimos mudando de forma e tamanho, conforme observado neste estudo.

Em resposta à mudança de densidade, os resultados das pastagens foi de $1,21\text{g cm}^{-3}$. Este aumento de densidade é devido à quantidade de material depositado nos primeiros 15 mm da superfície do fundo da bacia. Equivalente dinâmica de deposição ocorrem em estradas vicinais, e foi observada em áreas de reservatórios hidrelétricas (Cabral, 2005) e paisagens naturais (Costa *et al.*, 2015). Como os índices de densidade foram muito superiores que o esperado para Latossolos, esta afirmação pode ser categoricamente aceita (SiBCS, 2013).

Na tabela 2, a porosidade total do solo é composta por macroporos e microporos, sendo que o aumento de um diminui a porcentagem do outro. Freitas et al (2017) não observaram diferenças nos valores de porosidade total em relação à profundidade, mas os menores valores se referem a áreas de pastagem na área de Cerrado, possivelmente devido à decomposição das raízes das plantas e pisoteio por animais. Sob diferentes formas de uso de um Latossolo Vermelho, Matias et al. (2009), mencionaram que a porosidade total teve pouco efeito nas mudanças causadas pelo preparo do solo, seja em profundidade, seja pelos diferentes usos. Embora a porosidade da mata nativa foi maior em todas as camadas do solo (Tezolin, 2021).

Gomes *et al.* (2019) também constataram que a vegetação nativa tem maior porosidade, enquanto as pastagens favorecem a exposição do solo a processos de degradação devido a problemas de compactação. Os autores explicam que a vegetação natural apresenta melhores condições físicas por estar protegida e conservada de ações antrópicas. Conseqüentemente, a quantidade de sedimentos que atinge a bacia e pré bacia são afetadas pelo tratamento.

Conforme pode ser observado na tabela 2, não houve diferença significativa no grau de floculação da argila entre os sistemas de tratamento avaliados. Esses valores indicaram alto grau de dispersão. Quando em contato com água, muita da argila do solo é facilmente mobilizada, resultando como consequência obstrução dos poros com redução na permeabilidade à água e ao ar. Em um Cambissolo, na Chapada do Apodi, Rocha *et al.*, (2019) obtiveram resultados equivalentes, o qual associou a diminuição da condutividade hidráulica do solo saturado (tabela 2) à elevada quantidade de argila dispersa em água.

Na tabela, observa-se que o fluxo de sedimentos para a bacia e pré bacia é suficiente para alterar o comportamento das propriedades físicas diretamente relacionadas à dinâmica de infiltração, seja na bacia, seja na pré bacia. O principal fator que corrobora para dinâmica de infiltração foi a diminuição da condutividade hidráulica e foi comparada à condutividade hidráulica de $159,8\text{ mm h}^{-1}$ na área de pastagem adjacente. Portanto, não houve diferença significativa.

Além disso, o papel das bacias de retenção é fornecer condições para controlar a perda de material e captar água que foi escoada devido à baixa permeabilidade da estrada (Souza e Domingues, 2017). Com a deposição de finos, no fundo da bacia ocorre o selamento, dificultando a condutividade hidráulica e, portanto, maior teor de umidade. Nos indicadores da qualidade do solo desta pesquisa foi encontrado o padrão de variabilidade característico.

Para a análise da microtomografia foram utilizados dados das pré bacias 5, 7, 12, 13. Identificar o comportamento da porosidade referente ao fluxo de água e sedimentos e a forma de depósito indicam a influência na diminuição da condutividade hidráulica até o selamento da pré bacia.

Nas pré bacias foram estabelecidos os critério de retirada das amostras. A letra A significa a posição central da pré bacia. A letra B representa a parte intermediária da bacia e a letra C representa a borda da bacia onde ainda há depósito de sedimentos. Essas posições foram

tomadas para averiguar as diferenças de depósito de sedimentos na posição. Quanto a estatística dos atributos físicos em geral, não houve diferenças tantas diferenças significativas. Entretanto fica a dúvida quanto a distribuição das porosidades em relação a profundidade e como é o comportamento do selamento, uma vez que não houve selamento completo no permeâmetro. Assim, foram escolhidos pontos aleatório das pré bacias para verificar esse comportamento.

Em todas as análises é retirado o efeito de borda ou áreas que não apresentam continuidade, para não influenciar nos resultados. O tubo de PVC que contém o solo tem dimensões de 20 mm de diâmetro e 25 mm de altura. Os resultados da análise da microtomografia são informados considerado a base do tubo como inicial.

Na Figura 8, o ponto para análise está a 12,075 mm da base e está posicionado em uma camada de selamento ou extratificação, uma vez que a cor mais escura tem menor porosidade. Neste ponto a porosidade total foi de 22,83%. A continuidade de poros, expresso pela cor mais clara representa a subdivisão da camada de selamento para o início de outra.

