



# Revista Brasileira de Geografia Física

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



## Parâmetros físico-hídricos do solo em uma lavoura de videira irrigada no Estado de Pernambuco

Tânia da Silva Siqueira<sup>1</sup>; Mateus Ferreira Andrade<sup>2</sup>; Monalisa Alves Diniz da Silva<sup>3</sup>; Josimar Bento Simplício<sup>4</sup>; José Geraldo Eugênio de França<sup>5</sup>

Mestranda em Produção vegetal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail:

[agrotania2@gmail.com](mailto:agrotania2@gmail.com)

Mestrando em produção vegetal na UFRPE/UAST, e-mail: [mateus.fandrade2013@gmail.com](mailto:mateus.fandrade2013@gmail.com) Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, e-mail: [monalisa.diniz@ufrpe.br](mailto:monalisa.diniz@ufrpe.br)

Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada E-mail: [josimar.bento@ufrpe.br](mailto:josimar.bento@ufrpe.br)

Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, E-mail: [geraldo.eugenio@ufrpe.br](mailto:geraldo.eugenio@ufrpe.br)

Artigo recebido em 14/02/2024 e aceito em 13/08/2024

### RESUMO

A exploração racional de áreas irrigadas, depende diretamente de um projeto de irrigação acurado, especialmente no que se refere a cultura da uva, que possui produtividades satisfatórias vinculadas ao fornecimento adequado de água em cada estágio fenológico. Contudo, a instalação de um sistema de irrigação, impreterivelmente associado a um sistema de drenagem, está intimamente relacionada com o acarretamento de alterações físico-hídricas e químicas ao solo. Com isso, objetivou-se mensurar quantitativamente os efeitos de um sistema pressurizado e suspenso de irrigação por gotejamento nos parâmetros físico-hídricos do solo em um parreiral de uva, cv. vitória, no município de Flores, semiárido do Estado de Pernambuco. Mensurou-se densidade do solo, textura, curva de retenção de água do solo e condutividade hidráulica do solo, bem como os teores de sorvidade, porosidade, potencial hidrogênico, velocidade de infiltração básica e parâmetros de forma, tanto na linha de irrigação como na faixa de drenagem de superfície presentes no solo. Não foram observadas alterações drásticas no que se refere aos parâmetros físicos do solo. A partir da avaliação das curvas de retenção de água no solo, constata-se que para uma tensão de  $h=1$ , as parcelas irrigada e da área de drenagem apresentam retenção de água de 0,19 e 0,21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , respectivamente. Os valores da  $K(\theta)$  tendem-pl, a tornar-se consideravelmente maiores nas áreas de drenagem e irrigada, a partir de  $\theta>0,34$  e  $\theta>0,31$ , respectivamente. A instalação de um sistema de drenagem de superfície bem como o emprego de um sistema de irrigação pressurizado e suspenso de gotejamento, não altera drasticamente os parâmetros físicos do solo. O pisoteio realizado pelos animais, bem como o acúmulo de água, eleva moderadamente a densidade do solo na área de drenagem, quando comparada a área irrigada.

Palavras-chave: Condutividade hidráulica; Curva de retenção de água no solo; Compactação do solo; Densidade do solo; Pisoteio animal.

## Physical-hydric parameters of the soil in an irrigated grapevine crop in the State of Pernambuco

### ABSTRACT

The rational exploitation of irrigated areas directly depends on an accurate irrigation project, especially with regard to grape cultivation, whose satisfactory productivity is linked to the adequate supply of water depending on its different phenological phases. However, the installation of an irrigation system, which must be linked to the implementation of a drainage system, is closely related to the cause of physical, water and chemical changes to the soil. With this, the objective was to quantitatively measure the effects of a pressurized and suspended drip irrigation system on the physical-water parameters of the soil in a grape vineyard, in municipality of Flores – PE, semiarid region of the State of Pernambuco. Soil density, texture, soil water retention curve, and soil hydraulic conductivity were measured, as well as Sorpity, Porosity, hydrogenic potential, basic infiltration speed and shape parameters in the soil at irrigation line and surface drainage strip. No drastic changes were observed with regard to the physical parameters of the soil. From the evaluation of the water retention curves in the soil, it can be seen that for a tension of  $h=1$ , the irrigated portion presents water retention at 0.19  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , while the portion that includes the drainage area contains for the same tension 0.21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .  $K(\theta)$  values tend to become considerably higher in drainage and irrigated areas, from  $\theta>0.34$  and  $\theta>0.31$ , respectively. The installation of a surface drainage system as well as the use of a pressurized and suspended drip irrigation system do not drastically alter the physical parameters of the soil. The trampling carried out by animals, as well as the accumulation of water, moderately increases the soil density in the drainage area, when compared to the irrigated area.

Keywords: Hydraulic conductivity; Soil water retention curve; Soil compaction; Soil density; Animal trampling.

## Introdução

Atualmente, a viticultura destaca-se como uma das mais importantes cadeias produtivas da agricultura irrigada no Nordeste brasileiro, sendo a uva, detentora do terceiro lugar na pauta de exportações de frutíferas no Brasil (COMEXTAT, 2021); portanto, a cultura tem papel de destaque no que se refere ao impacto socioeconômico gerado pelo setor agrícola.

No cultivo da videira destinada ao mercado de frutas frescas, vários tratamentos culturais são adotados, sendo fundamentalmente necessário o acompanhamento técnico por um profissional qualificado, haja vista o cultivo de uva de mesa ser uma atividade majoritariamente artesanal (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2023). O emprego de técnicas como a diminuição do fornecimento hídrico na fase final de maturação da videira, pode gerar ganhos significativos em termos qualitativos e quantitativos da produção. Para tanto, é imprescindível o emprego do uso da irrigação, a fim de facilitar o manejo correto do fornecimento de água a cultura em função do estágio fenológico, especialmente no que diz respeito a implantação de lavouras no semiárido nordestino, onde observa-se que o aporte hídrico ordenado pelas chuvas é irregular tanto no espaço como temporalmente.

A exploração racional de áreas irrigadas está relacionada diretamente com a elaboração criteriosa de um projeto de irrigação, visando elevada eficiência de aplicação de água, e de um categórico sistema de drenagem agrícola, ambos proporcionando baixo acarretamento de alterações físico-hídricas e químicas ao solo (Nascimento, 2009); a fim de atender satisfatoriamente as necessidades hídricas da cultura sem implicações negativas à qualidade do solo.

