

LUIS AUGUSTO DA SILVA DOMINGUES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E  
PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO EM  
ÁREAS DE RENOVAÇÃO E EXPANSÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana.

Co-orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer.

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

LUIS AUGUSTO DA SILVA DOMINGUES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E  
PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO EM  
ÁREAS DE RENOVAÇÃO E EXPANSÃO**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer (Co-orientador)	UFU
Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro	UFU
Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano Mello	UNESP
Dr. Mateus Carvalho Basílio de Azevedo	IAPAR

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana  
ICIAG/UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade da vida, da capacidade de raciocínio e aprendizado.

A Jesus Cristo, pelos exemplos seguros deixados entre nós, para que pudéssemos nos conduzir pelos caminhos da felicidade.

Aos meus amados pais, pelo amor, exemplo de conduta ética e constante incentivo ao aprimoramento intelectual.

Aos meus queridos irmãos, pelo constante apoio às decisões por mim tomadas.

A minha noiva, Greisse, pelo carinho, amor e paciência.

A professora Regina Maria Quintão Lana pela orientação e confiança.

Ao professor Gaspar Henrique Korndörfer pelos ensinamentos.

Aos membros da banca, Prof. Malcolm, Prof. Bruno e o Pesquisador Mateus pelas contribuições ao trabalho.

A professora Adriane pelo auxílio nas revisões e constante solicitude.

Aos colegas de Doutorado, Marcos Vieira, Emmerson Moraes, Lucélia Alves, e todos os outros que fizeram parte destes importantes anos de minha vida.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Solos, Manoel, Eduardo, Gilda, Marinho, e Andréia pelas orientações e auxílio na realização das análises.

Aos funcionários Usina Jalles Machado, Patrícia, Ivan, Vicente, Solimar, Márcio e tantos outros que contribuíram enormemente na condução e avaliação dos ensaios no campo.

A FAPEMIG pelo financiamento do projeto de pesquisa.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao ICIAG/UFU, pelo programa de Pós-Graduação.

Aos colegas professores do ICIAG, pela prazerosa convivência ao longo destes anos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
<b>CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA</b>	
1 Introdução.....	01
2 Revisão de Literatura.....	03
2.1. A cultura da cana-de-açúcar .....	03
2.2. Ambientes de produção.....	04
2.3. Expansão da cana no Cerrado.....	06
2.4. Manejo do solo.....	07
2.5. Sistema radicular da cana-de-açúcar.....	10
2.6. Referências .....	14
<b>CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO EM ÁREA DE RENOVAÇÃO</b>	
Resumo.....	18
Abstract.....	19
1. Introdução.....	20
2. Materiais e Métodos.....	22
3 Resultados e Discussões.....	30
3.1. Atributos físicos do solo.....	30

3.2. Desenvolvimento de raízes.....	35
3.3. Produtividade.....	42
4 Conclusões.....	49
5 Referências .....	50

**CAPÍTULO 3. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO EM ÁREA DE EXPANSÃO**

Resumo.....	57
Abstract.....	58
1 Introdução.....	59
2 Materiais e Métodos.....	61
3 Resultados e Discussões.....	69
3.1. Atributos físicos do solo.....	69
3.2. Desenvolvimento de raízes.....	73
3.3. Produtividade.....	80
4 Conclusões.....	86
5 Referências .....	87

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2.

