



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

MONALIZA ARAÚJO DE SANTANA

**RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO
OBRIGATÓRIO**

Desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar em solos coesos em função da lâmina de
irrigação.

BACHARELADO EM AGRONOMIA



MONALIZA ARAÚJO DE SANTANA

**RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO
OBRIGATÓRIO**

Desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar em solos coesos em função da lâmina de irrigação.

BACHARELADO EM AGRONOMIA

Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório apresentado à Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

RELAÇÃO DE ESTÁGIO REALIZADO

NOME: Monaliza Araújo de Santana

MATRÍCULA: 200712284

CURSO: Bacharelado em Agronomia

ORIENTADOR: Prof. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

ESTABELECIMENTO DE ENSINO: Universidade Federal Rural de Pernambuco

ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO

LOCAL DE REALIZAÇÃO: Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina – EECAC

ENDEREÇO: Rua Ângela Cristina, S/N. Bairro Novo, Carpina – PE

PERÍODO: 09/2021 a 08/2022

CARGA HORÁRIA: 20h semanais

SUPERVISOR (A): Prof. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

RESUMO

O sistema radicular além de promover a sustentação, absorve água e nutrientes e transporta-os à planta. Características físicas do solo e disponibilidade de água influenciam diretamente o desenvolvimento da cultura. Além disso, fatores climáticos também têm limitado a produção sulcroalcooleira nos últimos anos, mostrando que a irrigação é fundamental para aumento da produtividade. O experimento visa avaliar o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar por meio do Sistema de Análise de Fibras e Raízes – Safira, observando a distribuição das raízes sob os tratamentos de irrigação pulsada e contínua, com vinte repetições cada, distribuídas em quatro blocos. Com a utilização do software obteve-se os dados de volume, área superficial e diâmetro das raízes, para desta forma indicar o melhor tratamento para diminuir a resistência do solo à penetração de raízes em virtude de sua característica de solo coeso. As raízes são expostas por meio de trincheiras com dimensões 30cm de largura por 40cm de comprimento, tornando possível o registro fotográfico, dessa forma foi possível obter resultados satisfatórios que nos mostra a variação de volume, área e diâmetro, para que se determine o tratamento que contribua para redução do impacto causado pela resistência do solo à penetração de raízes. O método utilizado para as leituras e análise das raízes não detectou diferenças significativas entre os tratamentos. O solo apresentou baixa resistência à penetração às raízes não trazendo prejuízos ao desenvolvimento radicular. A resistência à penetração às raízes para as condições trabalhadas aumentou ao longo da profundidade analisada.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
DESENVOLVIMENTO	7
REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
REFERÊNCIAS.....	15

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura de alta relevância em nosso país. A Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2021) em sua terceira estimativa, da safra 2021/22, que considera os efeitos climáticos como fator determinante na redução da safra 2021/2022 aponta para a redução na produção de cana-de-açúcar. O levantamento em comparação à temporada passada estima que sejam colhidas 568,4 milhões de toneladas, representando um volume de matéria-prima 13,2% menor em relação à safra 2020/21.

De acordo com Silva (2012) a cana possui raízes fasciculadas, podendo atingir até 4 m de profundidade sendo que, 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm e, aproximadamente, 60% entre os primeiros 20-30 cm de profundidade. Faroni (2004) justifica que as raízes de cana-soca são mais superficiais que as da cana planta, dessa forma, quanto maior número de cortes, mais superficial o sistema radicular se torna. Ainda segundo Faroni (2004), o estudo do sistema radicular deve ser baseado nas características das raízes, como por exemplo área, massa e diâmetro.

Giarola e Silva (2002) caracterizam solos coesos como: “materiais de solo que, quando secos, apresentam um incremento acentuado de resistência (a ponto de restringir o preparo do solo e o desenvolvimento das culturas), e se abrandam no momento em que são umedecidos”. Segundo Lira (2015) o solo de caráter coeso tem influência no desenvolvimento radicular; disponibilidade de água; aeração e absorção de nutrientes.

Soares e Costa (2009) caracteriza a irrigação por gotejamento como sendo a aplicação de água e de produtos químicos numa fração de volume de solo explorado pelas raízes das plantas. O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto (Lima et al., 1999).