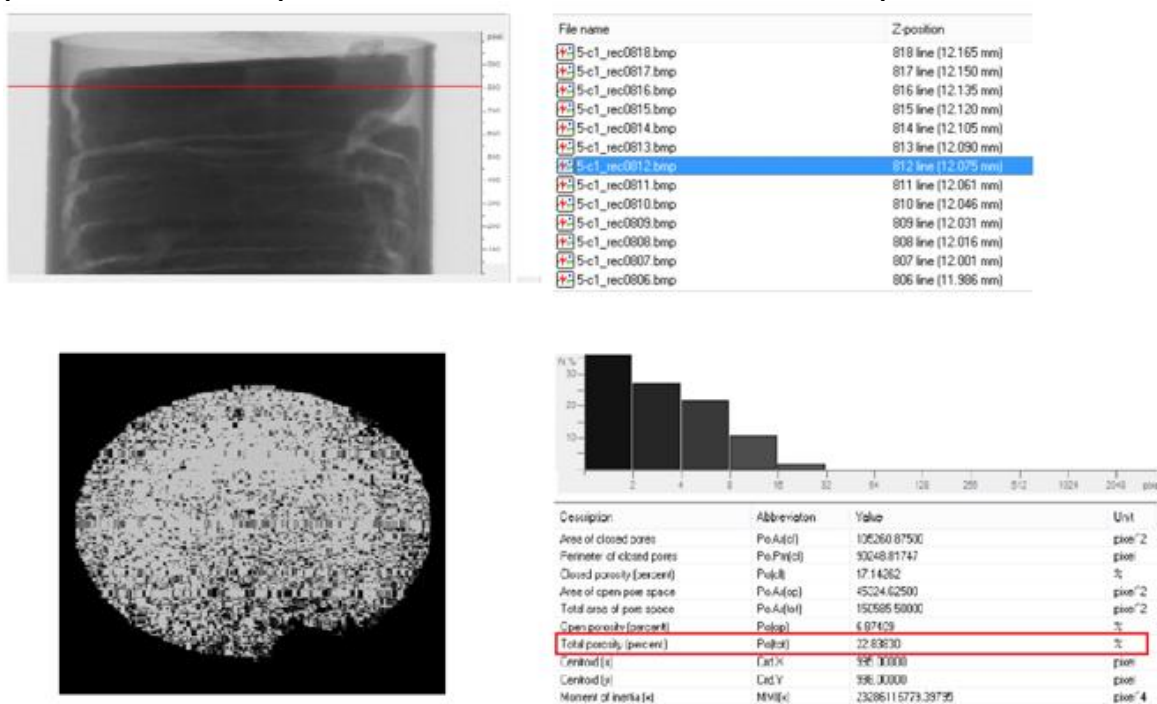


Figura 8. Resultado da Pré Bacia 5, local C1, no ponto de cota 12,075mm. (Fonte: O autor, 2017)

Na Figura 9, o ponto para análise está a 8,774 mm da base e está posicionado em uma camada de descontinuidade dos poros com uma cor mais clara e representa uma porosidade total de 39,66%.

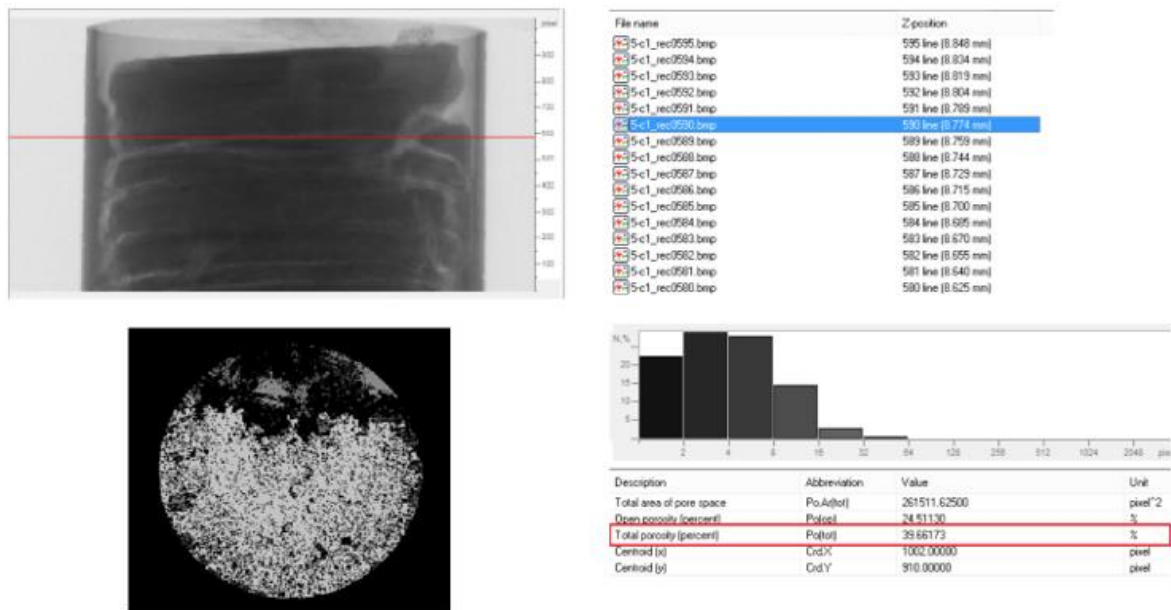


Figura 9. Resultado da Pré Bacia 5 no ponto de cota 8,774mm. (Fonte: O autor, 2017)

Na Figura 10 é possível observar a descontinuidade da porosidade. Isso mostra que as camadas de selamento vão acontecendo de acordo com intensidade da chuva, seja pela duração, seja pela frequência, que levam mais ou menos o fluxo de resíduos para dentro da pré bacia.

