

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA E NA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO SOB CULTIVO ROTACIONADO COM CANA-DE-AÇÚCAR E SORGO SACARINO

MIRELA FERNEDA¹; FELIPE ESCORCE FURLAN²; TAMARA QUALHARELLO³; FERNANDO FERRARI PUTTI⁴; GUSTAVO HENRIQUE GRAVATIM COSTA⁵ E RAÚL ANDRES MARTINEZ URIBE⁶.

*Dados oriundos do trabalho de conclusão de curso da primeira autora.

¹Universidade Estadual Paulista, FCE UNESP, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, CEP 17602-496, Tupã, SP, Brasil, mirelaferneda@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista, FCE UNESP, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, CEP 17602-496, Tupã, SP, Brasil, felipe_escorce@hotmail.com

³Universidade Estadual Paulista, FCE UNESP, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, CEP 17602-496, Tupã, SP, Brasil, tamaraqualharello@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia de Biossistemas, FCE UNESP, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, CEP 17602-496, Tupã, SP, Brasil, fernando.putti@unesp.br

⁵Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal, Avenida Professor Mário Palmério, 1001 - Bloco B, Frutal, CEP 38200-000, Frutal, Minas Gerais, Brazil, gustavo.costa@uemg.br

⁶Departamento de Engenharia de Biossistemas, FCE UNESP, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, CEP 17602-496, Tupã, SP, Brasil, raul.uribe@unesp.br

1 RESUMO

As características hidráulicas do solo possuem papel de grande relevância no desenvolvimento das plantas pois atuam no armazenamento e transporte de água. O presente estudo teve como objetivo utilizar adubos verdes na reforma do canavial, avaliando a influência do cultivo da crotalária e do feijão guandu em rotação com o sorgo sacarino e cana-de-açúcar na infiltração de água e na resistência à penetração do solo. As equações de infiltração, seguindo o modelo de Kostiakov, foram determinadas a partir dos dados resultantes do teste com infiltrômetro de anel concêntrico, realizado após o primeiro corte da cana, em uma área experimental na cidade de Cabrália Paulista, SP, Brasil, já a resistência a penetração foi mensurada usando o penetrômetro. As rotações com adubos verdes propiciaram aumento da velocidade de infiltração básica (VIB) e redução da resistência à penetração. A crotalária destacou-se em todas as variáveis estudadas, resultando em um aumento estatisticamente significativo de 200% na VIB do solo e uma redução significativa de 15% na resistência a penetração. O feijão guandu também promoveu melhoras nas condições do solo, entretanto essas foram menos expressivas. Desta forma, pode-se afirmar que o uso da crotalária e do feijão guandu resultam na melhoria das características físicas do solo.

Palavras-chave: *Crotalária ochroleuca*, velocidade de infiltração básica, Kostiakov, rotação de culturas, *Sorghum bicolor* L. Moench, *Saccharum officinarum*.

FERNEDA, M.; FURLAN, F. E.; QUALHARELLO, T.; PUTTI, F. F.; COSTA, G. H. G.; URIBE, R. M.

INFLUENCE OF GREEN MANURE ON WATER INFILTRATION AND RESISTANCE TO SOIL PENETRATION UNDER ROTATIONAL CULTURE WITH SUGARCANE AND SWEET SORGHUM

2 ABSTRACT

The hydraulic characteristics of the soil play a very important role in the development of plants, as they act in the storage and transport of water. The objective of the present study was to use green manures in sugarcane plantation reform, evaluating the effects of crotalaria and guandu bean in rotation with sweet sorghum and sugarcane on water infiltration and resistance to soil penetration. The infiltration equations, following the Kostiakov model, were determined from the data resulting from the test with a concentric ring infiltrometer, carried out after the first sugarcane cut, in an experimental area in the city of Cabrália Paulista, SP, Brazil, penetration resistance was measured using the penetrometer. The rotations with green manures provided an increase in the basic infiltration velocity (BIV) and a reduction in penetration resistance. Crotalaria stood out in all studied variables, resulting in a statistically significant increase of 200% in soil BIV and a significant reduction of 15% in penetration resistance. Guandu bean also promoted improvements in soil conditions, however these were less expressive. In this way, it can be stated that the use of crotalaria and guandu bean results in the improvement of the physical characteristics of the soil.

Keywords: *Crotalaria ochroleuca*, basic infiltration rate, kostiakov, crop rotation, *Sorghum bicolor* L. Moench, *Saccharum officinarum*.

3 INTRODUÇÃO

A água é indispensável para os seres vivos e possui diversas funções em seus organismos, como transporte de nutrientes, tampão de temperatura, solvente e outros (AUNG; JIANG; HE, 2017). As plantas necessitam essencialmente do solo para o fornecimento de água e nutrientes, deste modo para manter um desenvolvimento efetivo, é preciso que o mesmo mantenha a qualidade e as reservas de águas acessíveis as raízes (EHLERS; GOSS, 2016).