As propriedades hidráulicas do solo, tais como taxa de infiltração e condutividade hidráulica, são diretamente afetadas pela compactação do solo e outros parâmetros físicos que comprometem consideravelmente a eficiência e uniformidade da irrigação (Çakir e Kangir, 2021). O manejo do solo adotado e o método de irrigação (Silva, Pinheiro e Lier, 2020), por sua vez, também podem influenciar esses parâmetros, uma vez que a velocidade e intensidade de caimento da gota de água no solo, pode influenciar a taxa de infiltração, refletindo em menor escoamento superficial e assim reduzindo possíveis incrementos a densidade do solo (Al-Ogaidi *et al.*, 2023).

Dentre os diversos atributos físico-hídricos que estão intimamente ligados ao armazenamento

de água no solo e ao satisfatório desenvolvimento das culturas, cabe a ressalva a dois parâmetros principais, a curva de retenção de água no solo (CRA) e a condutividade hidráulica do solo (Ks) (Lu *et al.*, 2020; Fu *et al.*, 2021; Castellini *et al.*, 2021). A CRA pode ser usada em estudos relacionados a disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água e solutos no solo, a infiltração e ao manejo de irrigação, podendo fornecer informações corretas no espaço e no tempo para um manejo adequado do sistema de irrigação (Souza *et al.*, 2014), além de ser um valioso indicador quanto a qualidade física do solo (Nascimento, 2009).

A condutividade hidráulica do solo, por sua vez, é de indiscutível relevância, uma vez que fornece informações imprescindíveis da capacidade de transporte de água e solutos em praticamente todos os mecanismos de fluxos; sofrendo influência de parâmetros técnicos como a estrutura, composição granulométrica, homogeneidade do perfil do solo, densidade do solo, porosidade, manejo e teor de matéria orgânica (Trevisan *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2012).

O sistema de irrigação por gotejamento pode melhorar a retenção de água por disponibilizar o aporte hídrico diretamente na zona radicular, aumentando a absorção e reduzindo o escoamento superficial, além de influenciar na condutividade hidráulica do solo, por aumentar a uniformidade de distribuição, reduzindo indiretamente a compactação do solo (Yang *et al.*, 2013; Hammadi *et al.*, 2020). Além disso, a aplicação lenta permite uma adequada taxa de infiltração do solo, permitindo que a água infiltre de forma mais eficiente, sendo que o aumento da eficiência do uso da água ocorre mesmo quando a irrigação é reduzida em cerca de 25 a 33% (Yang *et al.*, 2013).

Dadas essas constatações sobre a influência do sistema de irrigação sobre as propriedades físico-hídricas do solo, hipotetizou-se que o sistema de irrigação pressurizado por gotejamento suspenso afeta negativamente os atributos físico hídricos do solo. Para testar a hipótese proposta, objetivou-se mensurar quantitativamente os efeitos de um sistema pressurizado e suspenso de irrigação por gotejamento sobre os parâmetros físico-hídricos do solo em um parreiral de uva, cv. vitória, no semiárido do Estado de Pernambuco.

## Material e métodos

### Local do experimento

O experimento foi desenvolvido na propriedade do empreendimento agrícola “Uvas do Campo”, localizada na zona rural do município de Flores, no Sertão do Pajeú em Pernambuco (Figura 1), com coordenadas geográficas de 7°51'33"S e 37°59'49"W, a uma altitude de 480 metros (GOOGLE EARTH, 2023).



Figura 1: Mapa de localização da propriedade do empreendimento Uvas do Campo LTDA, situada no município de Flores/PE. Captura realizada em julho de 2023. Fonte: GOOGLE EARTH, 2023

O município de Flores - PE, está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que reflete a paisagem típica do Semiárido brasileiro, apresentando relevos isolados que testemunham os ciclos intensos de erosão (Beltrao *et al.*, 2005). Ainda de acordo com os referidos autores, a vegetação é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia, tendo um clima classificado como Tropical Semiárido.

O período de chuvas, na região semiárida de Pernambuco, tende a iniciar em novembro e estender-se até abril, contando com uma precipitação média anual de 669 mm (AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC, 2022). Na área do empreendimento (dois hectares) comumente é realizado o escalonamento da produção da cultura da uva, variedade BRS Vitória, onde, além de comercializar a fruta *in natura*, é realizado o beneficiamento artesanal de sucos, polpas e geleias, também para a comercialização. Dentro do perímetro do empreendimento ainda são conduzidas atividades de expressão econômica como a criação de ovelhas e o turismo rural. O empreendimento, além de ser pioneiro no cultivo da uva na região, ainda se configura pela sua unicidade na área do médio Pajeú, sendo considerado como ponto turístico, oferecendo um serviço de acolhimento para

visitação de pessoas que desejam conhecer em detalhes o processo de produção e beneficiamento da uva.

### Testes de infiltração da água no solo

Nesta determinação foi utilizado um infiltrômetro de anel simples (com 15,5 cm de diâmetro) conforme proposto no método de Beerkan (Lassabatère *et al.*, 2006), pelo qual são necessárias determinações conjuntas da distribuição do tamanho das partículas, da umidade inicial e final e da massa específica do solo. No final do tempo da infiltração, uma amostra deformada de solo foi coletada dentro do perímetro do anel para se obter a umidade gravimétrica final. Outra amostra indeformada do solo úmido foi coletada, utilizando um cilindro de volume conhecido, para a determinação da massa específica do solo (Souza, 2005).

Em decorrência da realização das avaliações, contabilizou-se o tempo requerido para que 100 mL de água fossem adicionados e infiltrados no solo, presente no interior do infiltrômetro de anel simples com diâmetro de 100 mm, cessando-se as leituras por ocasião da estabilização do tempo de infiltração. A partir dos dados obtidos, foi possível a obtenção das propriedades hidrodinâmicas de sorvidade (S) e condutividade hidráulica do solo (Ks) bem como a estipulação das curvas de retenção da água no solo  $\theta(h)$  e da condutividade hidráulica  $K(\theta)$ , a partir da modelagem proposta por Lassabatère *et al.*, (2006).

Os modelos matemáticos para obtenção das curvas de retenção da água no solo  $\theta(h)$  (Equação 1) e da condutividade hidráulica  $K(\theta)$  (Equação 2), foram propostos por Van Genuchten, (1980) e Brooks & Corey (1964).

$$\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right) = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g}\right)^n\right]^{-m} \text{ com } m = 1 - \left(\frac{2}{n}\right) \quad (01)$$

$$K(\theta) = k_s * \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^\eta \quad (02)$$

**Em que:**  $\theta$ = Umidade volumétrica [ $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ];  $\theta_r$  e  $\theta_s$ : Umidades volumétricas residual e saturada [ $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ], respectivamente;  $h$ = Potencial matricial (m);  $h_g$ = Um valor de escala de  $h$  (m);  $m$  e  $n$ = Parâmetros de forma;  $K_s$ = Condutividade hidráulica saturada do

solo [mm.h<sup>-1</sup>];  $\eta$ = Parâmetro de forma para obtenção da curva de condutividade hidráulica.