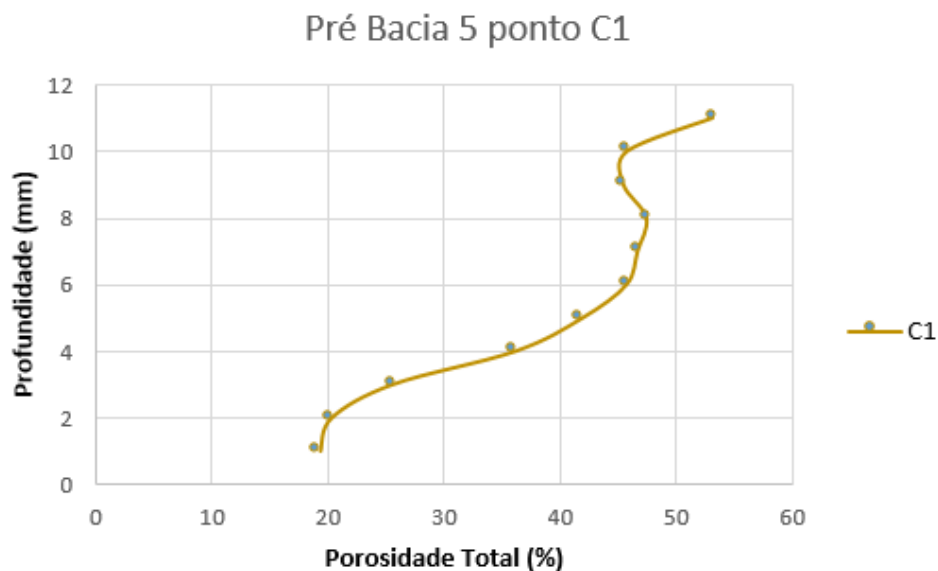


Figura 10. Ponto C1 da Pré Bacia 5

Na Figura 11, o ponto para análise está a 11,466 mm da base e está posicionado em uma camada de continuidade dos poros com uma cor mais clara e representa uma porosidade total de 62,061%.

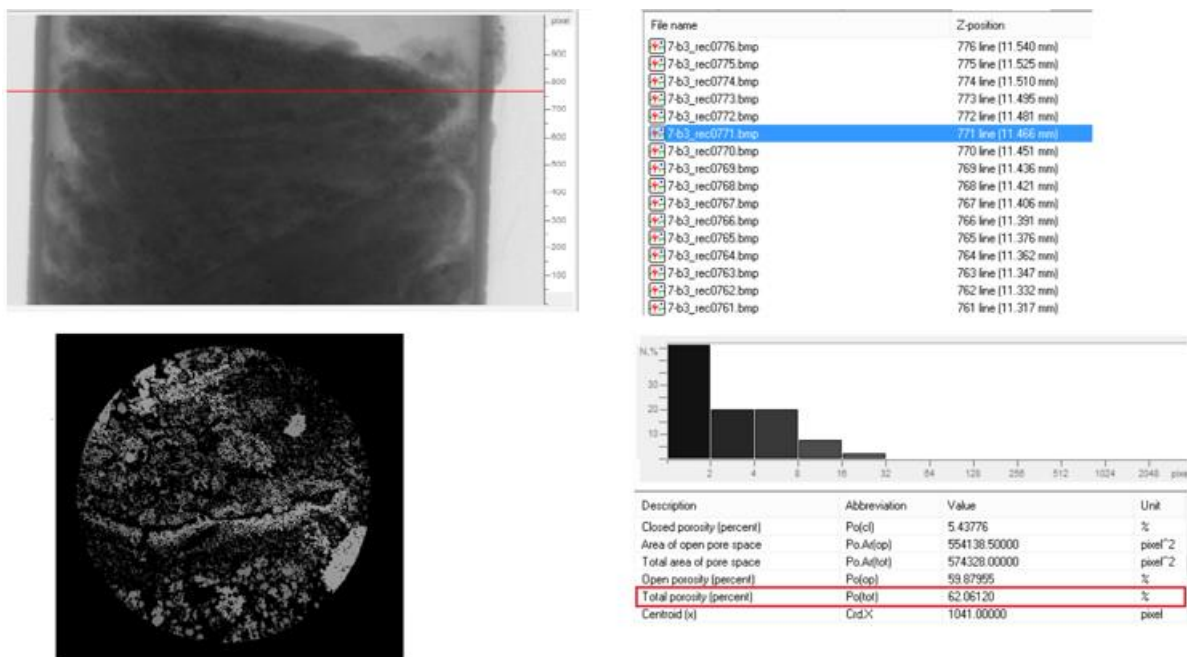


Figura 11. Resultado da Pré Bacia 7, local B3, no ponto de cota 11,466 mm (fonte: autor, 2017)

Na Figura 12, o ponto para análise está a 0,625 mm da base e está posicionado em uma camada de selamento ou extratificação mais homogêneo, uma vez que a cor mais escura tem menor porosidade. Neste ponto a porosidade total foi de 39,988%. A descontinuidade de poros e a heterogeneidade da deposição dos resíduos pode ser observada, comparado com a figura x-1. Isso expressa o comportamento descontínuo da porosidade total com a profundidade do solo.