A infiltração, dada como o processo de entrada da água ao solo, é um dos pontos centrais para promover a acessibilidade de água às plantas, além disso, pode auxiliar no controle do escoamento superficial e das erosões (LOURENCETTI; GOMES; BRANCO, 2020). Sabe-se ainda que a taxa

de infiltração possui grande relevância no planejamento de sistemas de irrigação, e afeta diretamente o desempenho do processo e a eficiência no uso da água, pois determina a dinâmica da água no solo (EBRAHIMIAN et al., 2020; SILVA et al., 2017).

A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) é um fator de extrema importância no dimensionamento dos projetos de irrigação, a qual pode ser determinada por vários métodos, entre eles destaca-se o de anel concêntrico (WICKRAMAARACHCHI; VENUKANAN; DILUCKSHANARAJ, 2018). O método do anel concêntrico consiste em um anel inserido no solo que recebe uma carga hidráulica, medindo-se a taxa de infiltração ao longo do tempo, até que se torne constante (NETTO et al., 2013).

A cana-de-açúcar tem grande importância na economia do Brasil sendo,

entre outros, matéria prima para produção de açúcar, etanol e energia elétrica. É considerada uma cultura extrativista, sendo que 90,8% das colheitas são realizadas mecanicamente (CANA DE AÇÚCAR, 2023), com alto tráfego de maquinários, resultando em alterações físicas do solo. Desta forma, pode alterar a compactação do solo, a qual diminui a porosidade do solo, aumentando a densidade aparente do mesmo, implicando na redução da infiltração da água no solo (CHEN; WEIL, HILL, 2014; MOSSADEGHI-BJÖRKLUND et al., 2019; WANG et al., 2015).

Um dos indicadores mais utilizados para avaliar as condições físicas do solo é a Resistência a Penetração (RP), a utilização deste método pode determinar o grau da compactação que descreve a resistência física exercida pelo solo sobre as raízes e tem alta correlação no desenvolvimento das plantas (LABEGALINI et al., 2016; OLIVEIRA FILHO et al., 2015). Pode ser um grande aliado na análise dos efeitos dos sistemas de manejo adotados (VALADÃO et al., 2015). A RP é altamente dependente da textura, estrutura e mineralogia do solo e seu aumento é resultado do uso intenso de máquinas e implementos agrícolas (LIMA; LÉON; SILVA, 2013).

Devido à necessidade de aumentar a produtividade e levando em consideração que a cultura da cana-de-açúcar apresenta um período de ociosidade chamado reforma do canavial, algumas culturas podem ser associadas a mesma, tal como o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) (GOMES; BAJAY, 2017; MAY et al., 2013).

O sorgo sacarino é uma das matérias-primas para a produção de etanol pela fermentação dos açúcares presentes em seus colmos, apresentando ampla adaptação às diferentes condições de clima e solo, sendo indicada como alternativa para o encurtamento da entressafra, aumentando

assim a produtividade em litros de etanol por hectare (EMYDIO, 2010).

A prática de adubação verde consiste na incorporação de plantas ao solo com intuito de melhorar suas propriedades e atuar na reciclagem de nutrientes de forma mais sustentável. Dentre as culturas que podem ser aplicadas têm-se a crotalária e o feijão guandu, duas leguminosas com a importante característica de possuir raízes profundas e bem desenvolvidas que geram canais porosos no solo, auxiliando na descompactação e aumento da infiltração, (PACHECO et al., 2015)

Devido à grande importância da água para o desenvolvimento das plantas e a escassez de trabalhos que relacionem o aumento da infiltração de água no solo pelo uso de adubos verdes, este estudo teve por objetivo utilizar a crotalária e o feijão guandu na reforma do canavial, e analisar a capacidade dos mesmos de alterar a velocidade de infiltração de água no solo e a resistência à penetração do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental da Escola Técnica “Astor de Mattos Carvalho” localizada no município de Cabrália Paulista, SP, Brasil a 600m de altitude, latitude 22°28'47.0” S e longitude 49°19'08.1” W. O solo da área é classificado de acordo com a SIBCS como Latossolo amarelo distrófico, e a classificação climática do local é Cwa segundo Köppen: clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, e ambiente produtivo para cana-de-açúcar “D”: com potencial produtivo médio/baixo. A área utilizada para implantação do estudo teve como histórico o cultivo de cana-de-açúcar por seis anos.

Na primavera foi realizada a semeadura da crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) e do feijão guandu (*Cajanus cajan*) a lanço com taxa de 20 kg ha⁻¹ de

sementes. O ceifamento dos adubos verdes foi realizado aos 120 dias após a semeadura (DAS). Posteriormente se realizou a semeadura do sorgo sacarino Híbrido Malibu 1001 da Nexsteppe®, com espaçamento simples de 0,5 m entre linhas, e 6 a 7 sementes por metro linear, com o intuito de se obter um estande final de 120.000 plantas ha⁻¹. A colheita foi realizada de forma manual no início do outono 110 (DAS). A cultivar de cana-de-açúcar RB 867515 foi plantada na primavera do 2º ano de experimento após o preparo convencional de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas, em diferentes situações de rotação (tratamentos) sendo:

- T1: cana-de-açúcar plantada sobre a crotalária;