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> - Caracterização química inicial do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, em abril de 2009, no Cerrado.....	22
<b>Tabela 2</b> - Granulometria do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, em abril de 2009, no Cerrado.....	22
<b>Tabela 3</b> - Macroporosidade, Microporosidade em área de renovação de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio de 2010, no Cerrado.....	30
<b>Tabela 4</b> - Porosidade total e densidade em área de renovação de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo e profundidades, em maio de 2010, no Cerrado.....	33
<b>Tabela 5</b> - Resistência do solo à penetração em diferentes preparos, em área de renovação de cana-de-açúcar, em fevereiro 2010, no Cerrado.....	34
<b>Tabela 6</b> - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita, em área de renovação de canavial sob diferentes preparos de solo na camada de de 0 - 0,8m, em maio de 2010, no Cerrado.....	36
<b>Tabela 7</b> - Atributos químicos do solo após a colheita da cana-de-açúcar em área de reforma, na profundidade de 0 a 0,20m, em maio de 2010, no Cerrado.....	37
<b>Tabela 8</b> - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) em cana-de-açúcar após a colheita, em área de renovação de canavial a diferentes profundidades, em maio de 2010, no Cerrado.....	38
<b>Tabela 9</b> - Valores médios (6 tratamentos e 4 repetições) de bases, fósforo, saturação por bases e por alumínio em solo submetido a diferentes preparos de solo em área de reforma de cana após sua colheita, em maio de 2010, no Cerrado .....	40

<b>Tabela 10</b> - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita, em área de renovação de canavial, em diferentes distâncias horizontais do sulco, em maio de 2010, no Cerrado.....	41
<b>Tabela 11</b> - Características agrônômicas da cana-de-açúcar submetida a diferentes preparos de solo, em área de renovação de canavial em Maio de 2010, no Cerrado.....	42

### **CAPÍTULO 3.**

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> - Caracterização química inicial do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, no Cerrado...	60
<b>Tabela 2</b> - Textura do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, no Cerrado.....	60
<b>Tabela 3</b> - Macroporosidade, microporosidade em área de expansão de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio 2010, no Cerrado.....	69
<b>Tabela 4</b> - Porosidade Total e densidade em área de expansão de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio de 2010, no Cerrado.	70
<b>Tabela 5</b> - Resistência à penetração do solo em diferentes preparos, em área de expansão de cana-de-açúcar, em fevereiro de 2010, no Cerrado.....	71
<b>Tabela 6</b> - Densidade de comprimento de raízes (DCR) ( $\text{cm cm}^{-3}$ ), distância média entre raízes (DMR) (cm) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) (%) de cana-de-açúcar após a colheita, em área de expansão de canavial sobre pastagem em diferentes preparos de solo, em maio 2010, no Cerrado, no perfil de 0 – 0,80 m.....	72
<b>Tabela 7</b> - Atributos químicos do solo após a colheita da cana em área de expansão, na profundidade de 0 a 0,20 m, em Maio de 2010, no Cerrado....	74
<b>Tabela 8</b> - Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm.cm}^{-3}$ ), distância média entre raízes (cm) e taxa de exploração do solo pelas raízes (%), média de seis tratamentos, em área de expansão de canavial a diferentes profundidades, em maio 2010, no Cerrado.....	75
<b>Tabela 9</b> - Valores médios (6 tratamentos e 4 repetições) de bases, fósforo, saturação por bases e por alumínio em solo submetido a diferentes preparos	76

de solo em área de expansão de cana após sua colheita, Maio 2010, no Cerrado.

**Tabela 10** - Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) (DCR), distância média entre raízes (cm) (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita em faixas verticais de 0,30 m, em área de expansão de cana sobre pasto em diferentes distâncias horizontais do sulco, em Maio de 2010, no Cerrado..... 77

**Tabela 11** - Características agronômicas da cana-de-açúcar submetida a diferentes preparos de solo, em área de expansão de canavial, em Maio de 2010, no Cerrado..... 79



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2.

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> - Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento..	23
<b>Figura 2</b> - Pluviometria durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010.....	23
<b>Figura 3</b> - Vista aérea do ensaio na área de reforma com destaque para os blocos e as parcelas.....	24
<b>Figura 4</b> – Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana planta a diferentes profundidades e submetido a diferentes preparos de solo..	39
<b>Figura 5</b> - Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana-planta a diferentes distâncias horizontais do sulco, submetido a diferentes preparos de solo.....	41
<b>Figura 6</b> - Produtividade de cana-de-açúcar em área de reforma submetida a diferentes formas de preparo de solo, no cerrado. em Maio de 2010, no Cerrado.....	44
<b>Figura 7</b> - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( r ) entre produtividade de cana (TCH) e diferentes variáveis. (A) – Resistência à penetração (B) – Densidade e comprimento do sistema radicular; (C) - Saturação por bases (Moraes, 2011); (D) -Teor de Cálcio no solo (Moraes, 2011); (E) – Macroporosidade.....	46