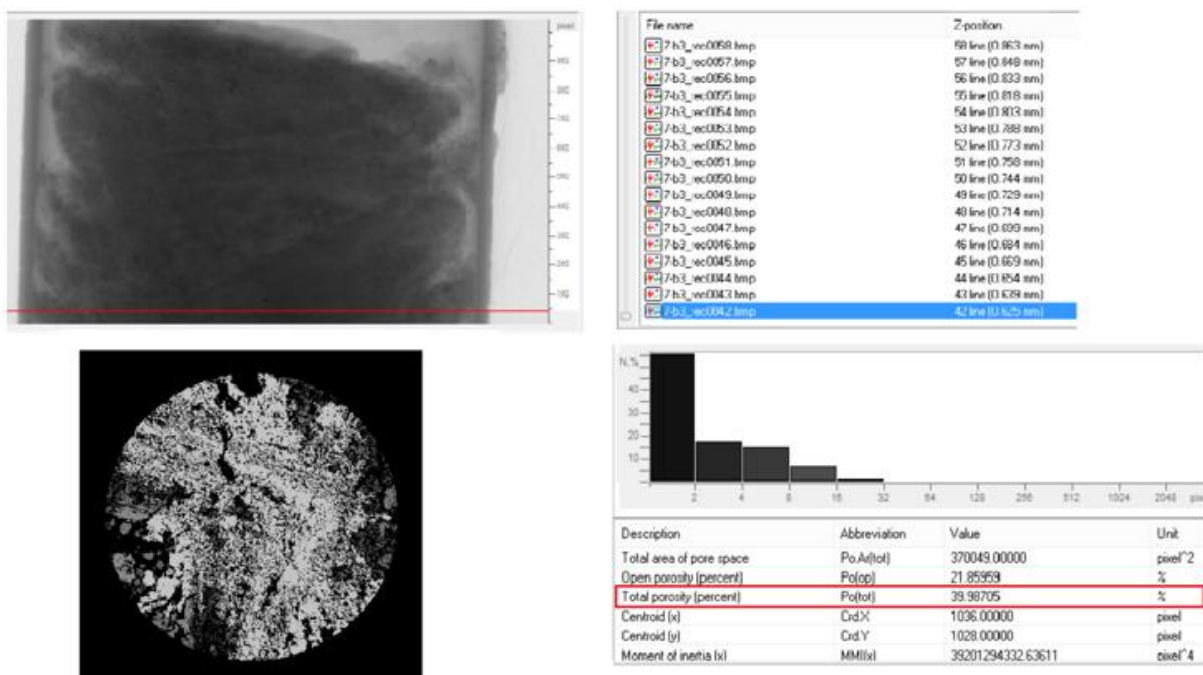


Figura 12. Resultado da Pré Bacia 7, local B3, no ponto de cota 0,625 mm. (Fonte: O autor, 2017)

Na Figura 13 é possível observar, que apesar da descontinuidade da porosidade total e a variabilidade com a profundidade, os valores da porosidade total ficam, na média, acima de 50%. Considerando que todas as bacias tiveram a mesma intensidade de chuvas, isso indica que essa pré bacia tem uma tendência de comportamento a não selar rapidamente, mantendo o fluxo de infiltração por mais tempo.

Na Figura 14, o ponto para análise está a 7,644 mm da base e está posicionado em uma camada de selamento ou extratificação mais homogênea, uma vez que a cor mais escura tem maior porosidade. Neste ponto a porosidade total foi de 16,469%. A descontinuidade de poros e a heterogeneidade da deposição dos resíduos pode ser observada, comparado com a figura x-1. Isso expressa que a altura da camada de selamento varia de acordo com o fluxo de resíduos.