- T2: cana-de-açúcar plantada sobre o sorgo sacarino em rotação com crotalária;

- T3: cana-de-açúcar;

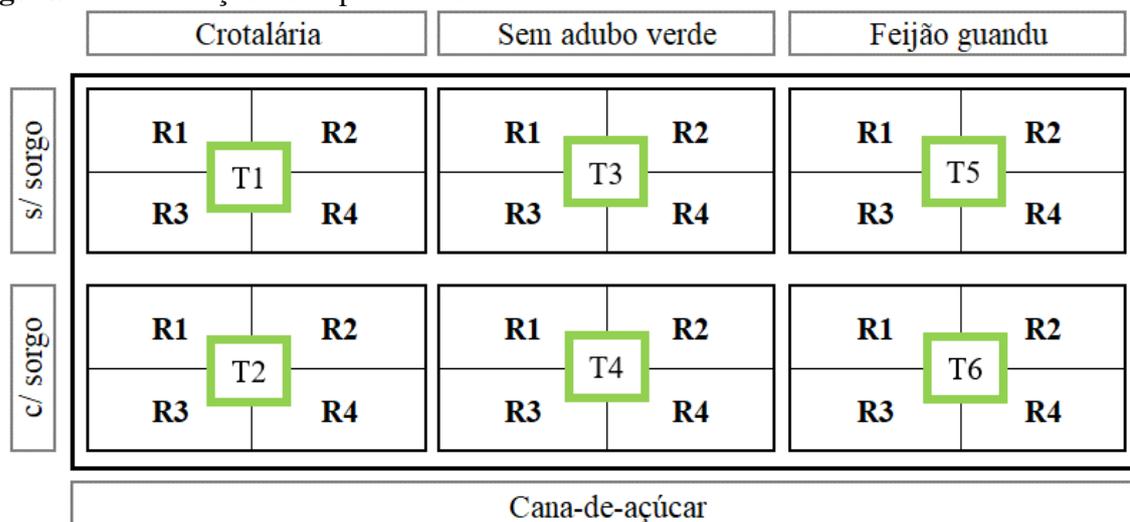
- T4: cana-de-açúcar plantada sobre o sorgo sacarino;

- T5: cana-de-açúcar plantada sobre o feijão guandu;

- T6: cana-de-açúcar plantada sobre sorgo sacarino em rotação com feijão guandu.

Adotaram-se quatro repetições para cada tratamento em esquema fatorial 3x2 sendo o fator A: três situações de rotação: com crotalária, sem adubação verde e com guandu; e o fator B: duas situações: sem sorgo sacarino e com sorgo sacarino, como ilustra a figura 1.

Figura 1. Delimitação do experimento

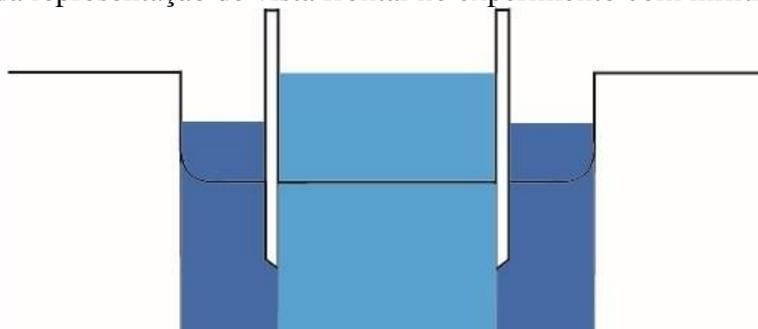


Fonte: Os autores.

A determinação da infiltração foi realizada após o primeiro corte da cana-de-açúcar, com o solo na condição não saturado, por meio do infiltrômetro de anel, com a metodologia adaptada de Brandão et al. (2012). Diferente do autor citado, criou-se uma cava plana de aproximadamente 50 cm de diâmetro e 10 cm de altura, e utilizou-se

um anel de 30 cm de altura e 24,2 cm de diâmetro interno. A cava foi feita a fim de evitar a infiltração lateral do fluido de dentro do anel (Figura 2). Os cilindros foram inseridos a 10 cm de profundidade, e a lâmina d'água no anel foi mantida em uma altura que variava entre 8 e 10 cm de altura.

Figura 2. Corte da representação de vista frontal no experimento com infiltrômetro de anel



Fonte: Os autores.

A reposição da água no anel foi realizada sempre que a lâmina d'água atingisse seu limite mínimo (8 cm). As leituras da lâmina infiltrada foram feitas em intervalos de 5 minutos nos primeiros trinta minutos de ensaio, depois em intervalos de 10 minutos na próxima hora, e finalmente em intervalos de 15 minutos até atingir valores constantes ao longo do tempo e completar um tempo total do ensaio de no mínimo 2 horas e meia.

