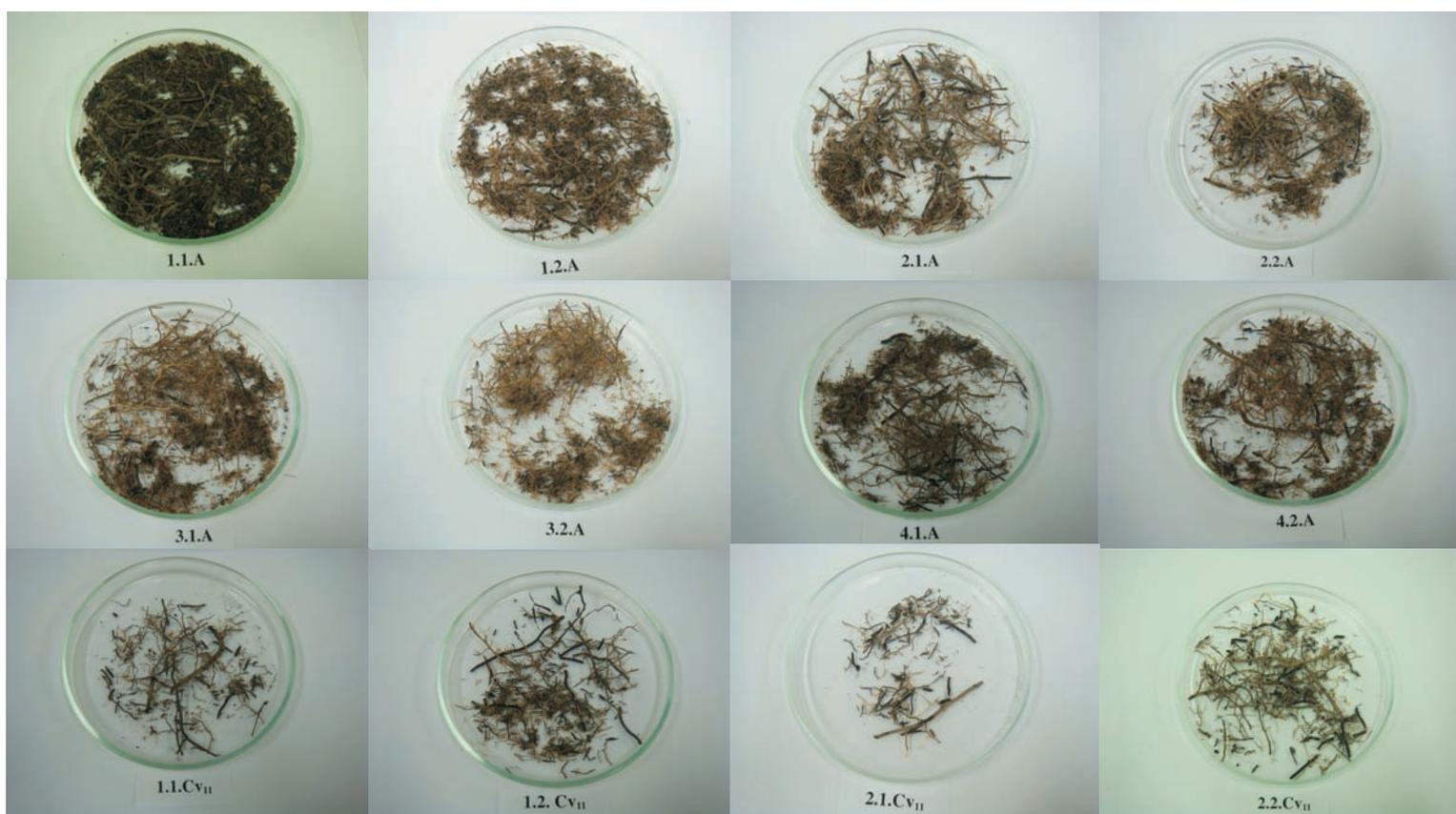


Avaliação do Sistema Radicular de Cana-de-Açúcar Cultivada em Vertissolos no Município de Juazeiro - BA





ISSN 1517-2627

Dezembro, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 151

Avaliação do Sistema Radicular de Cana-de-Açúcar Cultivada em Vertissolos no Município de Juazeiro - BA

*Fernando Cezar Saraiva do Amaral
Maurício Rizzato Coelho
Wenceslau Geraldes Teixeira
Sebastião Barreiros Calderano
Gilson Gregoris*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2012

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 - Jardim Botânico - Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274-5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Daniel Vidal Pérez

Secretário-Executivo: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Membros: Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Turetta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Ricardo Arcanjo de Lima*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Editoração eletrônica: Jacqueline Silva Rezende Mattos

2ª edição

E-book (2012)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

A485a Amaral, Fernando Cezar Saraiva do.

Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar cultivada em vertissolos no município de Juazeiro - BA / Fernando Cezar Saraiva do Amaral ... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2012.

31 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 151)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/> >.

Título da página da Web (acesso em 21 dez. 2012).

1. Cana-de-açúcar. 2. Vertissolos. 3. Sistema radicular. I. Coelho, Maurício Rizzato. II. Teixeira, Wenceslau Gerales. III. Calderano, Sebastião Barreiros. IV. Gregoris, Gilson. V. Título. VI. Série.

CDD (23.ed.) 631.4

© Embrapa 2012

Autores

Fernando Cezar Saraiva do Amaral

Pesquisador A Embrapa Solos.

E-mail: fernandocezar.amaral@embrapa.br

Maurício Rizzato Coelho

Pesquisador A Embrapa Solos.

E-mail: mauricio.coelho@embrapa.br

Wenceslau Geraldes Teixeira

Pesquisador A Embrapa Solos.

E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br

Sebastião Barreiros Calderano

Pesquisador B Embrapa Solos.

E-mail: sebastiao.calderano@embrapa.br

Gilson Gregoris

Assistente A Embrapa Solos.