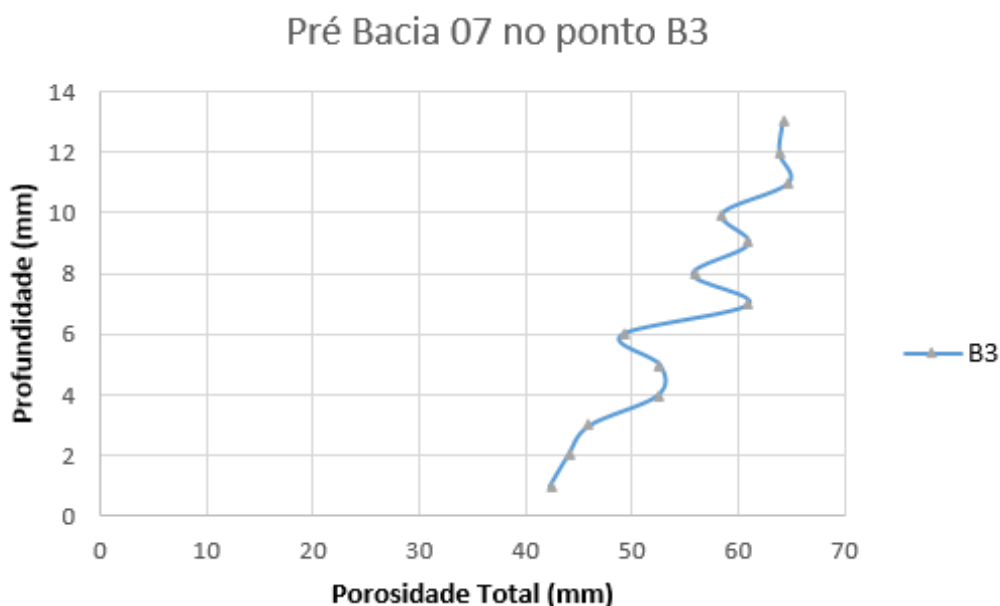


Figura 13. Ponto B3 da Pré Bacia 7

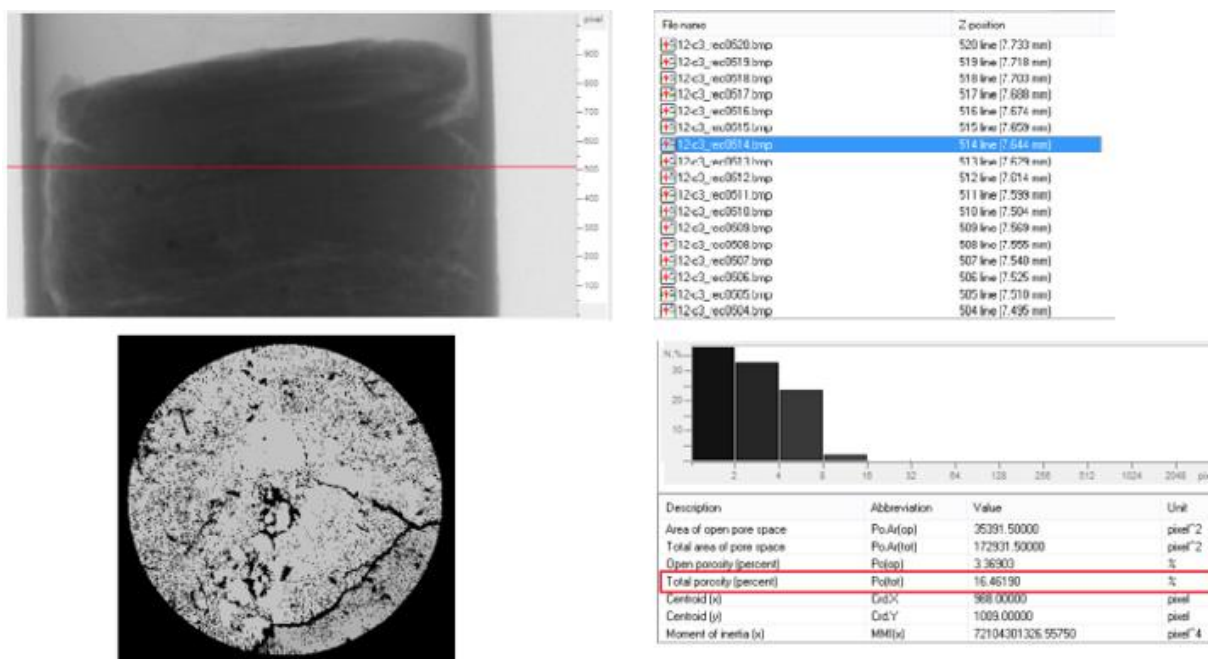


Figura 14. Resultado da Pré Bacia 12, local C3, no ponto de cota 7,644 mm. (Fonte: O autor, 2017)

Na Figura 15, o ponto para análise está a 1,115 mm da base e está posicionado em uma camada de descontinuidade dos poros com uma cor mais clara e representa uma porosidade total de 30,302%.

De forma equivalente, na Figura 16 é possível observar, que apesar da descontinuidade da porosidade total e a variabilidade com a profundidade, os valores da porosidade total ficam, na média, acima de 50%. Considerando que todas as bacias tiveram a mesma intensidade de chuvas, isso indica que essa pré bacia tem uma tendência de comportamento a não selar rapidamente, mantendo o fluxo de infiltração por mais tempo.

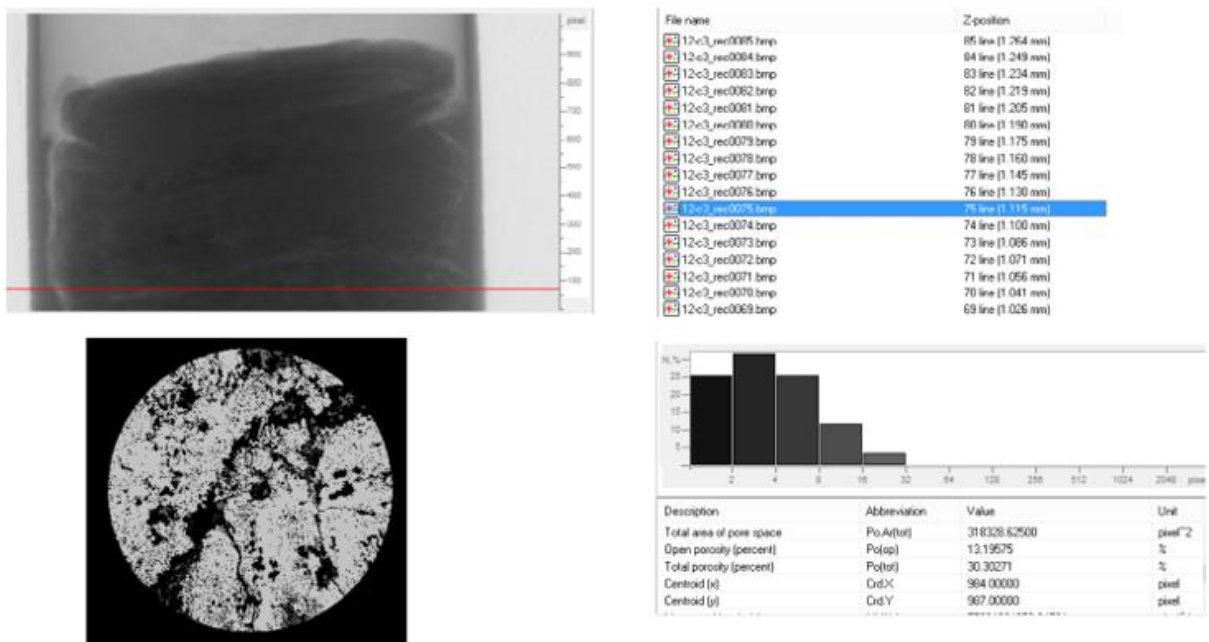


Figura 15. Resultado da Pré Bacia 12, local C3, no ponto de cota 1, 115 mm. (Fonte: O autor, 2017)