Posteriormente, usando os dados do ensaio, determinou-se a velocidade de infiltração básica e gerou-se a equação de infiltração segundo o modelo de Kostiaikov (FOK, 1986):

$$I = k * t^n \quad (1)$$

Em que, "I" é a infiltração acumulada; "t" é o tempo de ensaio; e "k" e "n" parâmetros atrelados ao tipo de solo. Além disso, determinou-se a equação da velocidade de infiltração (eq. 2) para cada tratamento.

$$VI = n * k * t^{n-1} \quad (2)$$

Para determinar a resistência mecânica à penetração foi utilizado penetrômetro Falker®, modelo Penetrolog PLG 1020 com ponteira de 20,27 mm de diâmetro e área de projeção de 323 mm². O instrumento mensura a pressão necessária

(kPa) para inserir a ponteira no solo e a relaciona com a profundidade do perfil por meio de um sensor de distância (ultrassom) que mede entre o aparelho e uma placa metálica colocada no solo. Foram feitas seis repetições no fim do ciclo da cana-de-açúcar em cada uma das vinte e quatro parcelas, totalizando 144 leituras.

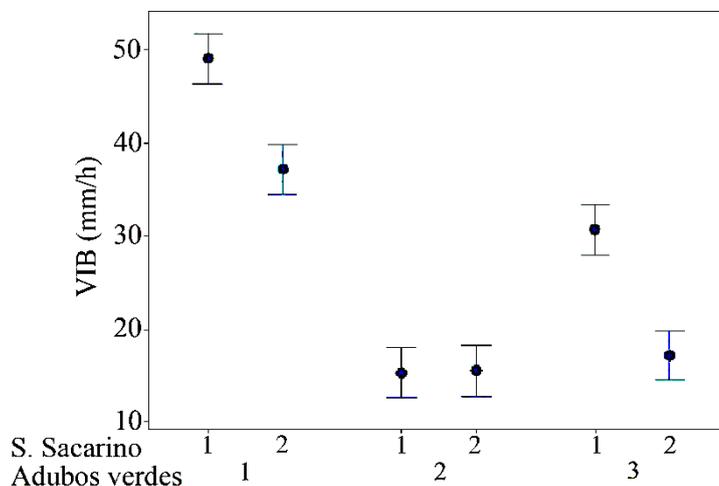
Os resultados obtidos foram submetidos a análises estatísticas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com intuito de validar se as diferenças entre os resultados poderiam ser consideradas significativas estatisticamente. A análise de variância (teste F), também foi aplicada, ambos no software Minitab®.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados expostos pela Figura 3 e Tabela 1 apontam que a interação entre as rotações de culturas propostas influenciou significativamente nos valores de velocidade de infiltração básica (VIB). A combinação crotalária - sem sorgo sacarino resultou na maior taxa de VIB (49,10 mm h⁻¹), seguida da combinação crotalária - com sorgo sacarino (37,19 mm h⁻¹), e guandu - sem sorgo sacarino (30,69 mm h⁻¹). Por fim as combinações sem adubos verdes - sem sorgo sacarino, sem adubos verdes - com sorgo sacarino e guandu - com sorgo sacarino

apresentaram valores de 15,30; 15,48 e 17,17 mm h⁻¹, respectivamente.

Figura 3. Médias da velocidade de infiltração básica (VIB) com respectivos intervalos de confiança para as combinações dos níveis de adubos verdes e de sorgo sacarino



Adubos verdes: 1- crotalária; 2- sem adubos verdes; 3- guandu. Sorgo sacarino: 1- sem sorgo sacarino; 2- com sorgo sacarino

Fonte: Os autores.

Tabela 1. Valores de velocidade de infiltração básica (VIB) em solos cultivados com cana-de-açúcar em diferentes condições de rotação

Tratamento	Níveis de Adubos Verdes	Níveis de Sorgo Sacarino	VIB (mm h ⁻¹)
T1	Crotalária	Sem sorgo sacarino	49,10 A
T2	Crotalária	Com sorgo sacarino	37,19 B
T3	Sem adubos verdes	Sem sorgo sacarino	15,30 D
T4	Sem adubos verdes	Com sorgo sacarino	15,48 D
T5	Guandu	Sem sorgo sacarino	30,69 C
T6	Guandu	Com sorgo sacarino	17,17 D
Teste F (Interação)			16,69**
CV %			9,81

Letras diferentes diferenciam significativamente pelo teste de Tukey (5%). **significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

Fonte: Os autores.

Observou-se que a rotação com crotalária sem a cultura do sorgo sacarino (T1) propiciou os maiores índices de VIB (Tabela 1), sendo este tratamento 220% superior comparado ao tratamento onde houve apenas o cultivo de cana-de-açúcar (T3). Notou-se também a influência da cultura do sorgo sacarino, diminuindo em alguns casos (T1 comparado com T2; e T5 comparado com T6) a VIB. Nos tratamentos

onde não houve a rotação com os adubos verdes a presença do sorgo sacarino não reportou diferenças estatisticamente significativas.