Os modelos matemáticos supracitados requerem a inserção de cinco parâmetros, sendo dois parâmetros de forma ( $n$  e  $\eta$ ), que podem ser obtidos por meio da curva de distribuição dos tamanhos das partículas  $F(D)$  e da porosidade, e outros três parâmetros de normalização ( $\theta_s$ ,  $K_s$  e  $h_g$ ), que são determinados por intermédio dos ensaios de infiltração (Cavalcanti, 2012).

#### *Determinação da densidade do solo pelo método do cilindro volumétrico*

Para determinação da densidade do solo conduziu-se duas etapas: obtenção da massa da amostra e determinação de seu volume. Quanto a primeira etapa, a coleta do solo, no caso uma amostra indeformada, deu-se com auxílio de um trado. Posteriormente, a massa da amostra foi obtida por meio da pesagem e secagem em estufa a 105 °C por 48h. Já a determinação do volume, foi realizada por intermédio da constatação do volume interno do anel cilíndrico metálico, inserido no trado de coleta utilizado para coleta da amostra (Teixeira *et al.*, 2017). Para obtenção da densidade do solo, procedeu-se com o seguinte modelo matemático:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (3)$$

Em que:  $D_s$  – densidade do solo, em kg.dm<sup>-3</sup> (equivalente a g.cm<sup>-3</sup>);  $m_a$  – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g;  $V$  – volume do cilindro, em cm<sup>3</sup>.

#### *Determinação da textura do solo*

A determinação da textura do solo seguiu as metodologias propostas por Ruiz (2005) e Teixeira *et al.*, (2017), utilizando o peneiramento para separação da areia e a sedimentação para as frações de argila e silte. Para tanto, realizou-se os seguintes procedimentos:

1. Pesagem de 10 g de TFSA (terra fina seca ao ar), com aproximação de 0,01 g;
2. Adição de 50 mL de solução de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e 150 mL de água deionizada;
3. Dispersão da amostra por agitação por 16 horas a 50 rpm;
4. Aferição da mistura das frações silte e argila até 500 mL, coletando-se por meio de pipetagem 25 mL da suspensão (fração silte + fração argila), imediatamente após agitação com bastão de vidro;
5. Após decorrido o tempo calculado pela Lei de Stokes, coletou-se dos 5 cm superficiais, 25 mL da suspensão de argilas;
6. Por peneiramento, malha de 0,053 mm, separou-se a fração areia.
7. Para separação das frações areia grossa e areia fina foi necessária a utilização de peneiramento em malha de 0,212 mm.
8. Todas as frações foram secas em estufa a 100 °C e posteriormente pesadas.

Uma vez coletados os dados da análise granulométrica, as proporções de areia, argila e silte foram calculadas por intermédio das equações 4, 5 e 6, respectivamente (Ruiz, 2005).

$$X_{AF} = M_{AF} \left( \frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad (4)$$

$$X_{Arg} = \left[ M_{(Arg+D)} - M_D \right] \left( \frac{V_t}{V_c} \right) \left( \frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad (5)$$

$$X_S = 1 - (X_{AT} + X_{Arg}) \quad (6)$$

**Em que:** em que  $M$  é a massa (g) das frações do solo, da terra fina seca ao ar (TFSA) e do dispersante (D);  $V_t$ , o volume total da dispersão (mL), e  $V_c$ , o volume coletado (mL).

#### *Análise estatística*

Os dados de análise de textura de solo, teor de matéria orgânica, densidade do solo, foram inseridos na plataforma EXCEL, versão 2019, para o devido processamento e tratamento. Os dados referentes à infiltração de água no solo foram processados pelo programa algoritmo BEST (Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments), proposto por Lassabatère *et al.*, (2006) e processado através do software Scilab.

#### **Resultados e discussões**

##### *Densidade do solo e teores de umidade*

A densidade do solo é um importante indicador da qualidade física do mesmo. De acordo com Aguiar (2008) a densidade do solo é função do arranjo e orientação das partículas do solo, assim como da quantidade e geometria dos espaços porosos, relacionando-se, portanto, com a estrutura

do mesmo. Para a área irrigada e no sistema de drenagem, a densidade do solo observada foi de 1,59 e 1,65 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente, atendendo aos limites preconizados pela literatura (Souza *et al.*, 2008). O crescimento normal das raízes das plantas de cobertura ocorre no limite de densidade de 1,75 g.cm<sup>-3</sup>, enquanto entre a faixa de 1,75 e 1,85 g.cm<sup>-3</sup>, ocorrem restrições, com deformações na morfologia das raízes em grau médio, todavia, acima de 1,85 g.cm<sup>-3</sup>, essas deformações são bastante significativas (Reinert *et al.*, 2008).

Os valores encontrados condizem com os valores encontrados por Oliveira *et al.* (2009) que ao classificarem Luvisolos no Nordeste brasileiro, verificaram valores de densidade do solo, situando-se entre 1,44 e 1,73 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte A e entre 1,64 e 1,84 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte Bt.

A diferença nos valores de densidade do solo na linha de irrigação e na área correspondente ao sistema de drenagem de superfície, pode ser decorrente da presença de matéria orgânica do solo, que possui teores mais elevados na linha de irrigação, tendo em vista a adubação orgânica aportada. Maiores teores de matéria orgânica, conferem ao solo menores valores de densidade (Oliveira *et al.*, 2021). Em um parreiral, a área concernente ao sistema de drenagem de superfície é a entrelinha, ou popularmente conhecida como rua, onde depositam-se os restos culturais provenientes da poda, os quais são responsáveis pela alimentação de ovinos, cujo pisoteio pode elevar gradativamente a densidade do solo. Mantovanelli *et al.*, (2022), ressaltam que as limitações físicas no solo evidenciadas a partir do emprego da irrigação, são acentuadas, apenas, quando associadas a outras práticas de manejo, como intensidade de uso.

### Textura do solo

A textura do solo é um dos principais parâmetros utilizados como indicadores de qualidade física do solo, uma vez aferida, a mesma permite a observação de características importantes para a compreensão do comportamento e manejo do solo, com o propósito de se obter uma maior produtividade agrícola (Centeno *et al.*, 2017).