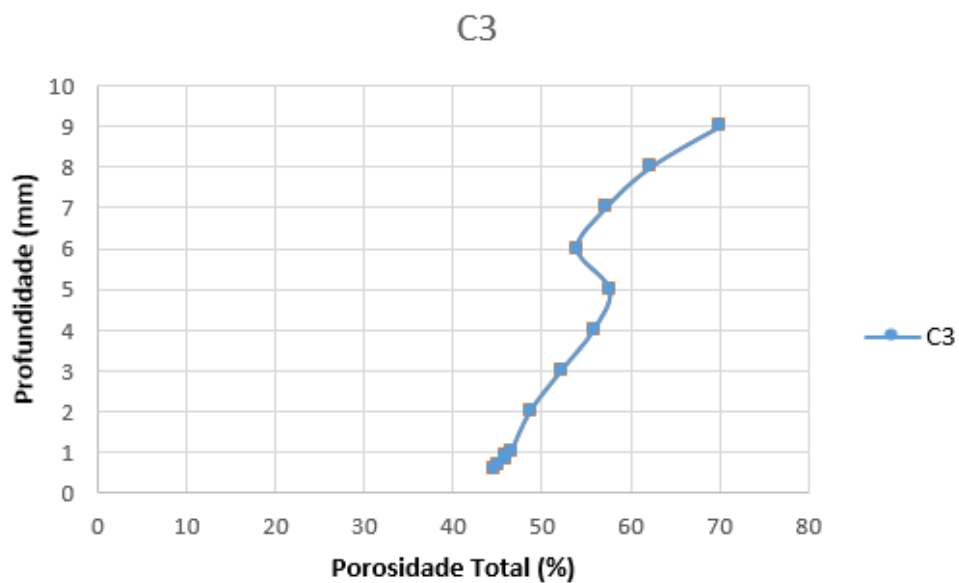


Figura 16. Ponto C3 da Pré Bacia 12

Na Figura 17, o ponto para análise está a 6,782 mm da base e está posicionado em uma camada de descontinuidade dos poros com uma cor mais clara e representa uma porosidade total de 52,163%.

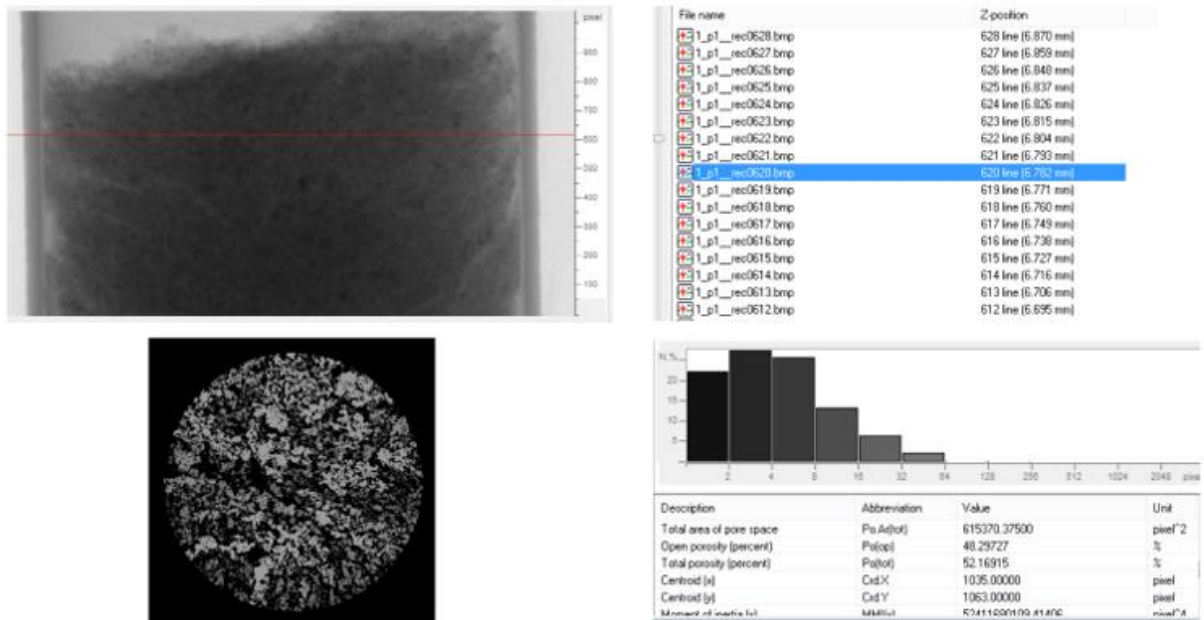


Figura 17. Resultado da Pré Bacia 13, local P1 equivale ao A1, no ponto de cota 6,782 mm. (Fonte: O autor, 2017)

Na Figura 18, o ponto para análise está a 1,510 mm da base e está posicionado em uma camada mais homogêneo, mas não identifica como uma camada de selamento completo, apesar da cor mais escura e ter menor porosidade. Neste ponto a porosidade total foi de 32,437%. A descontinuidade de poros e a heterogeneidade da deposição dos resíduos pode ser observada. Isso expressa que o comportamento da pré bacia, mesmo equivalente, possuem variabilidade, em função de deposição sedimentos e heterogeneidade nas posições de análise.