Sabe-se que a irrigação localizada eleva a produção da planta, pois a água é aplicada diretamente na raiz, promovendo um menor desperdício dos recursos hídricos (Santos et. al, 2017). Andrade e Brito (2002) afirmam que não existe um sistema de irrigação ideal, que seja capaz de atender a todos os interesses, como por exemplo, clima, solo, características da cultura, entre outros.

Segundo Menezes (2018) a irrigação pulsada pode ser aplicada em qualquer método, porém é utilizada principalmente em irrigação por gotejamento. Zin El-Abedin (2006) afirma que fazer o manejo da irrigação por pulsos torna possível coincidi-la com a condutividade hidráulica do solo, ou seja, a facilidade com que a água se movimenta nele, dessa forma minimizando a percolação para além da zona radicular efetiva.

O Sistema de Análises de Fibras e Raízes – SAFIRA é um software desenvolvido pela EMBRAPA, que segundo Jorge e Rodrigues (2008), surgiu como um sucessor da ferramenta SIARCS. Sabe-se que as raízes são fundamentais no desenvolvimento da planta, absorção de água e nutrientes, além de promoverem a sustentação. Com isso, a análise do desenvolvimento radicular é necessária para que seja conhecida sua distribuição.

DESENVOLVIMENTO

O experimento é conduzido em condições de campo, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), localizada no município de Carpina-PE, a 56 km do Recife. Para esse projeto usou-se a variedade RB041443 no terceiro ciclo de cultivo (cana-soca), plantada em fileira dupla com espaçamento entre fileiras de 1,4m e entre as linhas da fileira 0,6m. Os tratamentos consistiram em formas de aplicação da lâmina de irrigação (por pulso e contínua). O delineamento é em blocos casualizados com dois tratamentos sendo vinte repetições cada, em quatro blocos, totalizando 40 parcelas experimentais. A aplicação por pulsos é dividida em quatro pulsos de irrigação com intervalo de 60 minutos. A aquisição de dados para esse projeto foi dada através do método do perfil de solo, que consiste em aberturas de trincheiras, o mais rente ao colo da planta possível, todavia evitando danificações à mesma.

O sistema de irrigação utilizado é o de gotejamento subsuperficial a uma profundidade de 0,20 m. As linhas laterais são compostas por tubos de polietileno de 16 mm, com emissores autocompensantes do tipo *in line* com pressão de serviço de 1 a 3 bar, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L h⁻¹). A irrigação em cada tratamento é realizada automaticamente por um controlador eletrônico do tipo Arduino, inserindo diariamente o tempo de irrigação de cada tratamento na programação para administrar a aplicação, utilizando uma válvula solenoide para acionar/desligar a irrigação. A obtenção do tempo de irrigação de cada tratamento é feita considerando-se a lâmina bruta de irrigação, obtida pela relação entre a taxa de evapotranspiração de cultivo (ET_c) em mm dia⁻¹ e a eficiência de aplicação do sistema de irrigação por gotejamento. O tempo de irrigação muda diariamente, com início às 06:00 horas e o término de acordo com a lâmina de irrigação diária.

As necessidades hídricas da cultura são expressas mediante a taxa de evapotranspiração de cultivo (ET_c) em mm dia⁻¹. O método utilizado para determinar a evapotranspiração é o tanque Classe A, para estimar a demanda evaporada no ambiente indiretamente (evaporação do tanque), o qual é multiplicado por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, K_p) a ser determinado para as

condições locais, considerando dados climáticos como umidade relativa e velocidade do vento (Doorenbos e Kassam, 2000; Bandeira et al., 2011).