E-mail: gilson.gregoris@embrapa.br

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Engenheiro Agrônomo Vinícius José Vieira, da Usina Agrovale, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Sumário

Introdução	9
Material e Métodos	11
Meio físico	11
Protocolo de amostragem e preparo das amostras no campo	16
Preparo das amostras no laboratório	18
Análises estatísticas	19
Resultados e Discussão	19
Conclusões	28
Referências	28

Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar cultivada em vertissolos no município de Juazeiro - BA

Fernando César Saraiva do Amaral

Maurício Rizzato Coelho

Wenceslau Geraldes Teixeira

Sebastião Barreiros Calderano

Gilson Gregoris

Introdução

Juazeiro (BA) é provavelmente o município com maior porcentual de ocorrência de solos da classe dos Vertissolos no Brasil. Dos 115.000 ha de extensão territorial mapeados no Vale do São Francisco com essa classe, 67.000 ha (58%) encontram-se nesse município. Desses, 9.500 ha são utilizados pela Usina Agrovale há mais de vinte anos, com cultivo, sobretudo, de cana-de-açúcar em sistema irrigado e com excelentes resultados, como afirmam Batista e Caldas Junior (1996). A referida Usina, área de estudo deste trabalho, está situada no pólo de irrigação Juazeiro-Petrolina, divisa entre os Estados da Bahia e Pernambuco. É considerado um dos mais avançados pólos de irrigação do Brasil, seja em uso de tecnologia, seja em produtividade, constituindo-se em um grande produtor e exportador de manga, uva, cana-de-açúcar e derivados (ITEM, 2005).

Apesar de Batista e Caldas Junior (1996) afirmarem que os resultados do cultivo de cana em Vertissolos são favoráveis, dados de longo prazo (mais de 10 anos) obtidos na Usina Agrovale (Vinícius Vieira, engenheiro agrônomo da Usina Agrovale; comunicado pessoal) evidenciam que as mesmas variedades exploradas sob condições similares de manejo apresentam produtividades em torno de 40% inferiores quando comparadas àquelas cultivadas em solos como os Argissolos, por exemplo, os quais, diferente dos Vertissolos, não apresentam restrições ao desenvolvimento radicular.

Estudos realizados com cana-de-açúcar cultivada em Vertissolo no Zimbábue, África, concluíram que os Vertissolos são potencialmente muito produtivos sob cana irrigada devido à sua grande disponibilidade de nutrientes e habilidade em reter água, tal como afirma Hussein (1998). O autor salienta que a produtividade da cana nesses solos, no entanto, pode ser muito variável e decrescer acentuadamente com o aumento do número de soqueiras. Esse declínio de produtividade possivelmente está relacionado a problemas relacionados à desagregação dos horizontes superficiais do solo, ao manejo incorreto da irrigação, o que pode resultar em lençol freático elevado e salinidade/sodicidade, à drenagem deficiente, à aeração restrita ou à compactação (HUSSEIN, 1998).

Vasconcelos e Garcia (2005) salientam que, dentre os atributos físicos, a densidade do solo é o que mais interfere no desenvolvimento radicular. Valores de $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$ para este atributo foram observados por Vasconcelos (2002) em trabalho realizado na região de Ribeirão Preto nos 0,20 m superficiais de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média cultivado com cana, e foram atribuídos ao tráfego intenso de máquinas na operação de colheita mecanizada. Apesar de Fernandes et al. (1983) argumentarem que a valores acima de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ as raízes não encontram boas condições para suprir a parte aérea das plantas com níveis satisfatórios de nutrientes, Vasconcelos & Garcia (2005) alertam que, para se determinar se a densidade é restritiva ao desenvolvimento da planta, é necessário conhecer o teor de argila do solo e o perfil de desenvolvimento radicular nas condições edafoclimáticas em que se cultiva o vegetal. Esses autores exemplificam: um Latossolo Vermelho com teor de argila próximo a 30%, sua densidade de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ seria baixa e não prejudicaria o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar.

Os Vertissolos, por outro lado, são solos naturalmente de elevada densidade do solo, apresentando reduzidas porosidade, permeabilidade e água disponível. Sua condutividade hidráulica saturada na região estudada é muito baixa, situando-se, no topo do horizonte Cv, em torno de 0,2 cm por dia sob áreas nativas e 0,3 cm por dia em áreas cultivadas e irrigadas com cana (AMARAL et al., 2007). Devido às condições naturais desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas cultivadas, alguns trabalhos têm mostrado a melhoria das

propriedades dos Vertissolos quando manejados de forma adequada. Segundo Murabak et al. (2005), práticas de longo prazo de preparo do terreno em Vertissolos do Sudão, África, reduziram significativamente a densidade do solo em relação aos valores em áreas de vegetação nativa, aumentando tanto sua porosidade total devido à desagregação e pulverização do solo, como a produtividade da cana-de-açúcar.

Observações de campo realizadas na área de estudo constataram que o sistema radicular da cana-de-açúcar nos Vertissolos explorados sob irrigação praticamente cessava seu crescimento ao redor de 0,20 m de profundidade, penetrando apenas superficialmente no horizonte vértico (Cv), adensado, de baixa macroporosidade e condutividade hidráulica e elevada resistência mecânica à penetração radicular (AMARAL et al., 2007). Tal horizonte geralmente inicia-se entre 0,06 e 0,10 m de profundidade na área de estudo (PRADO, 1999a).

Pesquisas com raízes, quando associadas aos fatores edafoclimáticos, são fundamentais para a otimização das práticas de fertilização, dos tratamentos culturais, da densidade de plantio e do manejo da irrigação, além de auxiliar no entendimento das relações entre a absorção de água e nutrientes para a cultura (ZONTA et al., 2006).

A fim de possibilitar um primeiro *insight*, simples e rápido para avaliar a hipótese de limitação ao crescimento das raízes de cana-de-açúcar pelo horizonte vértico, desenvolveu-se o presente trabalho. Para tal, amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 100 cm³ em diferentes profundidades na linha de plantio de um talhão de cana soca cultivado há aproximadamente 10 anos e irrigado por gotejamento subsuperficial, avaliando-se a massa seca de raízes.

Material e Métodos

Meio físico

O trabalho foi conduzido na Usina Agrovale, localizada no Projeto de Irrigação Tourão, município de Juazeiro, Estado da Bahia. Situa-se na coordenadas geográficas (UTM) 353.895 latitude sul e 8.948.964 longitude oeste (SAD69).

Este trabalho foi desenvolvido em um talhão denominado Dominicana, irrigado por gotejamento subsuperficial, mantendo inalterada a parte superficial do solo. A variedade de cana RB-92579 estava sendo cultivada a aproximadamente 10 anos na época de amostragem, com produtividade média de 110 toneladas por hectare (Vinícius Vieira, engenheiro agrônomo da Usina Agrovale; comunicado pessoal).

Segundo Prado (1999a), os Vertissolos da Usina Agrovale apresentam, de modo geral, os seguintes atributos morfológicos: o horizonte A é de textura argilosa ou muito argilosa, consistência úmida firme, sendo a molhada, plástica e pegajosa. O horizonte Cv apresenta "slickenside" nos agregados estruturais; estes constituídos predominantemente de blocos paralelepípedicos de tamanho grande. Sua textura é argilosa ou muito argilosa, consistência firme ou extremamente firme quando úmida, plástica e pegajosa quando molhada.