A velocidade de infiltração é afetada por uma variedade de fatores, tais como densidade, composição do solo, uso de cobertura e outros. O estudo de Pereira et al. (2019) em áreas de regeneração vegetativa obteve valores de VIB que variaram entre

29,6 cm h⁻¹ e 47,8 cm h⁻¹, evidenciando que o percentual de argila e a densidade do solo influenciam significativamente os parâmetros de infiltração de água. Justificando melhora das taxas de VIB pelo uso de cobertura de solo, Viana et al. (2015) encontrou valores de 36,3 cm h⁻¹ e 23,4 cm h⁻¹ para solos com sistema de plantio direto e convencional, respectivamente.

O impacto positivo causado pelo uso da adubação verde é resultado de sua capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como, densidade, estrutura, fixação de Nitrogênio, retenção de umidade e teor de matéria orgânica. A crotalária por possuir raízes profundas e bem desenvolvidas atua principalmente na melhora da estrutura do solo, proporcionando a atenuação a resistência a penetração, aumento a velocidade de infiltração e da capacidade de armazenamento de água no solo e proteção contra erosão (DAS et al., 2020; MARSHALL et al., 2016; ZACCHEO et al., 2016)

A crotalária não só foi responsável pelos maiores índices de VIB (Figura 3) mas também propiciou elevadas taxas mesmo em rotação com sorgo sacarino, cultura esta que recebeu diversos tratamentos culturais (semeadura, adubação, aplicação de defensivos, entre outros) gerando um maior fluxo de tráfego na área podendo ocasionar alterações físicas do solo (CHEN; WEIL, HILL, 2014; WANG et al., 2015), em contrapartida o tratamento com feijão guandu não apresentou diferenças estatísticas quando associado ao sorgo sacarino. Santos et al. (2016) também encontrou bons resultados com o cultivo da crotalária como cobertura para o milho doce, obtendo VIB de 123 mm h⁻¹, considerada muito alta.

Velocidades de infiltração altas ou muito altas reduzem a possibilidade de escoamento superficial e, por conseguinte de erosão hídrica, também podem aumentar as capacidades de armazenamento de água, quando a associadas a camadas que

retenham esta umidade, contudo podem gerar lixiviações de nitratos e outros íons (COSTA et al., 2018)

Todavia, é necessário levar em consideração que apesar de ser coerente com outras formas de avaliação, o método utilizado superestima os valores de VIB, o que pode ser explicado pela presença da carga d'água durante todo ensaio (SANTI et al., 2012; ZWIRTES et al., 2013). Entretanto, para os objetivos propostos nesta pesquisa o valor de VIB é utilizado para classificar quais dos tratamentos possui maior velocidade quando comparado aos outros, inferindo assim a respeito dos benefícios das rotações com adubos verdes.

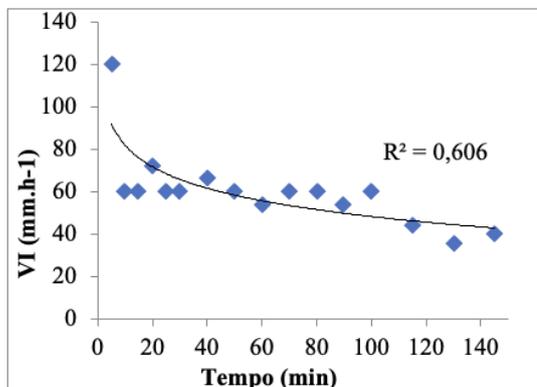
A Figura 4 apresenta os dados de velocidade de infiltração, equação de infiltração e equação de velocidade de infiltração encontrados ao longo da realização do experimento. Em todos os tratamentos o movimento inicial da água ocorreu com maior facilidade e rapidez sob o efeito gravitacional e a condição não saturada do solo. Oliveira; Silva e Melo (2020) afirmam que os solos mais arenosos também possuem menor superfície de contato, menor retenção inicial e conseqüentemente maior facilidade na redistribuição de água nas camadas de solo.

Notou-se que o processo de infiltração ocorre de forma desacelerada, iniciando sempre com uma velocidade muito alta que ao longo tempo, decresce e se torna constante. A diminuição da velocidade também é dada em função da ação do gradiente de carga de pressão gravitacional, que diminui ao longo do tempo tornando-se estável, estabilizando também a velocidade de infiltração se aproximando à condutividade hidráulica (SHAHIDIAN et al., 2017). Esta condição é muito importante, pois quando o solo se encontra saturado, não é possível manter a taxa de infiltração maior ou igual a intensidade da chuva (irrigação), excedendo assim a condutividade hidráulica e conseqüentemente gerando escoamento superficial (WANG et al., 2015). Há um

decréscimo mais rápido na velocidade de infiltração ao longo do tempo nos tratamentos sem rotação de adubos verdes

(Figuras 4C e 4D) e um valor entre as duas situações anteriores para os tratamentos em rotação com feijão guandu.