Para obter a ET_c , multiplica a evapotranspiração (ET_o) de referência pelo coeficiente da cultura (K_c) e pelo coeficiente de localização (K_l). A lâmina bruta é determinada através da divisão entre a evapotranspiração do cultivo pela eficiência de aplicação. A eficiência de aplicação é relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor, em que de acordo com o teste de coeficiente de uniformidade (CUD) realizado em campo correspondeu a 93,24%. A intensidade de aplicação obtida através da divisão da vazão dos gotejadores pela distância entre eles, é de $0,98 \text{ mm h}^{-1}$. A análise digital do desenvolvimento radicular é realizada numa trincheira aberta no solo, para facilitar o registro das imagens. As fotografias digitais são tratadas para regular o contraste e brilho, convertendo-as para resolução máxima de $800 \times 600 \text{ px}$. Posteriormente, é utilizado o Sistema de Análise de Fibras e Raízes - SAFIRA, software da EMBRAPA para processamento das imagens e quantificação da densidade radicular, o programa analisa os registros fotográficos, determinando volume, área superficial e diâmetros.

A resistência do solo à penetração de raízes (RP) foi determinada *in situ* com o auxílio de um penetrômetro Solo Track (FALKER®, modelo PLG 5300), com aptidão eletrônica para aquisição de dados, trabalhando em velocidade de penetração constante, até a profundidade máxima de 0,4 m. Para o processamento dos dados de RP, foi utilizado o Software PenetroLOG. No momento da determinação da RP, coletou-se amostras de solo deformadas para determinação da umidade gravimétrica, uma vez que estas variáveis são interdependentes.

As análises são realizadas de maneira automática, onde as imagens são modificadas de acordo com as etapas para a obtenção dos dados de volume, área e diâmetro. A binarização (Figura 1A), tem por propósito distinguir os objetos da imagem do fundo da mesma (Jorge e Silva, 2010). O segundo passo do procedimento de análise (Figura 1B), indica as distâncias da parte central da raiz em relação à sua borda, ou seja, mostra as variações de diâmetros (Jorge e Silva, 2010). Em seguida têm-se a esqueletização das raízes (Figura 1C), onde são mostradas apenas as partes centrais das fibras. Por fim o Safira apresenta a imagem de coloração da raiz de acordo com os diâmetros encontrados (Figura 1D).

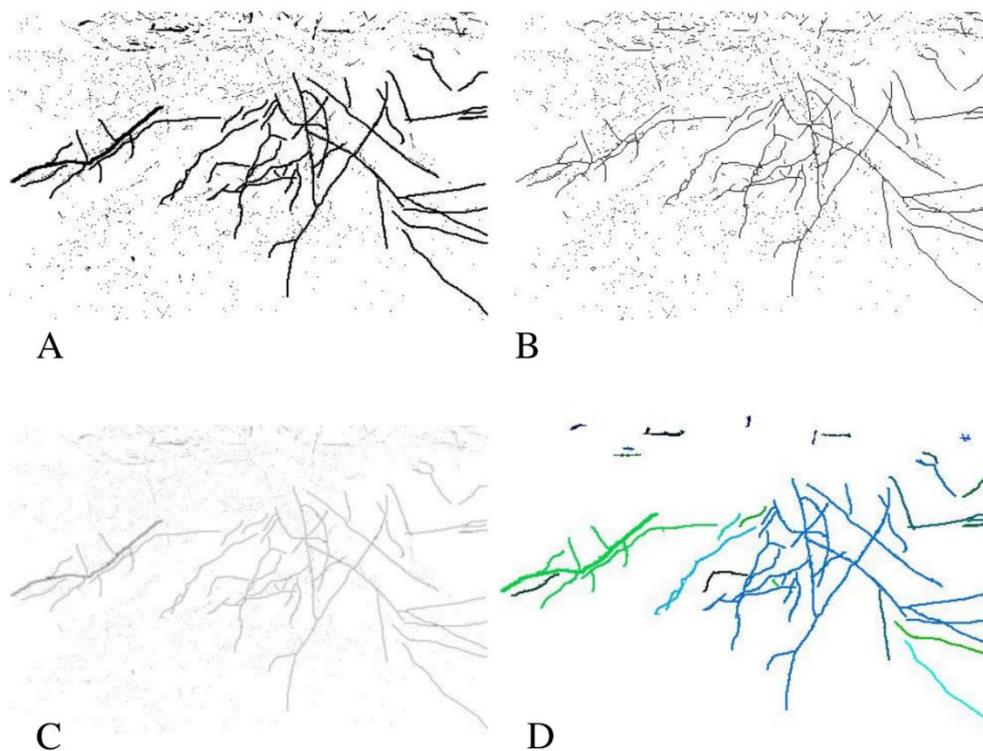


Figura 1: Procedimentos realizados pelo Safira. A) Binarização; B) Distância centro-borda da raiz; C) Esqueletização; D) Coloração dos diâmetros.