A distribuição de raízes da cana-de-açúcar em três trincheiras no talhão Dominicana foi a seguinte: abundantes entre 0,00 e 0,10 m de profundidade e poucas entre 0,10 e 0,30 m. No mesmo talhão o autor encontrou baixo e o menor conteúdo de água disponível dentre todas as amostras e solos analisados na Usina Agrovale: 16,69 mm nos 0,30 m superficiais do solo (PRADO, 1999b). Como atributos analíticos, destacam-se: são solos eutróficos, com elevados valores de saturação por bases (acima de 80%) e capacidade de troca catiônica da ordem de 40 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Podem apresentar caráter carbonático dentro de 1,0 m da superfície do solo.

A Tabela 1 mostra os resultados analíticos do perfil de Vertissolo descrito no município de Juazeiro durante a V Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamento de Solos (EMBRAPA, 1998). Optou-se por apresentar o perfil em questão e não aquele da própria Usina estudada e descrito por Prado (1999a), devido à existência de dados analíticos mais completos no primeiro, além de haverem similaridades analíticas e morfológicas entre os perfis de ambos os trabalhos. A Tabela 2 apresenta os dados morfológicos das minitrincheiras estudadas.

A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Salitre (CENTRO DE

ESTATÍSTICA E INFORMAÇÃO, 1986). Geologicamente é caracterizada pela predominância de calcários da Formação Caatinga, do período Quaternário. Trata-se de um calcário brando, maciço e muito compacto, caracterizando-se como um aquífero fraco a irregular (NEVES, 1972). Granitos, migmatitos e sedimentos fluviais holocênicos também foram identificados na área, conforme relatado por Prado (1999b).

A vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila arbóreo-arbustiva pouco densa, com predominância das seguintes espécies: favela (*Cnidoscolus phyllacanthus* - Euphorbiaceae), imburana-de-cambão (*Bursera leptophloeos* - Burseraceae), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* - Apocynaceae), pinhão bravo (*Jatropha pohliana* - Euphorbiaceae), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* - Anacardiaceae), umbuzeiro (*Spondias tuberosa* - Anacardiaceae), aroeira (*Myracrodon urundeuva* - Anacardiaceae), pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* - Caesalpiniaceae), mandacaru (*Cereus jamacaru*), malva (*Sida sp* - malvaceae), feijão brabo (*Capparis flexuosa* - Capparaceae) (EMBRAPA, 1998).

Segundo a classificação de Köppen, o clima de Juazeiro é do tipo BSW_h, semiárido bastante quente, com estação chuvosa no verão e temperatura do mês mais frio superior a 18° C (EMBRAPA, 1998). As normais mensais da temperatura média do ar no município variam de 24,4° C a 28,5° C, enquanto as de temperatura máxima e de mínima variam de 18,2° C e 22,1° C, evidenciando uma pequena amplitude térmica anual, atribuída à proximidade da região em relação ao equador terrestre. A precipitação média anual é da ordem de 529 mm, com período chuvoso concentrando-se entre os meses de novembro e abril, com 93% dos totais anuais (TEIXEIRA, 2010).

Tabela 1. Dados analíticos de um perfil de Vertissolo do município de Juazeiro (BA).

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P7 - V Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamentos de Solos (VRCC)

Amostra de Laboratório: nº: 97.1319/1323

Classificação segundo Embrapa (2006): VERTISSOLO HÁPLICO Ôrtico típico, textura argilosa, A moderado

Horizonte	Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg					Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade Mg/m ³		Porosidade cm ³ /100 cm ³
	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
Ap	0 - 6	0	2	980	140	120	190	550	480	13	0,35	1,42	2,44	42
Cv1	- 30	0	1	990	120	120	230	530	510	4	0,43	1,94	2,56	24
Cv2	- 80	0	1	990	110	110	230	550	470	14	0,42	1,94	2,56	24
Cv3	- 115	0	1	990	90	100	240	570	490	55	0,42	2,04	2,56	20
C/R	- 140	0	1	990	70	100	210	620	280	-	0,34	2,06	2,63	22
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol _e /kg							Valor V (sat. por bases) %	100.A ^{1/3} / (S + Al ³⁺) %	P assimilável mg/kg		
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H + Al				Valor T	
Ap	7,3	6,3	18,6	4,1	0,68	0,11	23,5	0	0,7	24,2	97	0	5	
Cv1	7,9	6,7	21,6	3,6	0,32	0,15	25,7	0	0,2	25,9	99	0	1	
Cv2	8,2	7,1	23,2	3,0	0,20	0,36	26,8	0	0	26,8	100	0	1	
Cv3	8,0	7,0	23,2	3,9	0,17	1,01	28,3	0	0	28,3	100	0	1	
C/R	7,7	7,1	24,3	4,0	0,17	1,46	29,9	0	0	29,9	100	0	1	
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (K)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
Ap	12,0	1,4	8	205	170	56	7,1	-	-	2,05	1,69	4,77	-	-
Cv1	5,4	0,8	7	207	179	58	7,3	-	-	1,97	1,63	4,85	-	4,5
Cv2	3,1	0,6	5	212	179	59	7,3	-	-	2,01	1,66	4,76	-	6,5
Cv3	3,1	0,5	6	203	191	62	7,6	-	-	1,81	1,50	4,84	-	1,0
C/R	2,5	0,4	6	177	193	65	7,7	-	-	1,56	1,28	4,66	-	8,0
Horizonte	100.N ^a /T %	Pasta saturada		Sais solúveis cmol _e /kg						Constantes hídras g/100g				
		C.E. do extrato mS/cm 25°C	Água %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Umidade		Água disponível máxima	
Ap	< 1										0,033 MPa	1,5 MPa		
Cv1	< 1													
Cv2	1													
Cv3	3	1,85	49			0,01	0,33							
C/R	4	5,28	52			0,01	1,00							

Fonte: Embrapa (1998).

Tabela 2. Dados morfológicos selecionados das minitrincheiras estudadas. Descritos segundo Santos et al. (2005).