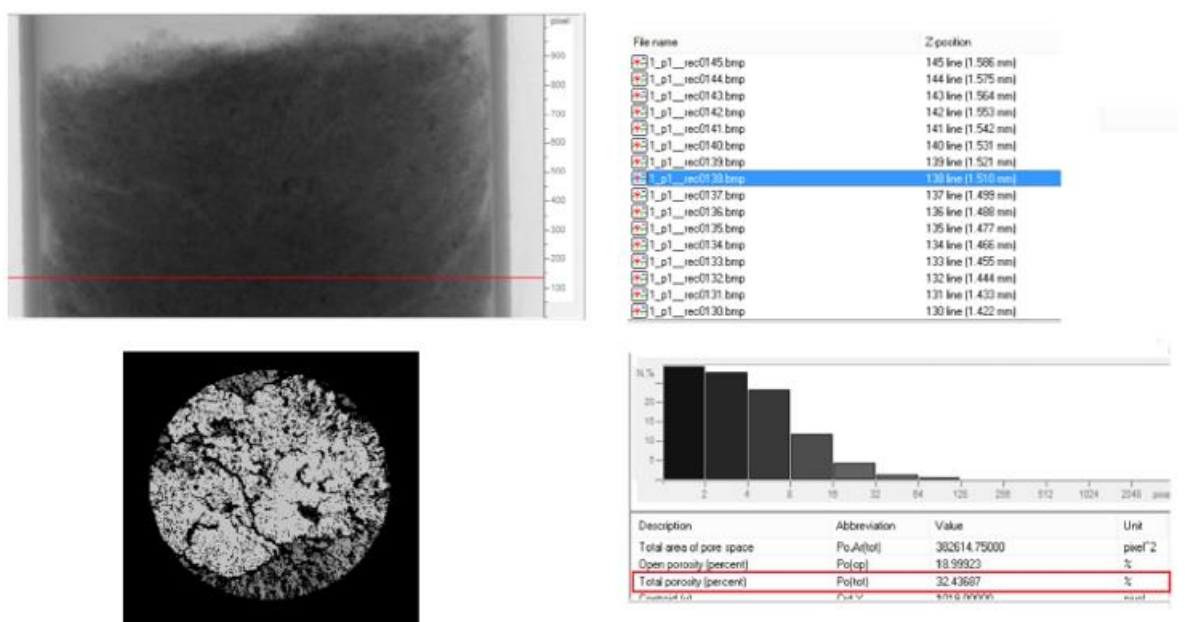


Figura 18. Resultado da Pré Bacia 13, local P1 equivale a A1, no ponto de cota 1,510 mm. (Fonte: O autor, 2017)

CONCLUSÃO

A relação textural apresentou-se como um forte indicador de alterações na paisagem e da estabilidade de solo nas estradas e depósitos de sedimentos nas bacias.

As bacias de retenção de sedimentos, mesmo sem a presença de vegetação, foram eficientes em diminuir os processos erosivos em estradas não vicinais.

As bacias de retenção não vegetadas se apresentaram eficientes na captação de água de chuva.

Bacias com canal sem vegetação, apresentam selamento ou incapacidade de infiltração mais rapidamente que os demais.

Canais vegetados por grama Batatais (*Paspalum notatum*) apresentam melhor desempenho em relação a bacia com canal sem vegetação.

O fluxo de sedimentos tem restrição com o uso de grama Batatais (*Paspalum notatum*), diminui a velocidade e acumula sedimentos mais pesados ao longo do canal e permite a dispersão de sedimentos leves na água cheguem à bacia de retenção.

Entre os tratamentos analisados o com pré bacia e canal vegetado possui melhor desempenho comparando todas as combinações.

Através dos resultados da microtomografia que mostra que o processo de selamento não acontece somente na superfície, como realizado e proposto no módulo de Permeâmetro de Carga Constante. São sucessivas camadas ou estratificações de selamento, que depende da intensidade, duração e frequência da chuva. O acúmulo dessas camadas vai consolidar o selamento total ou a incapacidade de infiltração da bacia.

A microtomografia ainda registra a variação na profundidade da porosidade total. Isso demonstra que o depósito de sedimentos acontece de forma heterogênea tanto na pré bacia como na bacia e corroboram para o aparecimento das camadas de selamento.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. As.; SUZUKI, L. E. A. S. 2007. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 617-625.

ALVES, Ludmila Loures; De OLIVEIRA, Ricardo Fonseca. 2021. Avaliação da necessidade de readequação de estradas rurais: estudo de caso em estrada não pavimentada no município de Monte Carmelo/MG. **Revista GeTeC**, v. 10, n. 30.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S., CENTURION, J.F. 2009. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:677-687.

BENÍCIO, L.P.F., NASCIMENTO, D.S., MELO, J.P.P. 2021. Densidade e porosidade de um plintossolo háptico submetido a diferentes tipos de uso. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 7.

BLAINSKI, E. et al. 2008. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983.