A análise granulométrica, visando a caracterização textural dos solos da área de irrigação e sistema de drenagem, no parreiral de uva, pode ser observada na Figura 2:

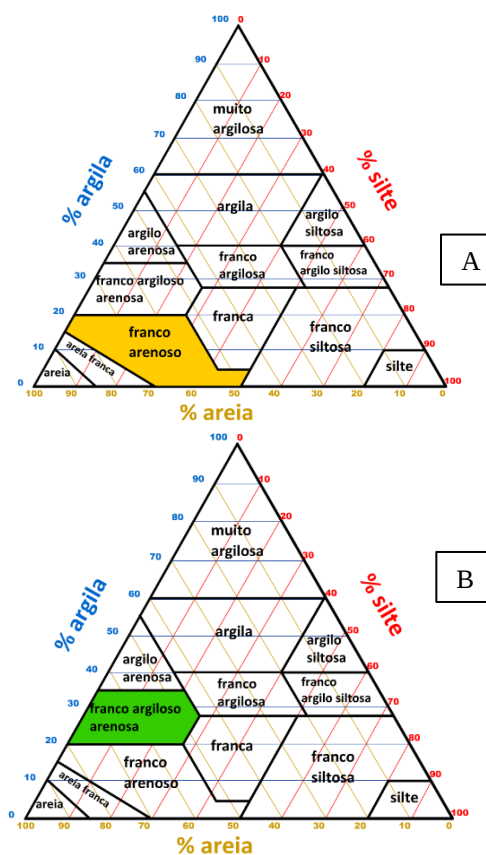


Figura 2: Triângulo textural do solo evidenciando a linha de irrigação (A) e a linha de drenagem (B). Uvas do Campo LTDA. Flores - PE. 2023.

É importante ressaltar, que a textura do solo não está sujeita a mudanças de classe, sendo a mesma uma característica intrínseca do solo, podendo assim ser somente afetada quando ocorrer à mistura com solos de texturas diferentes (Centeno *et al.*, 2017). Solos de textura franca (textura média), definem-se como solos com proporções semelhantes de partículas de areia, silte e argila; o que os torna com boa drenagem e capacidade de retenção de água, além de apresentarem um índice médio de erodibilidade (Santos *et al.*, 2024). Observou-se no solo das áreas estudadas (Figura 2), teores de areia, silte e argila relativamente próximos entre a área irrigada (A-66; S-16; Ar-18%) e a área de drenagem (A-65; S-14; Ar-21%).

O solo da área irrigada apresentou uma pequena elevação nos percentuais de areia, conferindo-lhe a classificação franco-arenoso, enquanto os menores percentuais da partícula, atribuíram ao solo da área de drenagem uma classificação franco-argilo-arenoso. Segundo Centeno *et al.*, (2017), solos que apresentam teores de areia inferiores a 70% podem apresentar maior

absorção de água, adsorção de íons e especialmente fixação de matéria orgânica (MO).

### Infiltração de água no solo

A infiltração diz respeito à inserção de água no solo, ou seja, quando a mesma se movimenta verticalmente no solo, independente do seu aporte ser proporcionado por chuva ou irrigação. A infiltração depende de diversos fatores como as características do solo, o manejo, a umidade antecedente ao aporte hídrico, histórico de uso, cobertura vegetal, resíduos culturais, atividade biológica, rugosidade, declividade e outros (Reitchert, Veiga e Cabeda, 1992; Freitas *et al.*, 2021; Vidaletti *et al.*, 2021).

A infiltração acumulada, descreve o processo de entrada de água no solo, através de sua superfície, é de suma importância para determinação do tempo necessário para aplicação de determinada lâmina ao solo, bem como a estimativa da quantidade a ser aplicada para que se mantenha uma certa altura de água sob a superfície (Paz, 2010; Teixeira Filho e Anselmo, 2022).

A infiltração acumulada tridimensional  $I(t)$  dos solos, tanto da área irrigada como na do sistema de drenagem, pode ser observada na figura 3.

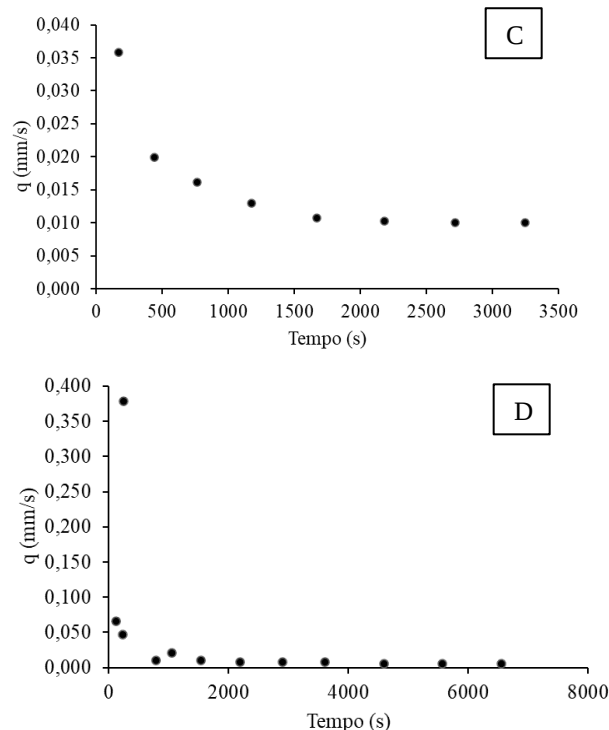
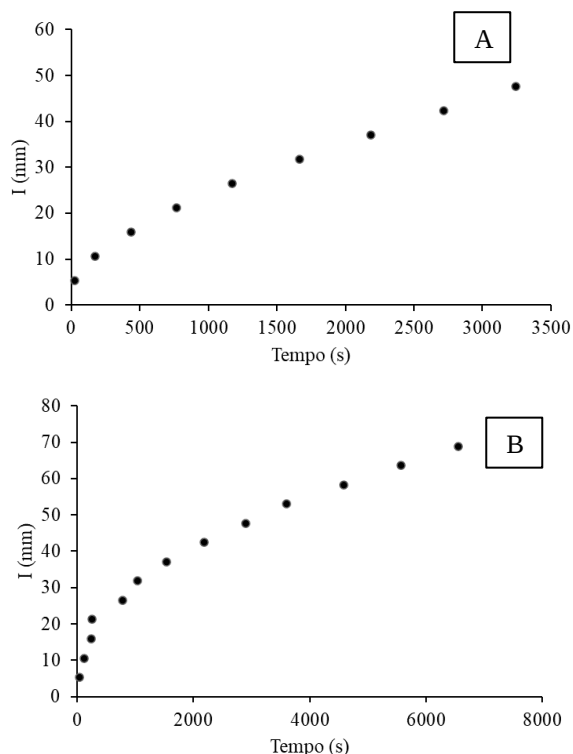


Figura 3: Infiltração acumulada tridimensional  $I(t)$  no solo na linha de irrigação (A) e na linha de drenagem (B). Taxa de infiltração  $q(t)$  no solo na linha de irrigação (C) e na linha de drenagem (D). Uvas do Campo LTDA. Flores - PE. 2023.