Horizonte	Profundidade (m)	Raízes (quantidade)	Cor (úmida)	Textura de campo	Estrutura (grau, tamanho e tipo)	Consistência		
						Seca	Úmida	Molhada
Minitrincheira 1								
Ap	0,00 - 0,07	abundante	10YR 4/2	argilosa	moderada, média e pequena, granular	duro	firme	plástica e pegajosa
Cv1	0,07 - 0,31	pouca	2,5Y 4,4	argilosa	forte, grande e muito grande, prismática	muito duro	muito firme	muito plástica e muito pegajosa
Minitrincheira 2								
Ap	0,00 - 0,08	abundante	2,5Y 4/3	argilosa	moderada, média, granular	duro	firme	plástica e pegajosa
Cv1	0,08 - 0,28	pouca	2,5Y 4,4	argilosa	forte, grande e muito grande, prismática	muito duro	muito firme	muito plástica e muito pegajosa
Minitrincheira 3								
Ap	0,00 - 0,08	abundante	2,5Y 4/2	argilosa	moderada, média, granular	duro	firme	plástica e pegajosa
Cv1	0,08 - 0,30	pouca	2,5Y 4,4	argilosa	forte, grande e muito grande, prismática	muito duro	extremamente firme	muito plástica e muito pegajosa
Minitrincheira 4								
Ap	0,00 - 0,09	abundante	2,5Y 4/2	Argilosa	moderada, média, granular	duro	firme	plástica e pegajosa
Cv1	0,09 - 0,30	pouca a comum	2,5Y 4,4	Argilosa	forte, grande, prismática	muito duro	muito firme	muito plástica e muito pegajosa

Protocolo de amostragem e preparo das amostras no campo

A coleta das raízes foi realizada no dia 26 de setembro de 2008, quinze dias antes da colheita da cana-de-açúcar no talhão. Foram abertas quatro minitrincheiras de 0,40 m de profundidade, todas localizadas na mesma linha de plantio da cana e distanciadas entre si de três metros. Selecionou-se a sexta linha de plantio do talhão Dominicana, evitando, com isso, o efeito de borda. Em cada minitrincheira foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos de 100 cm³ (0,05 m de altura) em três profundidades, cuja relação com o tipo e posição de coleta no horizonte do solo está abaixo descrita:

- 0,00 a 0,05 m, correspondendo ao topo do horizonte Ap;
- 0,15 a 0,20 m, correspondendo ao topo do horizonte Cv1; doravante identificado como camada Cvtopo;
- 0,25 a 0,30 m, correspondendo à base do horizonte Cv1; doravante identificado como camada Cvbase.

Em cada profundidade foram coletadas duas amostras espaçadas entre si de aproximadamente 0,30 m. Assim, totalizaram-se 24 amostras (anéis) coletadas nas quatro minitrincheiras, em três diferentes profundidades e em duplicata para cada profundidade. As Figuras 1 e 2 mostram detalhes da coleta e preparação das amostras.

As amostras das profundidades de 0,00 a 0,05 m foram coletadas na superfície do solo após remoção das plantas de cana e limpeza da área, tal como mostra a Figura 1a. A seguir, aprofundou-se a minitrincheira até 0,05 m de profundidade e as amostras foram coletadas na base da mesma, após o que se deu continuidade ao seu aprofundamento até 0,25 m e coleta das amostras na base da minitrincheira (Figura 1b). As amostras de solos nos anéis foram cortadas com o uso de estilete, ajustando-as no nível do anel (Figura 2). As raízes mais grossas foram cortadas com tesoura.

Em cada minitrincheira, procedeu-se a separação dos horizontes e sua descrição morfológica após abertura da mesma até 0,40 m de profundidade a fim

de assegurar a relação entre as profundidades de coleta, o tipo de horizonte amostrado e a posição da amostra no horizonte. Observou-se uma grande homogeneidade morfológica, horizontal e vertical, dos horizontes entre e ao longo das minitrincheiras (Tabela 2).

(a)



(b)



Figura 1. Fotos mostrando: (a) superfície do solo preparada para obtenção da amostra superficial de 0,00 a 0,05 m de profundidade; (b) minitrincheira de 0,25 m de profundidade com os anéis em posição para serem coletados.



Figura 2. Detalhes da preparação da amostra obtida com anéis volumétricos de 100 cm³.

Preparo das amostras no laboratório

No laboratório, as amostras (Figura 3) foram removidas dos anéis e inseridas em cápsulas de porcelana, imergindo-a em solução de hexametáfosphato de sódio (3,57 %) tamponada a pH 7 com carbonato de sódio (Figura 4), conforme método de dispersão recomendado para solos calcários (EMBRAPA, 1997). Periodicamente, procedeu-se à agitação manual da suspensão com bastão de vidro para facilitar a individualização das raízes pela remoção de partículas de solos intimamente aderidas. As raízes foram coletadas das cápsulas de porcelana com o auxílio de pinça e espátula, transferidas para uma peneira, lavadas em água corrente e posteriormente dispostas para secagem em bandejas. Foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C durante 48h (FARONI, 2004). Após secagem, as amostras de raízes foram pesadas para quantificação da massa seca e estimativa da distribuição do sistema radicular nas diferentes profundidades avaliadas, sendo os resultados expressos em mg de raízes por 100 cm³ de massa de solo.



Figura 3. Sequência de fotos mostrando as amostras coletadas em anéis, tal como recebidas do campo, nas diferentes profundidades de uma mesma minitrincheira (minitrincheira 2): (a) amostra de horizonte superficial coletado entre 0,00 e 0,05 m de profundidade; (b) amostra coletada entre 0,15 e 0,20 m; e (c) amostra da base do horizonte Cv1, obtida entre 0,25 e 0,30 m de profundidade.



Figura 4. As mesmas amostras da Figura 3 imersas em solução de hexametáfosphato de sódio em cápsulas de porcelana. Observa-se as raízes na superfície da suspensão.

Análises estatísticas

Os dados da massa de raízes foram comparados entre os horizontes através de análise de variância (ANOVA) e teste de médias. Realizou-se a análise de normalidade e homogeneidade de variância pelos testes de Levene (mediana) e Shapiro Wilks, respectivamente. Para análise de variância, utilizou-se o proc (AOV) e o teste Tukey foi utilizado para discriminar as médias, sendo considerada diferenças significativas aquelas com valores de $p < 0,05$. As análises foram realizadas no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

Resultados e Discussão

Os dados de massa de raízes (Tabela 3) apresentaram homogeneidade de variância ($p > 0,241$) e normalidade ($p < 0,0001$), atendendo os pressupostos da ANOVA. A Figura 5 indica que há diferença significativa entre as camadas, a qual foi discriminada pelo Teste de Tukey, evidenciando que a massa das raízes da camada Ap (0,00-0,05 m) é superior àquela das camadas Cvtopo (0,15- 0,20 m) e Cvbase (0,25-0,30 m). Essas duas últimas, por sua vez, não diferem entre si a 5% de probabilidade (Figura 5). Além disso, há uma expressiva variabilidade da massa seca de raízes, sobretudo na camada Ap (0,00-0,05 m), tal como pode ser observado na Figura 6, a qual é evidenciada pela grande amplitude do intervalo de confiança desta última camada. As deficiências da metodologia aqui utilizada, amostrando-se um pequeno volume de solo (KÜCKE et al., 1995; VASCONCELOS et al., 2003; OTTO et al., 2009) associado à grande variabilidade espacial das raízes de cana (NOORDWUK, 1993), possivelmente são co-responsáveis por esses resultados.