Os dados foram submetidos análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$), utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). No caso de efeito significativo, para comparar os tipos de aplicação de irrigação contínua e pulsada é aplicado o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

REFERENCIAL TEÓRICO

O software Safira, através do seu processamento de imagem, tornou possível a obtenção de dados do sistema radicular. Os resultados preliminares foram obtidos em dois momentos de leituras, com diferença de 15 dias entre eles.

Há poucos dados sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar em condições de campo, o que limita a comparação de dados com a literatura (OHASHI, 2014). Bohm (1979) estudou o sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos, são eles: da escavação, do monólito, do trado, do perfil e do tubo ou paredes de vidro. Esses estudos revelaram grande variabilidade nas características de raízes.

Neste experimento, os coeficientes de variação foram elevados. Segundo Pimentel-Gomes (1990) os valores de CV dão ideia de precisão do experimento, sendo os valores considerados baixos quando <10%, médios quando entre 10-20%, altos quando de 20-30% e muito altos quando superiores a 30%. Nesta análise obteve-se os seguintes valores: 35,83% para diâmetro, 124,90% para volume e 100,47% para área. A segunda leitura também apresentou coeficientes elevados, 16,44% para diâmetro, 72,16% para volume e 64,18% para área. Andrade (2011) verificou a distribuição radicular da cana-de-açúcar, em função da aplicação de gesso e em sua pesquisa obteve coeficientes de variação com valores de, 38,85% para diâmetro, 106,98% para volume e 50,13% para área, aos 150 dias de cultivo na profundidade de 0,0-0,30m.

De acordo com Andrade (2011) o método de análise pelo Safira verifica as raízes em um único plano, o que pode justificar elevados coeficientes de variação. Portanto, ao comparar os dados obtidos nesta pesquisa e os de Andrade (2011) pôde-se observar similaridade entre os resultados. Na tabela 1 apresenta-se os resultados das médias dos tratamentos, onde de acordo com o teste de F não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 1: Volume total de raízes (mm³), área superficial(mm²) e Diâmetro (mm), em função da aplicação de irrigação pulsada (IP) e contínua (IC) em cana-soca na profundidade de 0,0-0,40m.

Parâmetros	Primeira Leitura		Segunda Leitura		Terceira Leitura		Quarta Leitura	
	Irrigação Pulsada	Irrigação Contínua						
Volume (mm ³)	560a	412a	487a	475a	670a	659a	296a	358a
Área superficial (mm ²)	644a	520a	599a	589a	805a	722a	441a	500a
Diâmetro Ponderado (mm)	2,38a	1,97a	2,68a	2,55a	2,4a	2,78a	2,07a	2,18a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste F (P>0,05).

De acordo com Assis (2014), a resistência a penetração, depende de fatores como textura, estrutura e mineralogia do solo, e ainda é dependente da umidade presente no mesmo. Quando a umidade se encontra em baixas condições a resistência à penetração é maior. As tabelas 2 e 3 apresentam dados correspondentes à RP de um solo coeso com umidade média, pois segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo um solo ideal deve possuir 25% de água.

A resistência a penetração tende a aumentar significativamente em profundidade. No entanto, ao se comparar os valores da RP não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação pulsada e contínua.

Tabela 2: Resistência do solo à penetração de raízes, da cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação de irrigação pulsada e contínua na profundidade de 0,0-0,2m e 0,2-0,40m.

Camada	Resistência à Penetração (MPa)	
	IP	IC
0-0,2m	0,7a	0,67a
0,2-0,4m	1,23b	1,19b

Médias seguidas por letras diferentes na coluna possuem diferenças significativas pelo teste F ($P>0,05$). IP: Irrigação Pulsada; IC: Irrigação Contínua.