Para a área irrigada, a infiltração acumulada foi de 47,70 mm em 3246 segundos, enquanto na área correspondente ao sistema de drenagem a infiltração acumulada foi de 68,90 mm em 6552 segundos, indicando maior facilidade em infiltração de água para o solo da parcela irrigada. Maiores valores de infiltração influem diretamente sobre a redução do escoamento superficial, reduzindo os riscos nos processos de erosão e inundações (Carvalho e Silva, 2006; Freitas *et al.*, 2021). Diante do exposto, constatou-se a ineficiência do sistema de drenagem de superfície na propriedade do empreendimento Uvas do Campo LTDA em Flores - PE. Apesar dos valores mais elevados, os mesmos seguiram a tendência dos encontrados por Souza *et al.* (2008) para solos com caracterização textural semelhante aos solos da área do sistema de drenagem (Franco-argilo-arenoso) e da área irrigada (franco-arenoso); observando-se uma demanda maior de tempo para um menor valor infiltrado na parcela cuja classe textural era Franco-argilo-arenosa.

Ambas as taxas de infiltração apresentaram considerável redução à medida que o tempo transcorria em relação ao início da adição de água, semelhantemente ao verificado por outros pesquisadores, tais como Reitchert, Veiga e

Cabeda (1992); Alves Sobrinho *et al.* (2003); Souza *et al.* (2008); Pinheiro, Teixeira e Kaufmann (2009); Paz (2010) e Li *et al.* (2020).

Inicialmente, o valor da taxa de infiltração é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado (Alves Sobrinho *et al.*, 2003). Isso acontece porque o solo quando relativamente seco apresenta elevado gradiente de potencial, com predomínio das forças capilares, podendo-se desprezar as forças gravitacionais, culminando em elevada velocidade de infiltração. Por sua vez, decorrido algum tempo, esse gradiente diminui, causando expansão das argilas e parcial contração dos poros, ao passo que as forças capilares vão sendo

desprezadas em função da magnitude das forças gravitacionais, fazendo com que diminua a velocidade de infiltração, evoluindo para a constância, tendenciando a retilinidade da curva de capacidade de infiltração (Pinheiro, Teixeira e Kaufmann, 2009; Paz, 2010; Fernandes *et al.*, 2022).

Na Tabela 12, encontram-se os valores médios de sorvidade (S), condutividade hidráulica do solo (Ks), porosidade ( $\theta_s$ ), potencial hidrogênico(hg), velocidade de infiltração básica (VIB) e parâmetros de forma (m, n,  $\eta$  e Cp), para as áreas condizentes a linha de irrigação e ao sistema de drenagem.

**Tabela 2:** Teores de sorvidade (S), condutividade hidráulica do solo (Ks), porosidade ( $\theta_s$ ), potencial hidrogênico (hg), velocidade de infiltração básica (VIB) e parâmetros de forma (m, n,  $\eta$  e Cp), no solo nas linhas de irrigação e de drenagem. Uvas do Campo LTDA. Flores - PE. 2023.

| Classes<br>texturais dos<br>solos | S (mm.s <sup>-1/2</sup> ) | Ks<br>(mm.s <sup>-1</sup> ) | $\theta_s$ (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ) | hg<br>(mm) | VIB<br>(mm.s <sup>-1</sup> ) | m    | n    | $\eta$ | Cp   |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|------------|------------------------------|------|------|--------|------|
| Área irrigada                     | 0,37                      | 0,006                       | 0,4                                             | -34,05     | 0,01                         | 0,10 | 2,22 | 11,89  | 2,27 |
| Área de<br>drenagem               | 0,31                      | 0,002                       | 0,38                                            | -90,93     | 0,01                         | 0,11 | 2,24 | 11,41  | 2,25 |

Os valores de m e n (Tabela 2) condizem com os resultados encontrados por Cavalcanti (2012), que ao realizarem a caracterização hidrodinâmica de solos em Unidades Geoambientais em Pernambuco, encontraram valores de n, m,  $\eta$  e Cp, os quais variaram de 2,17 à 2,23; 0,08 à 0,10; 11,61 à 14,52 e de 2,26 à 2,39, respectivamente. Braud *et al.* (2004) ao utilizarem a metodologia Beerkan, encontraram valores de m e n de 0,84 e 2,79, respectivamente, para um solo arenoso e de 0,099 e 2,22, respectivamente, para um solo argiloso. Os parâmetros S e Ks, são diretamente dependentes da textura e apresentam-se maiores, conforme o maior teor de areia, indicando uma maior permeabilidade do solo (Souza *et al.*, 2008). Portanto, a tendência de aumento de Ks com o aumento do teor de areia, evidenciada por Xu *et al.*, (2012) e Souza *et al.*, (2008), pode ser verificada no presente estudo. Santos, Silva e Silva (2012), por sua vez, enfatizam que os valores de sorvidade (S) e condutividade hidráulica saturada do solo (Ks) são ligeiramente maiores para os solos com menor teor de areia.

Os valores de m, n e cp (Tabela 2) apresentaram comportamento semelhante, o que já era esperado, pois trata-se de fatores ligados à textura do solo. O valor de  $\eta$ , por sua vez, apresentou comportamento distinto, corroborando com as constatações feitas por Santos, Silva e Silva (2012), de que o  $\eta$  apresenta comportamento distinto dos demais parâmetros de forma, visto que ele é inversamente proporcional ao produto desses parâmetros.

A velocidade de infiltração básica (VIB) representa o ponto ao qual as velocidades de infiltração tornam-se constantes e apresenta os seguintes valores aceitáveis: Para Solo Argiloso: < 5 mm.h<sup>-1</sup>; Solo Franco-argiloso: 5 a 10 mm.h<sup>-1</sup>; Solo Franco: 10 a 20 mm.h<sup>-1</sup>; Solo Franco-arenoso: 20 a 30 mm.h<sup>-1</sup> e Solo Arenoso: > 30 mm.h<sup>-1</sup> (Paz, 2010). Os valores preconizados por Paz (2010), apesar de estarem próximos aos encontrados na presente pesquisa, mostraram divergências. Ressalta-se que o autor supracitado não apresentou valores que relacionassem a textura com a densidade do solo (Ds), com isso, verificou-se que

o parâmetro  $D_s$  diferiu dos estudados pelo autor, o que poderia explicar a referida diferença.

Ainda com relação a VIB, constatou-se que a mesma foi muito alta, de acordo com os teores preconizados por Andrade e Andrade (2021), em que a velocidade de infiltração do solo pode ser classificada em:  $>30 \text{ mm.h}^{-1}$ , (VIB muito alta), de  $15\text{-}30 \text{ mm.h}^{-1}$  (VIB alta),  $5\text{-}15 \text{ mm.h}^{-1}$  (VIB média) e  $< 5 \text{ mm.h}^{-1}$  (VIB baixa).