Tabela 3. Massa seca de raízes (mg 100 cm⁻³) obtida em diferentes profundidades para a área de estudo. A identificação das amostras é feita com números e letras. O primeiro número corresponde à identificação da minitrincheira; o segundo à repetição; as letras referem-se ao horizonte e/ou a posição do horizonte onde as amostras foram coletadas.

Amostra (camada)	Profundidade (m)	Massa seca (mg 100cm⁻³)
Minitrincheira 1 – Repetição 1		
1.1.Ap	0,00 – 0,05	1682
1.1.Cvtopo	0,15 – 0,20	195
1.1.Cvbase	0,25 – 0,30	166
Minitrincheira 1 – Repetição 2		
1.2.Ap	0,00 – 0,05	674
1.2.Cvtopo	0,15 – 0,20	262
1.2.Cvbase	0,25 – 0,30	60
Minitrincheira 2 – Repetição 1		
2.1.Ap	0,00 – 0,05	684
2.1.Cvtopo	0,15 – 0,20	96
2.1.Cvbase	0,25 – 0,30	59
Minitrincheira 2 – Repetição 2		
2.2.Ap	0,00 – 0,05	489
2.2.Cvtopo	0,15 – 0,20	349
2.2.Cvbase	0,25 – 0,30	168
Minitrincheira 3 – Repetição 1		
3.1.Ap	0,00 – 0,05	477
3.1.Cvtopo	0,15 – 0,20	250
3.1.Cvbase	0,25 – 0,30	20
Minitrincheira 3 – Repetição 2		
3.2.Ap	0,00 – 0,05	513
3.2.Cvtopo	0,15 – 0,20	71
3.2.Cvbase	0,25 – 0,30	62
Minitrincheira 4 – Repetição 1		
4.1.Ap	0,00 – 0,05	420
4.1.Cvtopo	0,15 – 0,20	262
4.1.Cvbase	0,25 – 0,30	148
Minitrincheira 4 – Repetição 2		
4.2.Ap	0,00 – 0,05	653
4.2.Cvtopo	0,15 – 0,20	259
4.2.Cvbase	0,25 – 0,30	254

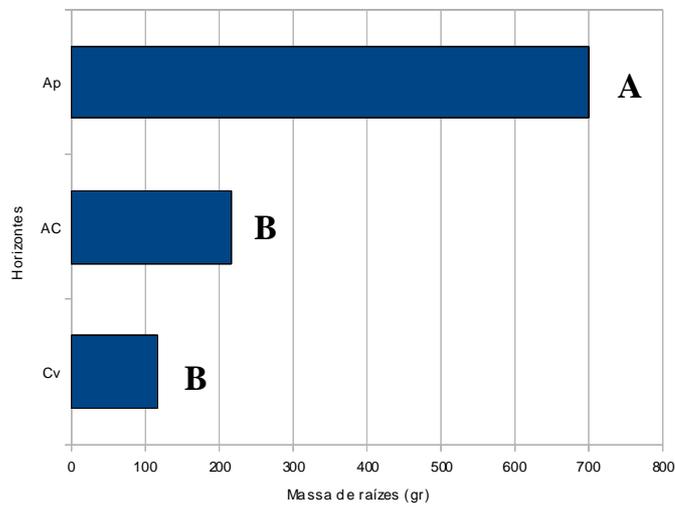


Figura 5. Distribuição média da massa seca das raízes de cana-de-açúcar nas camadas Ap (0,00-0,05 m), Cvtopo (0,15-0,20 m) e Cvbase (0,25-0,30 m). Letras diferentes representam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

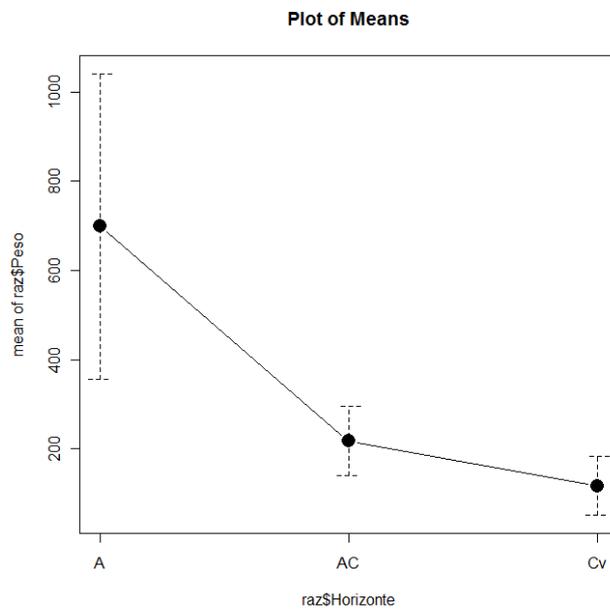


Figura 6. Média e intervalo de confiança dos valores médios de massa seca de raízes de cana-de-açúcar cultivada em Vertissolos nas camadas Ap (0,00-0,05 m), Cvtopo (0,15-0,20 m) e Cvbase (0,25-0,30 m).

De fato, Kücke et al. (1995) e Vasconcelos et al. (2003) ao compararem diferentes métodos na avaliação do sistema radicular em cana, afirmaram que o método do trado, o qual apresenta maior similaridade quanto ao volume amostrado em relação ao método aqui utilizado, mostrou grande e maior coeficiente de variação em relação ao método do monólito, considerado padrão na avaliação do desenvolvimento e distribuição do sistema radicular em cana-de-açúcar (FARONI, 2004). No entanto, Otto et al. (2009) não encontrou diferenças entre ambos os métodos, sugerindo que, além do método de amostragem, vários outros fatores interferem na avaliação da massa do sistema radicular das plantas, dentre deles os relacionados à própria cultura (estádio de desenvolvimento, variedade) e as condições edafoclimáticas onde se desenvolvem (VASCONCELOS et al., 2003). Esses fatos ajudam a corroborar a alta variabilidade dos resultados nos estudos que avaliam o sistema radicular em cana-de-açúcar, tal como encontramos aqui e como comentado por Otto et al. (2009), muitas vezes impossibilitando a comparação de resultados entre métodos (VASCONCELOS et al., 2003).