### CAPÍTULO 3.

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> - Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento. ....	61
<b>Figura 2</b> - Pluviometria média durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010.....	61

<b>Figura 3</b> - Vista aérea do ensaio na área de expansão com destaque para os blocos e as parcelas.....	62
<b>Figura 4</b> - Distribuição de raízes no perfil (1,5 m X 0,80m) : pontos de intesercção de raízes no plano no tratamento AVG (A); DCR agrupado por classes em malha 0,10 x 0,10 m no AVG(B); pontos de intesercção de raízes no plano no tratamento SU (C); DCR agrupado por classes em malha 0,10 x 0,10 m no SU (D), em Maio de 2010, no Cerrado.....	73
<b>Figura 5</b> – Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana-planta a diferentes profundidades e submetido a diferentes preparos de solo...	78
<b>Figura 6</b> - Produtividade de cana-de-açúcar em área de expansão submetida a diferentes formas de preparo de solo, em Maio de 2010, no Cerrado.....	80
<b>Figura 7</b> - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( r ) entre diferentes variáveis analisadas e a produtividade de cana (TCH).....	82
<b>Figura 8</b> - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( r ) entre diferentes variáveis analisadas e a produtividade de cana (TCH).....	83

DOMINGUES, LUIS AUGUSTO DA SILVA. **Atributos físicos do solo, desenvolvimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em preparos de solo em áreas de renovação e expansão.** 2012. 92 fls. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. <sup>1</sup>

## RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar têm-se expandido para a região do Cerrado, promovendo a ocupação de áreas exploradas por pastagens e lavouras. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho estudar os efeitos dos preparos de solo nos atributos físicos do solo, no desenvolvimento do sistema de raízes e na produtividade da cana-de-açúcar, em área de expansão e de renovação, no Cerrado brasileiro. O experimento foi conduzido em área de cana planta, entre o período de abril de 2009 e maio de 2010. Foram avaliados seis diferentes preparos de solo em cada área de estudo. Área de expansão: 1- arado aiveca + grade leve com dessecação (DAV); 2 - arado aiveca + grade leve sem dessecação (AVG); 3 - grade média + arado de aiveca + grade leve (PC); 4 - plantio direto (PD); 5 - subsolador (SU); 6 - grade média + arado de discos + grade leve (PCAd). Área de renovação: 1 - dessecação + arado aiveca + grade leve - (AVG), 2 - dessecação + plantio direto - (PD); 3 - dessecação + subsolador - (SU); 4 - subsolador + grade leve - (SUG); 5 - destruidor de soqueira + subsolador - (DsSU); 6 - destruidor de soqueira + grade média + arado de aiveca + grade leve - (DsPC). Os tratamentos foram implantados no momento da instalação do canavial, sendo que, em todas as parcelas, o plantio foi realizado de forma manual, após sulcação e adubação de plantio. O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi composta por 13 linhas de cana, espaçadas de 1,5 metros com 50 metros de comprimento. As avaliações dos atributos físicos do solo (macroporosidade, microporosidade, densidade) foram realizadas em três profundidades: 0 – 0,20m ; 0,20 – 0,40m; 0,40 – 0,60m após a colheita da cana, em maio de 2010. Neste período realizou-se também a avaliação das raízes utilizando o método da parede do perfil e contagem de intersecção de raízes e posterior cálculo da densidade de comprimento de raiz (DCR), através do programa Racine. Para as características agronômicas foram avaliados o número de colmo por metro, a altura e o diâmetro médio de colmos e a produtividade da cana. Tanto na área de expansão quanto na área de renovação os atributos físicos do solo, o desenvolvimento de raízes e a produtividade de cana, o plantio direto mostrou-se viável de ser adotado para cana de primeiro ano. Em camadas de solos mais férteis, como na área de renovação há um maior desenvolvimento do sistema radicular, neste caso na camada superficial até 0,20 m. O arado de aiveca em área de renovação de cana proporcionou a maior produtividade para cana planta em ambas as áreas estudadas.