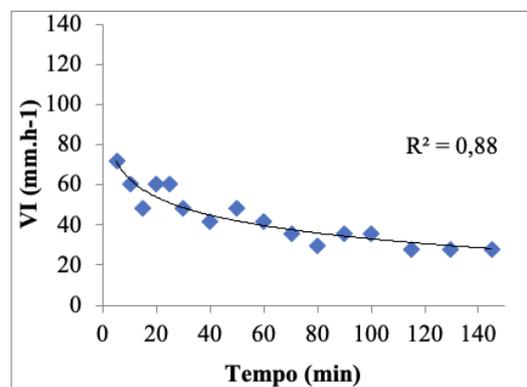
Figura 4. Velocidade de Infiltração (I) em solos cultivados com cana-de-açúcar em diferentes condições de rotação



$$I=2,36132t^{0,8148}$$

$$VI=1,92404t^{-0,185}$$

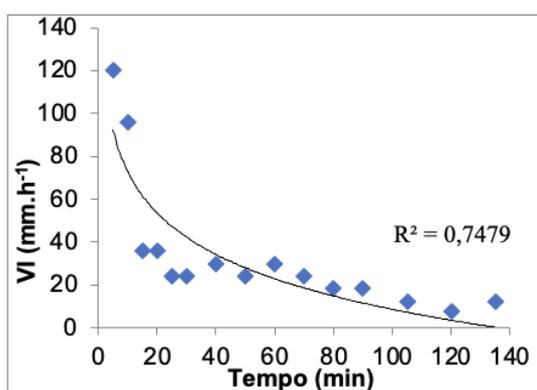
(a) Tratamento 1



$$I=2t^{0,8226}$$

$$VI=1t^{-0,177}$$

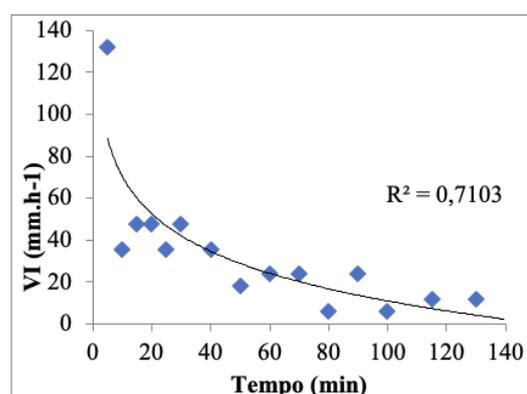
(b) Tratamento 2



$$I=4,88523t^{0,5211}$$

$$VI=2,54577t^{-0,479}$$

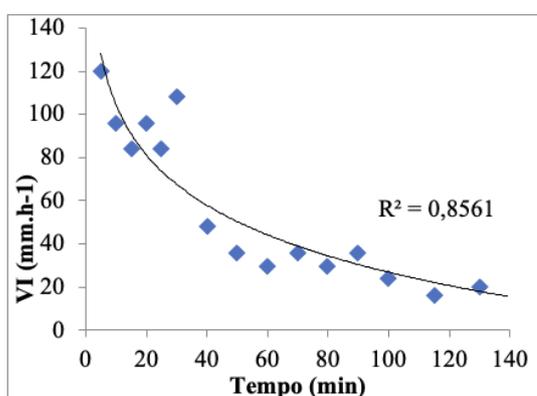
(c) Tratamento 3



$$I=4,4649t^{0,537}$$

$$VI=2,396t^{-0,46}$$

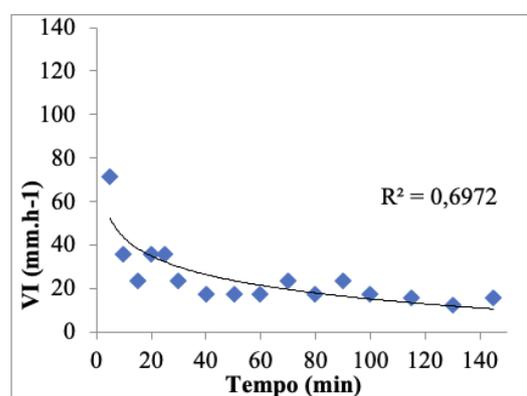
(d) Tratamento 4



$$I=4,0902t^{0,676}$$

$$VI=2,76376t^{-0,324}$$

(e) Tratamento 5



$$I=1,978463t^{0,657889}$$

$$VI=1,301609t^{-0,34211}$$

(f) Tratamento 6

T1: cana-de-açúcar plantada sobre a crotalária; T2: cana-de-açúcar plantada sobre o sorgo sacarino em rotação com crotalária; T3: cana-de-açúcar; T4: cana-de-açúcar plantada sobre o sorgo sacarino; T5: cana-de-açúcar plantada sobre o feijão guandu; T6: cana-de-açúcar plantada sobre sorgo sacarino em rotação com feijão guandu.

Fonte: Os autores.

Em relação ao ensaio de resistência a penetração (RP), observou-se na Tabela 2 que houve diferenças significativas entre as pressões necessárias para penetrar o solo das parcelas com adubos verdes (crotalária e feijão guandu) comparadas às que não tiveram, indicando que esses adubos verdes

possuem a capacidade de auxiliar na melhora da estrutura física do solo. Alguns estudos indicam que se associado a outras estratégias como a escarificação mecânica, a implantação de adubos verdes pode se tornar mais eficiente (POTT et al., 2019; SILVEIRA JUNIOR et al., 2012).