Apesar das diferenças deste estudo em relação a outros que avaliaram o sistema radicular de cana-de-açúcar, tais como nos trabalhos de Ball-Coelho et al., (1991), Vasconcelos et al. (2003), Faroni (2004) e Otto et al. (2009), seja em relação ao método adotado, seja considerando-se as condições edafoclimáticas, de uso e manejo dos solos e as peculiaridades da variedade estudada, os quais interferem nos resultados (VASCONCELOS et al., 2003), todos mostraram redução considerável da massa radicular da cana em profundidade e, para os trabalhos supracitados, a grande concentração nos primeiros 0,20 m superficiais. No presente estudo, 67,6%, em média, do total de raízes analisadas para todas profundidades localizaram-se na camada superficial do solo (0,00-0,05 m), havendo uma redução, em média, para 21,1% e 11,3%, respectivamente para as camadas de 0,15-0,20 m e 0,25-0,30 m. Faroni (2004), trabalhando com cana cultivada em Latossolos Vermelhos distróficos, encontrou que 74% das raízes de cana, em média, localizaram-se nos 0,20 m superficiais, corroborando os resultados de outras pesquisas. Ao contrário dos solos onde se desenvolveram a cana estudada por este autor, os aqui analisados apresentam severa restrição mecânica e, possivelmente, de água disponível ao desenvolvimento do sistema radicular

da cultura, concentrando-se predominantemente no horizonte superficial A, de melhores condições físicas em relação aos horizontes vérticos subjacentes (Tabela 2; EMBRAPA, 1998).

Observações visuais de campo em trincheiras e minitrincheiras e dados analíticos de perfis Vertissolos na região estudada ajudam a corroborar as assertivas anteriores. Por meio delas, constatou-se, em campo, uma quantidade descrita como abundante de raízes vivas entre 0,00–0,10 m de profundidade, pouca entre 0,10–0,30 m (Tabela 2) e ausente nas camadas mais profundas, também corroborando os resultados apresentados por Prado (1999b) para os Vertissolos da Usina Agrovale. Os dados analíticos de um Vertissolo descrito no município estudado (Tabela 1) mostram o aumento considerável de densidade do solo do horizonte A ($1,42 \text{ Mg m}^{-3}$), de apenas 0,06 m de espessura, para o Cv1 ($1,94 \text{ Mg m}^{-3}$), acompanhado da redução da porosidade total de 42 para $24 \text{ cm}^3 \text{ 100 cm}^3$. A esses dados somam-se as observações morfológicas de ambos os horizontes (A e Cv1) para o mesmo perfil (EMBRAPA, 1998) e para as minitrincheiras estudadas (Tabela 2): enquanto o horizonte A apresenta estrutura predominantemente granular de tamanho média e consistências seca e úmida descritas como dura e firme, respectivamente, o horizonte Cv1 imediatamente abaixo é de estrutura prismática grande e muito grande, sendo as mesmas consistências descritas como muito dura (seca) e muito firme (úmida), evidenciando o decréscimo das condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular nos horizontes vérticos Cv em relação ao superficial A.

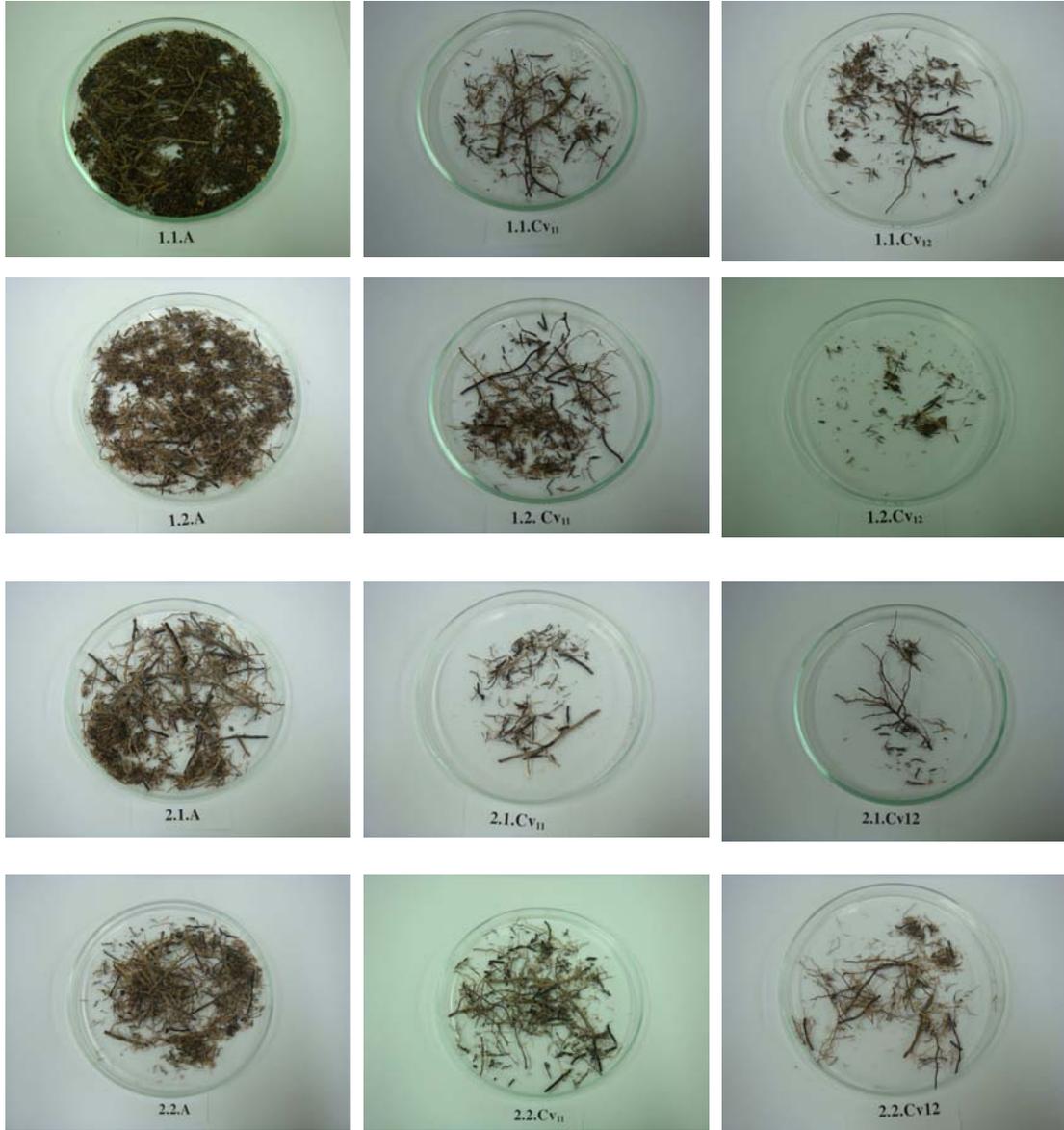
Vasconcelos e Garcia (2005) argumentam que o aumento na densidade do solo, fato comum entre os horizontes superficiais e subsuperficiais de Vertissolos, ocorre simultaneamente à redução da macroporosidade, redução da aeração, redução da condutividade hidráulica e gasosa e aumento da resistência à penetração radicular. Os autores identificaram que o valor de densidade do solo de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ foi crítica para o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar em solos com teor de argila em torno de 600 g/kg.