Definidos os parâmetros de forma e de normalização, foram obtidas as curvas de retenção ( $\theta(h)$ ) e de condutividade hidráulica do solo ( $K(\theta)$ ), tanto da linha irrigada como da linha do sistema de drenagem de superfície (Figura 3). O conhecimento das propriedades hidráulicas do solo, tais como as curvas de retenção da água no solo  $\theta(h)$  e da condutividade hidráulica  $K(\theta)$ , é indispensável para a modelagem do transporte de água em sistemas agrícolas (Souza *et al.*, 2008; Pires *et al.*, 2020).

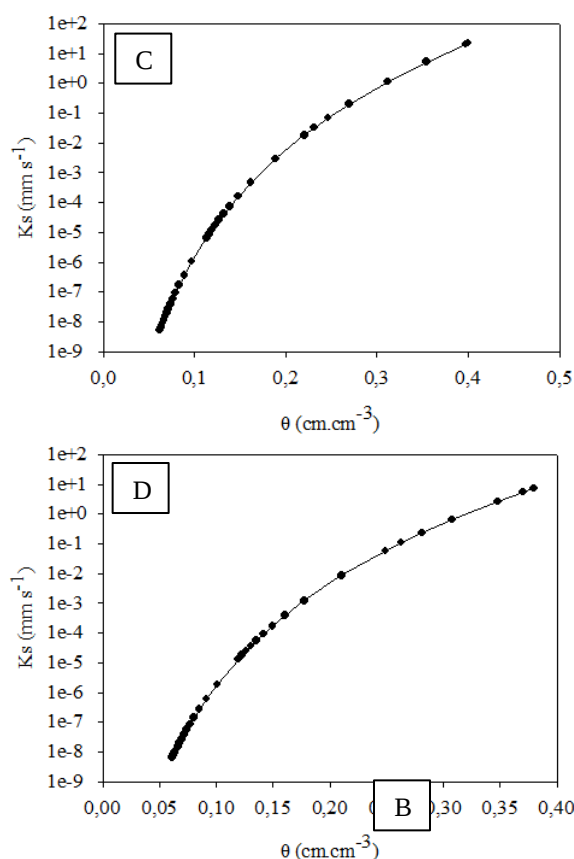
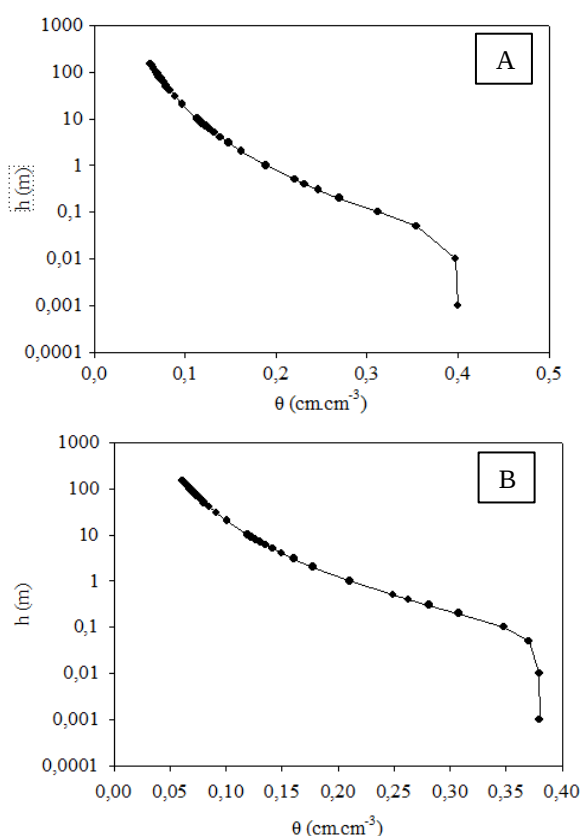


Figura 3: Curva de retenção de água ( $\theta(h)$ ) no solo na linha de irrigação (A) e na linha de drenagem (B). Curva de condutividade hidráulica do solo na linha de irrigação (C) e na linha de drenagem (D). Uvas do Campo LTDA. Flores - PE. 2023.

Por ocasião da tensão de  $h=1$ , observou-se que as áreas irrigada (Figura 3A) e de drenagem (Figura 3B) apresentaram retenção de umidade de  $0,19 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$  e  $0,21 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ , respectivamente. O que é condizente com os maiores teores de argila presentes na área de drenagem, aumentando a sua retenção hídrica.

Para uma tensão  $h=10$  as retenções de umidade foram respectivamente de  $0,11$  e  $0,12 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ , para as áreas de irrigação e drenagem. Estes resultados podem ter relação direta com a porosidade do solo, a qual na área irrigada foi equivalente a  $0,4 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$  enquanto na área de drenagem foi correspondente a  $0,38 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ . Souza, Silva e Silva (2012) observaram que para um solo com textura franco-arenosa, correspondente ao solo da parcela irrigada, à uma tensão  $h= 1 \text{ m}$ , os valores de retenção hídrica são próximos à  $0,50 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ .

A curva de retenção de água no solo indicou uma maior retenção de água na área de drenagem, com relação a irrigada. Diversos autores enfatizam que a maior proximidade das partículas

em um solo argiloso, faz com que os efeitos de adsorção e capilaridade sejam mais intensos em relação a um solo arenoso, restando assim maior quantidade de água (Li *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2024; Roman Junior *et al.*, 2023). Todavia, constatou-se que estas diferenças na granulometria e matéria orgânica do solo, foram pequenas para configurarem um ambiente em que as acentuadas diferenças influenciem grandes alterações na curva de retenção de água no solo. Sendo que maiores amplitudes de variação na textura do solo seriam capazes de implicar significativamente na conformação da curva. Souza *et al.*, (2008) ao compararem situações extremas, em que observaram um solo franco-argiloso (FArg (LA)) e areia (NF), concluíram que a variação nos teores de umidade do FArg (LA) foi inferior ao verificado para a Areia (NF), porém a sua capacidade de retenção foi maior.

O solo é um depósito natural de água para as plantas, o reconhecimento de suas propriedades hidráulicas é essencial para a determinação do manejo ideal dos cultivos, tornando então de suma importância a determinação da curva de condutividade hidráulica do solo (Chaves *et al.*, 2016; Macêdo e Soares, 2020). A condutividade hidráulica do solo ( $K_s$ ) é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água se movimenta (Gonçalves e Libardi, 2013). Portanto, analisar as curvas de condutividade, permite a compreensão das características hidráulicas do solo. Para uma umidade de 0,39; 0,09 e 0,06  $\text{cm}^3.\text{cm}^3$  o solo da área irrigada (Figura 3C) apresentou uma condutividade hidráulica de 21,6,  $1,06 \times 10^{-9}$  e  $5,2 \times 10^{-9} \text{cm}^3.\text{cm}^3$ , respectivamente, enquanto na área de drenagem (Figura 3D) para as umidades de 0,38; 0,10 e 0,061  $\text{cm}^3.\text{cm}^3$ , as condutividades hidráulicas foram de 7,19;  $1,8 \times 10^{-6}$  e  $6,4 \times 10^{-9} \text{cm}^3.\text{cm}^3$ , respectivamente.