Tabela 3: Limites de classes de resistência de solos à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes (Ribeiro, 2006).

Classes	RP (MPa)	Limitações ao crescimento das raízes
Muito baixa	< 1,1	Sem limitação
Baixa	1,1 a 2,5	Pouca limitação
Média	2,6 a 5,0	Algumas limitações
Alta	5,1 a 10,0	Sérias limitações
Muito alta	10,1 a 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	> 15,0	Raízes não crescem

Com base na Tabela 3, é possível classificar o solo na camada 0,0-0,2m como resistência muito baixa onde não há limitação ao crescimento radicular, porém na camada 0,2-0,4m a resistência é baixa, gerando pouca limitação a esse sistema radicular, para ambos os tratamentos.

Assis et al. (2009) afirmam que em todos os solos há dependência da RP com o teor de água do solo, ou seja, à medida que se aumenta o teor de água, diminui-se a RP, e vice-versa. Na tabela 4

observa-se essa relação, uma vez que a umidade gravimétrica foi similar, os tratamentos promoveram também condições semelhantes de RP e de desenvolvimento radicular.

Tabela 4: Distribuição radicular em função da RP e umidade gravimétrica nas condições de campo.

Tratamentos	Área Superficial (mm ²)	Resistência à penetração (MPa)	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)
Irrigação Pulsada	441	0,96	0,126
Irrigação Contínua	500	0,92	0,125

As figuras 1 e 2 apresentam os valores médios obtidos para RP a cada 5 cm ao longo do perfil monitorado (0-40cm). Dessa forma é possível observar com maior clareza o aumento significativo da RP com a profundidade, conforme detectado pela análise estatística (Tabela 3).

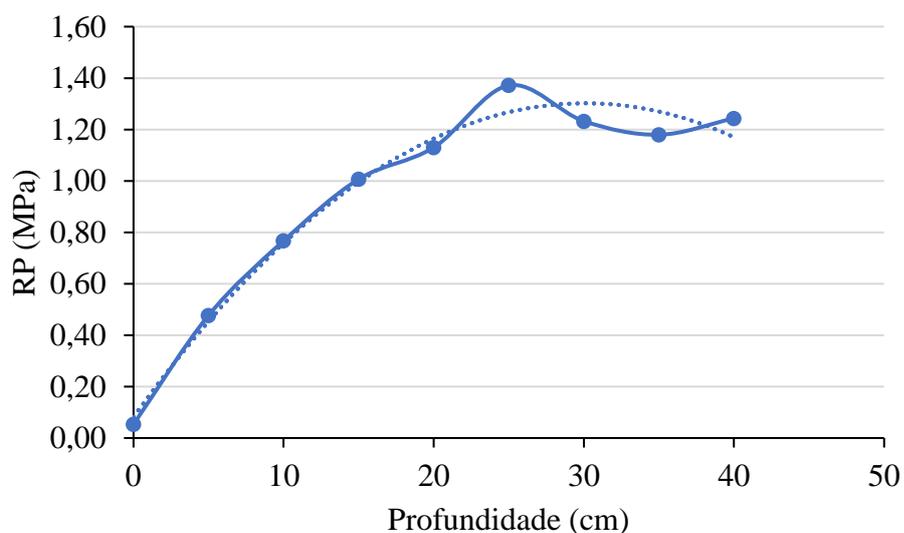


Figura 1: Resistência do solo à penetração de raízes de acordo com a profundidade para o tratamento com irrigação pulsada.