O horizonte A dos Vertissolos estudados geralmente alcança a profundidade entre 0,06 e 0,10 m da superfície do solo (PRADO, 1999a). Embora tenha-se

constatado a grande concentração de raízes na primeira camada, de 0,00-0,05 m (Figura 5) e, portanto, dentro do horizonte superficial A, há penetração e desenvolvimento radicular da cana na superfície do horizonte Cv, corroborando as observações de campo. Assim, as raízes de cana-de-açúcar cultivada em Vertissolos da Usina Agrovale e irrigada por gotejamento subsuperficial penetram no horizonte vértico, rompendo sua barreira física. Os dados da Tabela 3 evidenciam que a quantidade de raízes pode mesmo ser expressiva entre 0,25 e 0,30 m de profundidade, abaixo, no mínimo, 0,15 m do limite superior do horizonte vértico, tal como pode se observar analisando-se os dados de massa de raízes secas da minitrincheira 4. Esta camada concentra, aproximadamente, 22% da massa total de raízes observadas até 0,30 m de profundidade na referida minitrincheira, como se pode calcular dos dados contidos na Tabela 3 e visualmente observar na Figura 7.

Os resultados permitem indicar que: **(a)** a cana-de-açúcar cultivada nos Vertissolos nas condições estudadas apresenta seu sistema radicular praticamente restrito aos 0,30 m superficiais do solo, penetrando apenas no topo do horizonte vértico, o que a torna suscetível a tombamentos após ventos fortes devido ao pouco volume de solos explorado pelas raízes, fato comum na área; **(b)** praticamente seu desenvolvimento radicular concentra-se no horizonte superficial A, de melhores condições físicas advindas dos maiores conteúdos de matéria orgânica e da fração areia, da existência de autogranulação e com valores de condutividade hidráulica superiores ao topo do horizonte Cv, além de menores densidade do solo e resistência mecânica à penetração radicular (AMARAL et al., 2007). Essa assertiva é relevante tendo-se em vista que práticas do solo que melhorem a condutividade hidráulica e as qualidades físicas gerais dos horizontes vérticos dos Vertissolos estudados, possibilitarão maior retorno econômico às culturas neles cultivadas, melhorando seu potencial e avaliação para a agricultura irrigada; **(c)** as menores produtividades desses solos em relação a outros vizinhos que não apresentam impedimento mecânico à penetração radicular, tal como ocorre nos Argissolos da área de estudo e relatado por técnicos da Usina Agrovale, possivelmente está relacionada às consequências negativas impostas pela severa restrição física ao desenvolvimento radicular nos Vertissolos, já que esses são quimicamente mais férteis e não apresentam limitações de ordem química, tal como afir-

mam Amaral et al. (2007) em estudos realizados na área. Segundo os autores, os Vertissolos da Usina Agrovale explorados há mais de 23 anos com cana-de-açúcar não apresentam, de modo geral, problemas relativos à salinidade e/ou sodicidade, corroborando o trabalho de Prado (1999b); **(d)** apesar da restrição ao desenvolvimento radicular, a constatação de que em cana-de-açúcar irrigada por subsuperfície desenvolvem-se raízes abaixo do topo do Cv1, mesmo em pequena quantidade, comprova que, para a área estudada, a planta consegue romper essa severa barreira física imposta pela elevada densidade dos Vertissolos estudados. Possivelmente, esse fato está relacionado ao uso racional da água da irrigação, reduzindo a densidade do solo e resistência mecânica, e permitindo a manutenção de umidade constante no solo e mais adequada ao desenvolvimento radicular da cultura; e **(e)** a penetração radicular abaixo da camada arável (0,20 m de profundidade) para as condições de solo, uso e manejo estudados, atende ao que define o Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (AMARAL et al., 2005) com relação ao parâmetro profundidade da camada semipermeável (parâmetro "Z"), mesmo considerando solos como os aqui estudados, de mineralogia 2:1 e comportamento físico-químico peculiar. Neste contexto, os resultados aqui alcançados convergem para a interpretação de que os Vertissolos sob as condições estudadas são potencialmente aptos (com restrições) ao uso e manejo irrigados, segundo o referido Sistema.