Para a área correspondente ao sistema de drenagem (Figura 3D), assim como para a parcela irrigada (Figura 3C), observou-se que a inversão do comportamento da curva de condutividade hidráulica do solo ocorreu por ocasião da  $\theta < 0,30 \text{cm}^3.\text{cm}^3$ . Contudo, os valores da  $K(\theta)$  tenderam a tornar-se consideravelmente maiores nas áreas de drenagem e de irrigação, à partir de  $\theta > 0,34$  e  $\theta > 0,31$ , respectivamente. Tais observações corroboram com as verificadas por Souza *et al.* (2008), em que ao avaliarem solos franco argilosos, franco-argilo-arenosos e franco arenosos, observaram a inversão do comportamento nas curvas de  $K(\theta)$  a partir do conteúdo volumétrico de água igual a 0,30  $\text{cm}^3.\text{cm}^3$ .

Os solos de ambas as áreas, irrigada e com drenagem, apresentaram o mesmo comportamento

quanto ao aumento da  $K(\theta)$ , ou seja, houve maior facilidade de movimentação da água no solo, conforme aumentou-se a disponibilidade hídrica; confirmando as constatações de Cavalcanti (2012) de que quanto maior o teor de umidade, maior a capacidade do solo de transmitir água. Estes resultados são também corroborados por Santos, Silva e Silva (2012) que relataram que a taxa de condutividade se eleva rapidamente enquanto o teor de umidade é baixo e tende a uma estabilidade à medida que o solo atinge o estado de saturação.

## Conclusões

A instalação de um sistema de irrigação pressurizado e suspenso por gotejamento, não altera drasticamente os parâmetros físicos do solo. Parâmetros como densidade e umidade do solo, permanecem relativamente estáveis.

O pisoteio realizado pelos animais, bem como o acúmulo de água nas áreas de drenagem, resultam em elevação moderada da densidade do solo. A área de drenagem apresenta uma densidade maior em comparação a área irrigada, indicando que estes fatores influenciam a compactação do solo.

As curvas de retenção de água no solo, mostram que para uma tensão de  $h=1$ , as áreas irrigada e de drenagem apresentam retenções de umidade de 0,19  $\text{cm}^3.\text{cm}^3$  e 0,21  $\text{cm}^3.\text{cm}^3$ . As áreas irrigadas retêm um pouco menos de umidade em comparação com as áreas de drenagem.

Os valores da condutividade hidráulica do solo ( $K(\theta)$ ) foram consideravelmente maiores nas áreas de drenagem e irrigada, a partir de  $\theta > 0,34$  e  $\theta > 0,31$ , respectivamente. O sistema de irrigação pressurizado por gotejamento suspenso contribui para uma melhoria na condutividade hidráulica, o que pode facilitar a movimentação da água no solo e melhorar a eficiência da irrigação.

## Referências

- Aguiar, M. I. de. (2008). *Soil physical quality in agroforestry systems*. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Al-Ogaidi, A. A., Mahmood, M. T., Mohammed, A. K., & Yasin, H. I. (2023). Efeito da densidade aparente do solo na infiltração de água em solo em camadas. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 30(3), 174-189. <https://doi.org/10.25130/tjes.30.3.16>
- Andrade, M. F., & Andrade, M. M. F. (2021). Influência do uso e manejo do solo na velocidade de infiltração de água. *Brazilian*

- Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5263-5269.  
<https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-030>
- APAC. (2023). Precipitação média anual dos municípios de Pernambuco. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio>. Acesso em: 19 de julho de 2023.
- Beltrão, B. A., et al. (2005). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado de Paraíba: diagnóstico do município de São José de Princesa. *Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos*. Recife: CPRM. Disponível em: [URL]. Acesso em: 28 agosto 2022
- Braud, I. C., et al. (2004). Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties (the Beerkan method). *Article first published online*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00660.x>
- Brooks, R. H., & Corey, A. T. (1964). Hydraulic properties of porous media. *Hydrology Paper*, 3, Colorado State Univ., Fort Collins.
- Çakir, R., & Cangir, C. (2021). Water retention and irrigation characteristics of Vertisols in northwestern Turkey. *Geoderma Regional*, 25, e00402.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00402>
- Carvalho, D. F., & Silva, L. D. B. (2006). *Escoamento em condutos forçados*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Apostila de Fundamentos de Hidráulica).
- Castellini, M., Di Prima, S., Moret-Fernández, D., & Lassabatère, L. (2021). Métodos de medição rápidos e precisos para determinar propriedades hidráulicas do solo: Uma revisão. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 69(2), 121-139. <https://doi.org/10.2478/johh-2021-0002>
- Cavalcanti, G. I. F. (2012). *Caracterização hidrodinâmica de solos de unidades geoambientais de Pernambuco a partir da metodologia Beerkan*. Dissertação (Mestrado) – UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife.
- Centeno, L. N., Silva, L. F., & Andrade, M. M. F. (2017). Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 4(1), 31-37. <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>
- Chaves, F. M. S., et al. (2016). Avaliação da curva de retenção e condutividade hidráulica em diferentes sistemas de manejo em latossolo amarelo distrófico. In *XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Natal, RN. Anais [...]. 8 p.
- Embrapa. (2010). *Cultivo da Videira*. Sistemas de Produção, 1 – 2a. edição. ISSN. 1807-0027 Versão Eletrônica. Disponível em: [http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema\\_producao/spuva/implantacao.html](http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/implantacao.html). Acesso em: 22 de julho de 2023.
- Fernandes, B. B., Marasca, I., Martins, M. B., Sandi, J., da Silva, K. G. P., & Lanças, K. P. (2022). Efeito do tráfego agrícola na infiltração de água no solo. *IRRIGA*, 27(2), 343-356. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p343-356>
- Freitas, W. B., Spletozer, A. G., da Silveira, L. J., Barbosa, R. A., & Dias, H. C. T. (2021). Influência do uso e manejo do solo na infiltração de água: uma revisão. *Editora e Publicar – Meio ambiente: Gestão, preservação e desenvolvimento sustentável*, 3. DOI: 10.47402/ed.ep.c202182127486
- Fu, Y., Horton, R., & Heitman, J. (2021). Estimativa de curvas de retenção de água no solo a partir de medições de condutividade elétrica e conteúdo de água do solo. *Soil and Tillage Research*, 209, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104948>
- Google Earth. (2023). Uvas do Campo. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 19 de julho de 2023.
- Hammadi, Q. O., & Bahia, M. H. S. (2020). Efeito de fatores do sistema de irrigação por gotejamento em algumas propriedades físicas do solo e na produtividade da couve-flor. *Plant Archives*, 20(2), 723-728.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2020). Pesquisa Produção Agrícola Municipal. In: Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro. Disponível em: [URL]. Acesso em: julho de 2023.
- Jesus Teixeira Filho, A., & de Oliveira Anselmo, A. N. (2022). Análise comparativa de infiltração acumulada e velocidade média de água no solo em terra preta de índio cultivada com bananeira e laranja na região do médio Amazonas. *Open Science Research VI* - ISBN 978-65-5360-212-0 - Volume 6 - Ano 2022 - Editora Científica Digital. <https://dx.doi.org/10.37885/220910016>
- Júnior, O. R., Galvão, Y. R., Martorano, L. G., dos Santos, S. F., Lucas, F. A., da Silva Castro, R. M., & Nunes, B. S. (2023). Eventos pluviais erosivos simulados sob diferentes coberturas do solo em Paragominas-Pará. *Peer Review*, 5(11), 1-17.