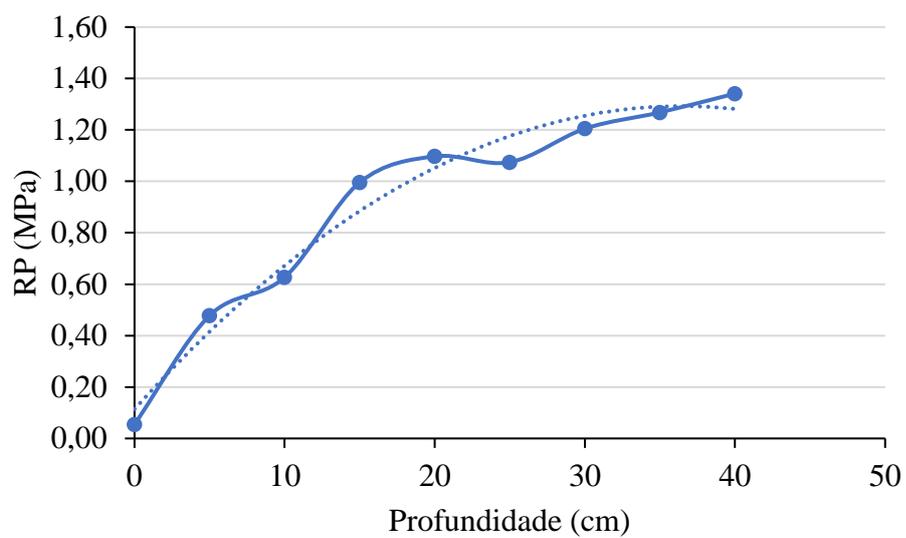


Figura 2: Resistência do solo à penetração de raízes de acordo com a profundidade para o tratamento com irrigação contínua.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, a análise de variância não apresentou diferença significativa entre os tratamentos contínuos e pulsados. O software Safira trouxe dados consistentes, mostrando-se satisfatório em suas informações de acordo com as comparações feitas. Os resultados obtidos para coeficiente de variação, apesar de elevados, encontram-se de acordo com a literatura para esse método. As variáveis estudadas neste experimento apresentam valores coerentes para o tempo de cultivo em que se encontram. O solo apresentou baixa resistência à penetração às raízes não trazendo prejuízos ao desenvolvimento radicular. A resistência à penetração às raízes para as condições trabalhadas aumentou ao longo da profundidade analisada.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, P. K. B. **Dinâmica de raízes da cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso mineral**. 2011. 110 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco. <http://santaines.ufrpe.br/pgs/portal.bak/files/dissertacoes/2011/PatriciaKarlaBatistadeAndrade.pdf>.
- ANDRADE, C. L. T.; BRITO R. A. L. **Métodos de Irrigação**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html. Acesso em: 14 abr. 2022
- ASSIS, Renato L. de et al. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 558-568, 2009.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**, v.8, n.3 - safra 2021/2022 – terceiro levantamento, Brasília, p.8, 2021. ISSN: 2318-7921.
- FARONI, C. E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 86 f. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. <https://doi.org/10.11606/D.11.2005.tde-06052005-134141>.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia agrícola**, v. 59, n. 3, p. 613-620, 2002.
- JORGE, L.A. de C.; RODRIGUES, A.F. de O. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. **Embrapa Instrumentação-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2008. 21 f.
- JORGE, L.A. de C.; SILVA, D.J. da C.B. Safira: Manual de utilização. **Embrapa Instrumentação-Livro científico (ALICE)**, 2010. 29 f.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. **O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM**, 1999.
- LIRA, R. A. **Efeito do Uso sobre a Coesão de Solo Cultivado com Cana-de-Açúcar em Tabuleiro Costeiro de Pernambuco**. 2015. 53 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/16623>
- NASCIMENTO, J. M. S.; SILVA A. C. C.; DIOTTO A. V.; LIMA L. A.; OLIVEIRA M. C. Irrigação por gotejamento subsuperficial e pulsos na produção de tomate de mesa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65903-65919, 2020.
- OHASHI, A. Y. P. **Crescimento e distribuição do sistema radicular de cultivares de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejamento subsuperficial**. 2014. 65 f. Dissertação de Mestrado – Instituto Agrônomo, Campinas. <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb164612.pdf>
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 13. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1990. 468p

RIBEIRO, A. I. et al. Análise da resistência mecânica a penetração do solo na avaliação de áreas em estágios avançado de recuperação. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**. 2013.

SANTOS, M. I. S.; BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C. Métodos de Irrigação na Produtividade da Cana-de-Açúcar. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 3. p. 109-117, 2017.

SOARES, J. M.; DA COSTA, F. F. Irrigação. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2009. 38 f.

ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. **Annual Conference of the Misr Society of Agronomic Engineering**, v. 23, p. 1032-1050, 2006.