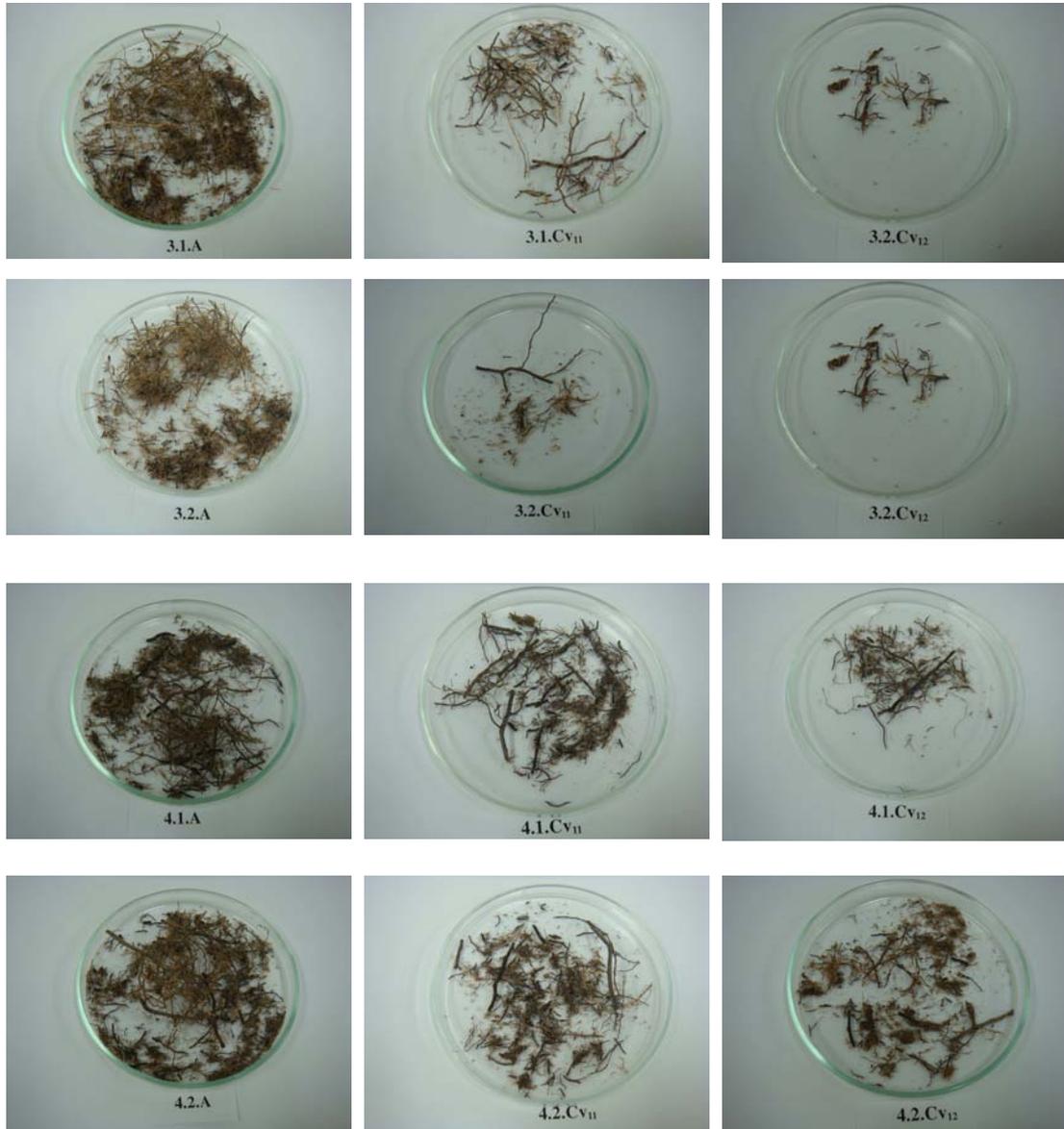


Figura 7. Prancha mostrando fotos de raízes secas dispostas em placa de petri, oriundas dos anéis coletados em duplicata para três profundidades (0,05 m, 0,15-0,20 m e 0,25-0,30 m) em 4 minitrincheiras na área de estudo. Para identificação das amostras recorrer à Tabela 3

Conclusões

Apesar das limitações do método de estudo aqui adotado para analisar o desenvolvimento radicular em cana-de-açúcar em Vertissolos, os resultados mostraram que o sistema radicular da planta concentra-se predominantemente no horizonte superficial A, possivelmente de melhor estrutura, porosidade (total e macroporosidade), aeração e menores densidade do solo e resistência mecânica em relação ao horizonte vértico subjacente, corroborando as observações de campo quanto ao perfil de desenvolvimento radicular da cana nas condições estudadas. Embora a massa de raízes secas reduziu substancialmente nesse horizonte, parte das raízes de cana consegue romper a forte limitação mecânica imposta pela elevada densidade dos solos, comum nos solos desta classe. Esse fato, o desenvolvimento radicular abaixo da camada arável (0,20 m), tem repercussão na classificação desses solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação e nas práticas de manejo da cultura.

Referências

- AMARAL, F. C. S. do (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218 p. Convênio Embrapa Solos / CODEVASF.
- AMARAL, F. C. S.; FERNANDES, L. A. C.; ARAÚJO FILHO, A. A.; VIEIRA, V. J. S.; FARIA JUNIOR, W. G. **Influência da irrigação na condutividade hidráulica de um Vertissolo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 35 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa 113).
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Root dynamic in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant Soil**, v. 142, p. 297-305, 1992.
- BATISTA, M. J.; CALDAS JUNIOR, W. Drenagem subterrânea de Vertissolo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1996.

CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÃO - CEI. **Avaliação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado da Bahia**: bacia do rio Salitre. Salvador, 1986. 2 v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **V Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamentos de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. CD ROM.

FARONI, C. E. **Sistema radicular da cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERNANDES, J.; RIPOLI, T. C.; MILLAN, M. A compactação do solo e a brotação das soqueiras. **Álcool e Açúcar**, v. 3, n. 12, p. 12-17, 1983.

HUSSEIN, J. Management and irrigation of Vertisols derived from basalts in Zimbabwe In: CLOWES, M. J. (Ed.). **Sugarcane growing and the sugar industry in Zimbabwe**. Chiredzi: Zimbabwe Sugar Association Experiment Station, 1998. 117 p.

ITEM: Irrigação e tecnologia moderna. Brasília, DF: ABID, n. 67, 2005. 98 p.

KÜCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant Soil**, v. 172, p. 63-71, 1995.

MURABAK, A. R.; ELSHAMIB, O. M. E.; AZHARI, A. A. Long- and short-term effects of cultivation on properties of a Vertisol under sugarcane plantation. **Soil tillage and Research**, v. 84, p. 1-6, 2005.

NEVES, B. B. de B. **Inventário hidrogeológico básico do Nordeste**: folha 24 – Aracajú-SO. Recife: SUDENE. 1972. 248 p. (hidrogeologia, 26).

NOORDWIJK, M. van. Roots: length, biomass, production and mortality. In: ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. (Ed.). **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1993. p. 132- 144.

OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 601-611, 2009.

PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado da Usina Agrovale S/A**. [Juazeiro], 1999a. 20 p. Relatório Técnico. v. 1.

PRADO, H. **Problemas específicos dos solos da Usina Agrovale S/A**. [Juazeiro], 1999b. 30 p. Relatório Técnico. v. 3.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 nov 2012.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

TEIXEIRA, A. H. C. **Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/ Juazeiro, BA – 1963 a 2009**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 21 p (Embrapa Semiárido. Documentos, 233).

VASCONCELOS, A. C. M. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. **STAB**, v. 21, p. 2-20, 2002.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 849-858, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Cana de açúcar: ambientes de produção. 1. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n. 110, 2005. Encarte técnico.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O. Sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 7-52.