Tabela 2. Valores médios obtidos para pressão de penetração e profundidade da máxima pressão nas parcelas plantadas com cana-de-açúcar em diferentes situações de rotação, Cabrália Paulista – SP, Safra 2017

Adubos Verdes (A)	Pressão (kPa)	Profundidade da máx. pressão (cm)
Crotalária	3742,24 B	40,21 A
Sem Adubos verdes	4318,71 A	36,00 B
Guandu	3889,25 B	38,58 AB
DMS	385,26	3,22
Teste F	13,71**	4,87**
Sorgo Sacarino (B)		
Com	4040,32 A	38,36 A
Sem	4020,63 A	38,16 A
DMS	308,36	2,20
Teste F	0,02 ns	0,03 ns
CV%	23,17	17,41
Inter AxB	0,04 ns	2,60 ns

Letras diferentes diferenciam significativamente pelo teste de Tukey (5%). **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS – Desvio Mínimo Significativo. CV – Coeficiente de Variação

Fonte: Os autores.

Quanto à profundidade da máxima pressão, observou-se que as parcelas com adubos verdes obtiveram os maiores valores de profundidade quando comparados à parcela sem adubos verdes (Tabela 2). Sendo a profundidade efetiva do sistema radicular de uma planta, a profundidade onde se encontra 80% do sistema radicular da mesma (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). Souza et al. (2013) reportaram profundidade efetiva para a cultivar de cana-de-açúcar SP-903414 nos primeiros 40 cm para o tratamento não irrigado (sequeiro) em Piracicaba – SP, assim, a rotação com adubos verdes e, neste estudo, principalmente com crotalária pode

propiciar uma faixa de solo pouco compactada que compreenda a faixa da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar, evidenciada pelos menores valores de pressão e pela maior profundidade da máxima pressão. Não houve diferenças significativas pela utilização do sorgo sacarino, nem interação entre os fatores adubos verdes e sorgo sacarino.

Os adubos verdes implantados possuem raízes profundas com grande número de ramificações e capilares, atenuando a resistência à penetração, aumentando a VIB e, por conseguinte melhorando a condição hidráulica de

incorporação de água no solo. Pacheco et al. (2015), destacaram o alto volume radicular e a grande quantidade de fitomassa seca das raízes de crotalária, apontando o potencial que a mesma possui para melhorar as características físicas do solo, como o aumento da porosidade e melhora de sua capacidade hidráulica.

6 CONCLUSÕES

A rotação de culturas com adubos verdes pode influenciar significativamente na melhoria das características hidráulicas do solo. A crotalária, em especial, apresentou elevadas taxas de VIB, baixos índices de resistência a penetração e maiores profundidades da máxima pressão de penetração, indicando que a cultura pode ser uma estratégia promissora para a melhoria das características hidráulicas do solo. Esses resultados estão de acordo com estudos prévios que evidenciam a capacidade das adubações verdes de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A continuidade de estudos nessa área é fundamental para aprimorar o conhecimento sobre as interações entre as rotações de culturas e a qualidade do solo, visando o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes.

7 AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que apoiou financeiramente o desenvolvimento da pesquisa por meio do processo 461638/2014-2.

8 REFERÊNCIAS

AUNG, K.; JIANG, Y.; HE, S. Y. The role of water in plant-microbe interactions. **The Plant Journal**, Oxford, v. 93, n. 4, p. 771-780, Dec. 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012.

CANA DE AÇÚCAR. **Acompanhamento da Safra Brasileira: cana de açúcar**, Brasília, DF, v. 10, n. 4, p. 1-50, abril 2023. Safra 2022/2023, Quarto levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 2 maio 2023.

CHEN, G.; WEIL, R. R.; HILL, R. L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 61-69, 2014.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A.; SANTOS, V. S. Potential for aquifer contamination of anthropogenic activity in the recharge area of the Guarani Aquifer System, southeast of Brazil, **Groundwater for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 8, p. 10-23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X18300274?via%3Dihub>. Acesso em: 18 ago. 2022.

DAS, K.; BISWAKARMA, N.; ZHIIPAO, R.; KUMAR, A.; GHASAL, P. C.; POONIYA, V. Significance and Management of Green Manures. **Soil Health**, Cham, v. 59, p. 197-217, 2020.