- Lassabatère, L., et al. (2006). Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments - BEST. *Soil Science Society of American Journal*, 70, 521-532. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0026>
- Li, H., Yao, Y., Zhang, X., Zhu, H., & Wei, X. (2020). Changes in soil physical and hydraulic properties following the conversion of forest to cropland in the black soil region of Northeast China. *Catena*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104986>
- Lu, J., Zhang, Q., Werner, A. D., Li, Y., Jiang, S., & Tan, Z. (2020). Mudanças induzidas por raízes nas propriedades hidráulicas do solo – Uma revisão. *Journal of Hydrology*, 589, 125203. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125203>
- Macêdo, G., & Soares, W. (2020). Utilização de métodos de campo e laboratoriais para estimação de propriedades hidrodinâmicas do solo. *Águas Subterrâneas*, 34(2), 166-176. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i2.29809>
- Mantovanelli, B. C., Petry, M. T., Martins, J. D., & Carlesso, R. (2022). Qualidade física de solos do Brasil e aplicabilidade de métodos para estimativas de retenção de água no solo: A revisão. *Revista Edutec*, 3(1).
- Nascimento, P. dos S. (2009). *Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos em planilha de manejo de irrigação*. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.
- Oliveira, L. B., et al. (2009). Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1333-1345. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500026>
- Olivera, F. P. D., Martins, A. F., Pereira, W. E., Costa, G. G. D. S., Tavares, D. D., Campos, M. C. C., & Pequeno, P. L. D. L. (2021). Efeito de diferentes sistemas de manejo na qualidade físico-hídrica de um vertissolo (vertisol) no semiárido brasileiro. *Ciencia del Suelo*, 39(2), 146-156.
- Paz, V. P. S. (2010). *Infiltração de água no solo*. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência Agrárias, Ambientais e Biológicas. Núcleo de Engenharia de Água e Solo. Apostila. Disciplina: CCA 039 - Irrigação e Drenagem.
- Pinheiro, A., Teixeira, L. P., & Kaufmann, V. (2009). Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 4(2), 188-199. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Pires, L. F., Auler, A. C., Roque, W. L., & Mooney, S. J. (2020). X-ray microtomography analysis of soil pore structure dynamics under wetting and drying cycles. *Geoderma*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114103>
- Reichert, J. M., Veiga, M. da, & Cabeda, M. S. V. (1992). Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16(3), 289-298.
- Reinert, D. J., et al. (2008). Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1805-1816. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>
- Ruiz, H. A. (2005). Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 297-300. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200015>
- Santos, C. A. G., Silva, J. F. C. B. C., & Silva, R. M. (2012). Caracterização hidrodinâmica dos solos da bacia experimental do Riacho Guaraira utilizando o Método Beerkan. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(4), 149-160.
- Santos, I. S., & Lafayette, K. P. V. (2024). Ensaio para verificação do potencial de erodibilidade do solo em áreas de risco: uma revisão sistemática de literatura. *Revista De Gestão Ambiental E Sustentabilidade*, 13(1), e23803. <https://doi.org/10.5585/2024.23803>
- Silva Pereira, B. L., Souza, L. S., da Silveira, F. G. F., Junior, F. D. A. G., dos Santos, M. R., & Gonçalves, Z. S. (2024). Atributos físicos do solo e sua influência na redistribuição da água em Latossolo Amarelo Distrocoeso. *Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar*, Volume 1. <https://dx.doi.org/10.37885/201202657>
- Silva, A. J. P., Pinheiro, E. A. R., & de Jong van Lier, Q. (2020). Determinação das propriedades hidráulicas do solo e suas implicações para simulações mecanísticas e manejo da irrigação. *Irrigation Science*, 38, 223-234. <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00664-5>

- Silva, J. R. L., Montenegro, A. A. A., & Santos, T. E. M. (2012). Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(1), 27-36. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100004>
- Sistema de Estatísticas do Comércio Exterior - Comexstat. (2023). Exportação e importação geral. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: julho de 2023.
- Sobrinho, T. A., Vitorino, A. C., de Souza, L. C., Gonçalves, M. C., & Carvalho, D. F. D. (2003). Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 191-196. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200001>
- Souza, E. S. (2005). *Caracterização hidrodinâmica na escala local e da parcela agrícola de dois solos do estado da Paraíba: variabilidade espacial e temporal, e meio homogêneo equivalente*. Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação em Tecnologia Energética e Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Souza, E. S. de, et al. (2008). Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 128-135. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200004>
- Souza, J. M., Bonomo, R., Pires, F. R., & Bonomo, D. Z. (2014). Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo, em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. *Coffee Science*, 9(2), 226-236. URI: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8047>
- Teixeira, P. C., et al. (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (3. ed. rev. e ampl.). Brasília, DF: Embrapa.
- Trevisan, R., et al. (2009). Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. *Irriga*, 14(3), 413-422. <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p413-422>
- Van Genuchten, M. Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
- Vidaletti, V. F., de Marins, A. C., Secco, D., Rizzi, R. L., & Chang, P. (2021). Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo. *Research, Society and Development*, 10(17), e193101724562-e193101724562.3
- Xu, X., Lewis, W., Liu, J., Albertson, G., & Kiely, G. (2012). Analysis of single-ring infiltrometer data for soil hydraulic properties estimation: Comparison of best and Wu methods. *Agricultural Water Management*, 107, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.004>