BRASIL NETO, A. B., dos SANTOS, C. R. C., NORONHA, N. C., GAMA, M. A. P., CARVALHO, E. J. M., SILVA, A. R., & de Souza, P. Í. A. 2018. Matéria Orgânica E Atributos Físico-Hídricos De Um Latossolo Sob Diferentes Sistemas De Manejo. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 147-164.

CABRAL, J.B.P. 2005. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. **Caminhos de Geografia – revista on line**. v. 6, n. 14, p. 62-69, Fev.

CASAROLI, Derblai et al. 2018. Padrões de Chuva e de Evapotranspiração em Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 247-256.

COSTA, C.D.O.; ALVES, M.C.; SILVA, H.R.; SOUSA, A.P.; GONZÁLEZ, A.P.; AVALOS, J.M.M. 2015. Produção e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica localizada no Estado de Mato Grosso do Sul. **Anais XVII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** – SBSR, João Pessoa – PB, Brasil.

DORNELES, Jonatan Iago et al. 2019. Avaliação de diferentes cenários na produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica amazônica. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 4.

EMBRAPA. 2011. Documentos, 132. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 revisada ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p.

FAGUNDES, Marla Oliveira et al. 2019. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, V. 10, N. 3, P. 281-297.

FREITAS, L., de OLIVEIRA, I. A., SILVA, L. S., FRARE, J. C. V., FILLA, V. A., & Gomes, R. P. 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2.

GOMES, Fátima; SANTOS, Rafael; GUARIZ, Hugo. 2019. Levantamento de propriedades de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total em latossolos amarelo. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 12.

GONÇALO FILHO, F., NETO, M. F., dos SANTOS FERNANDES, C., da SILVA DIAS, N., da CUNHA, R. R., & de OLIVEIRA MESQUITA, F. 2018. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 38.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v.4, p.1-9.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. 2005. Soil compactation in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.82, p. 121-145.

LUIZ, Gislaïne Cristina; ROMÃO, P. A. 2019 Interação solo-atmosfera e processos de inundação e alagamentos na cidade de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 05, p. 1891-1903.

MANGIERI, Vanessa Lasaro; TAVARES, João. 2019. Avaliação de matéria orgânica, densidade e porosidade do latossolo vermelho em contato com lixiviado de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 1251-1258.

MESQUITA, G. M.; SANTOS, F. C. V.; DORES, A. L.; CORRECHEL, V. 2022. Spatial variability of hydraulic conductivity of saturated soil in conservation unit. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, p. 6532-6535.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, Ciro Antonio. 2001. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 3, p. 531-538. <http://hdl.handle.net/11449/114595>.

NUNES, F.G.; FIORI, A.P.; FIRPO, G. 2011. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64, n. 65, p. 27-39.

PESSOTTO, P. P., da SILVA, V. R., ORTIGARA, C., KOPPE, E., STROJAKI, T., & Santi, A. L. 2016. Influência de diferentes plantas de cobertura nas propriedades físicas de um latossolo vermelho. **Agrarian**, v. 9, n. 34, 348-356.

REINERT, D. J.; REICHERT, R. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, UFSM, 18 p., 2006.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. 2007. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ª ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 322 p.

ROCHA, Rodrigo Esteves et al. 2019. Variações espaciais na condutividade hidráulica do solo em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani. **Revista do Instituto Geológico**, v. 40, n. 2, p. 35-51.

RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M. PALÁCIO, H.A.Q.; MENDONÇA, L.A.R.; Dos SANTOS, J.C.N. 2013. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land, **Rev. Ciênc. Agron.** v. 44, n. 3, p. 488-498, jul-set, Fortaleza.

ROFFE, T.G. 2012. Dinâmica da produção de sedimentos devido a mudanças no uso da terra: estudo de caso da bacia de Chambas, Província Ciego de Ávila, Cuba. **Tese de Doutorado**, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Geociências.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G. 2005. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Documentos 136, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 26p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. 2005. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 92 p.

SIBCS - EMBRAPA. 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 306 p.: il.

SILVA, I.A.C. et al. Estoque de carbono, densidade, porosidade e nematofauna do solo em áreas com e sem aplicação de vinhaça. Irriga, Botucatu, Edição Especial – **Inovagri**, v. 1, n. 4, p. 765-773, dezembro, 2021.

SILVA, Bruce Kelly da Nobrega et al. 2020. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 871-879.

SILVA, G. S.; SILVA, J. S.; PEREIRA, F. A. C.; SANTANA, R. A.; FIRMO, R. S.; LOPES SOBRINHO, O. P. 2019. Spatial variability of the saturated hydraulic conductivity of soil in Cocoa Farming in Recôncavo Baiano. **Rev. Caatinga**, v. 32, n. 3.

SILVEIRA, Ana Paula Pereira da. 2022. **Solos e recursos hídricos**. Editora Senac São Paulo.

SILVEIRA, D.C.; MELHO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. 2010. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 659-667.

SOUZA, E.R.; DOMINGUES, J.F.N. 2017. **Bacias de Captação de enxurradas**. Emater – MG, 4p.
http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL_TECNICO/baciascapta%C3%A7%C3%A3oenxurradas.pdf.

SOUZA, Henrique Antunes De; LEITE, Luiz Fernando Carvalho; MEDEIROS, João Carlos. 2021. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Embrapa Meio-Norte-Livro científico (Alice).

TEZOLIN, T.A. 2021. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1.

TRIOLA, M. F. 2005. **Introdução à estatística** (9a ed.). Rio de Janeiro: LTC.