- EBRAHIMIAN, H.; GHAFFARI, P.; GHAMESHLOU, A. N.; TABATABAEI, S.; DIZAJ, A. A. Extensive comparison of various infiltration estimation methods for furrow irrigation under different field conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 230, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105960>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419318748>. Acesso em: 10 ago. 2022.
- EHLERS, W.; GOSS, M. **Water dynamics in plant production**. 2nd. ed. London: CABI, 2016.
- EMYDIO, B. M. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino**. Campinas: Infobibos, 2010. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/sorgo/index.htm. Acesso em: 15 ago. 2022.
- FOK, Y. S. Derivation of lewis-kostiakov intake equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 112, n. 2, p. 164-171, 1986.
- GOMES, J.; BAJAY, M. M. Economicidade da idade de reforma de canaviais. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 9-22, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.3.9>. Disponível em: <https://revista.ipecege.org.br/Revista/article/view/124>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- LABEGALINI, N. S. Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 7-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v3i4.1102>. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1102>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 4, p. 577-581, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/VGYDfBgdbQhLrsFxp4pbq7C/?lang=pt>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- LOURENCETTI, A. J.; GOMES, K. N. A. E. S.; BRANCO, L. F. C. Técnicas facilitadoras de infiltração—sistemas de drenagem alternativos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 17572-17586, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-069>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8458>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- MARSHALL, M. W.; WILLIAMS, P.; NAFCHI, A. M.; MAJA, J. M.; PAYERO, J.; MUELLER, J.; KHALILIAN, A. Influence of tillage and deep rooted cool season cover crops on soil properties, pests, and yield responses in cotton. **Open Journal of Soil Science**, Wuhan, v. 6, n. 10, p. 149-158, 2016. DOI: [10.4236/ojss.2016.610015](https://scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=71151). Disponível em: <https://scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=71151>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- MAY, A.; MENDES, S. M.; SILVA, D. D.; PARRELLA, R. A. C.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; PACHECO, T. F.; AQUINO, L. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; KARAM, D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Soja, 2013.

- MOSSADEGHI-BJÖRKLUND, M.; JARVIS, N.; LARSBO, M.; FORKMAN, J.; KELLER, T. Effects of compaction on soil hydraulic properties, penetration resistance and water flow patterns at the soil profile scale. **Soil Use and Management**, London, v. 35, n. 3, p. 367-377, 2019.
- NETTO, A. M.; LIMA, L. J. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; ANGULO-JARAMILO, R. Caracterização hidrodinâmica e hidrodispersiva de um latossolo amarelo na microrregião do brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 86-96, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/YCBv4qZQWVXymmjkcTPWFGL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 59-67, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020148177>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ywkRF5fb4Cyt4bpPMh6wmm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. G. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 186-193, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p186-193>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/mXx78FscCySpv6hv5sm3LqF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- PACHECO, L. P.; SÃO MIGUEL, A. S. D. C.; BONFIN-SILVA, E. M.; SOUZA, E. D.; SILVA, F. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 467-472, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4538107>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/LcTKSpWFhySWrgZwPYpsPBF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- PEREIRA, D. C.; CARNEIRO, M. M.; GRYZAK, L.; PINTO, M. L. C. Estimativa da velocidade de infiltração básica em solos sob regeneração vegetativa. **Terr@ Plural**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 124-137, 2019. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/12174/pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- POTT, L. P.; AMADO, T. J. C.; LEAL, O. A.; CIAMPITTI, I. A. Mitigation of soil compaction for boosting crop productivity at varying yield environments in southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, New Jersey, v. 71, n. 9, p. 1157-1172, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12880>. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.12880>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- SANTI, A. L.; CARNEIRO, A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão. **Interciência**, Caracas, v. 37, n. 3, p. 204-208, 2012.
- SANTOS, I. L. N.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M.; SANTOS, K. V.; OLIVEIRA, D. T. B.; SOUZA, L. G.

- Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de crotalária. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 5, p. 925-934, 2016.
- SHAHIDIAN, S.; GUIMARAES, R. C.; RODRIGUES, C. M.; CHAMBEL, A.; ALEXANDRE, C. A.; SANTOS, F. L.; BASCH, G.; ANDRADE, J. A.; COELHO, R. **Hidrologia Agrícola**. Évora: ICAAM/Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, 2017.
- SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; CUNHA, E. S.; ROQUE, R. C.; ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B. Métodos para estimativa da infiltração de água em um latossolo sob plantio direto e convencional. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 10, n. 1, p. 169-176, 2017.
- SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012.
- SOUZA, D. L.; SANTOS, V. C.; SOUZA, S. L.; PEREIRA, S. B. L. **Resistência à penetração em latossolo amarelo dos tabuleiros costeiros, sob cobertura vegetal com leguminosas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013.
- VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADAO JUNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 243-255, 2015.
- VIANA, P. C.; LIMA, J. G. A.; ALVES, A. D. S.; LIMA, R. D. S.; MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, M. M. Determinação da velocidade de infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 25., 2015, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: UFS, 2015. p. 390-395.
- WANG, G.; FANG, Q.; WU, B.; YANG, H. XU, Z. Relationship between soil erodibility and modeled infiltration rate in different soils. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 528, p. 408-418, 2015.
- WICKRAMAARACHCHI, T. N.; VENUKANAN, T.; DILUCKSHANARAJ, R. Comparison of Experimentally and Theoretically Determined Infiltration in Coarse Textured Soil. **International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects**, Tehran, v. 31, n. 6, p. 886-893, 2018.
- ZACCHEO, P. V. C.; NEVES, C. S. V. J.; MARIANO, D. C.; ZORZENONI, T. O.; HIGASHIBARA, L. R.; PICCININ, G. G.; OKUMURA, R. S. Green manure in fruticulture: Aspects on soil quality and use in agriculture. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 11, n. 17, p. 1469-1474, 2016.
- ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 1, n. 34, p. 3489-3499, 2013.