**Palavras-chave: Saccharum officinarum, Sistema Radicular, Cerrado, Plantio Direto.**

<sup>1</sup> – Comitê Orientador: Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana (Orientadora – UFU) e Dr. Gaspar Henrique Kordörfer (Co-orientador – UFU).

DOMINGUES, LUIS AUGUSTO DA SILVA. **Soil physical attributes, root system development and sugarcane yield under different soil tillages at renew and expansion area.** 2012. 92 fls. Thesis (Doctoral Program in Agronomy/ Crop Science) Federal University of Uberlândia, Uberlândia. <sup>1</sup>

### ABSTRACT

The growing demand on renewable fuel, despite oil higher prices and pollutant power has promoted an increase on sugarcane's area in Brazil. Its expansion has been occurring preference at savannah's area occupying pasture and crop. In this context, the project was conducted with the purpose of studying different sugarcane environment production under six different soil tillage, and their effects on, soil physical attributes, root system development and sugarcane yield. The experiment was conducted at Brazilian savannah, from April 2009 through May 2010, in a pasture area and in a sugarcane renew field. There were assessed six different soil tillage in each production environment: 1 -drying + moldboard plough + harrow disk (DAVG); 2 - moldboard plough + harrow disk (AVG); 3 - intermediate harrow disk + moldboard plough + leveler harrow disk (PC); 4 - Zero Tillage (PD); 5- subsoiler (SU) 6 - intermediate harrow disk + disk plough + leveler harrow disk (PCAd) for the expansion environment, being the same ones at the other area but on the treatment 5 and 6 it was used ratton destroyer. The treatments were set prior to sugarcane planting, which was done after mechanical opening the groove for seedpiece deployment. The experimental design was a completely randomized with four replications. Each plot had 13 rows spaced of 1,5 m and 50 meters long. The soil physical attributes evaluated were: macro, micro and total porosity and soil bulk density at three depths: 0 – 0,20m ; 0,20 – 0,40m; 0,40 – 0,60m, on May 2010. Root evaluation was done after the sugarcane harvest using the profile wall and root counting, and by the use of Racine 2 software it was calculated the root length density. In each plot it was opened a trench with 1,5 m length by 0,90m depth. The results were compared between treatments, depth and horizontal distance from the plant. There were evaluated number of stems per meter, 5 middle rows and 30 meters, plant height and diameter, 10 plants, and yield of burned and manually harvested sugarcane, 5 middle rows and 50 meters. On both environment productions soil physical proprieties at zero tillage were similar to all treatments. At the renew area the depth of 0 – 0,20m presented highest values of RLD. The highest yield was found at moldboard plough areas, on both production environments.

**Keywords: Saccharum officinarum, Root System, Savannah, Zero tillage.**

<sup>1</sup> – Guidance Comitte: Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana (Adviser – UFU) and Dr. Gaspar Henrique Kordörfer (Co-adviser – UFU)

## **CAPÍTULO 1**

### **1. INTRODUÇÃO**

Relatórios do Painel Internacional para Mudanças Climáticas, órgão da Organização das Nações Unidas, publicados nos últimos anos, indicaram que a temperatura do planeta Terra vem se elevando, e que, segundo alguns estudiosos, essa elevação tem sido a responsável pelo acontecimento de grandes catástrofes naturais.

Dentre os fatores, apontados como responsáveis pelo aquecimento de nosso planeta, está à elevação do teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera, advindo principalmente da queima de florestas e do uso de combustíveis fósseis, dentre eles, o petróleo.

Os dados do relatório, aliados ao elevado preço do barril de petróleo e sua condição finita, despertou o interesse dos líderes mundiais pelos combustíveis oriundos de fontes renováveis, menos poluentes e que, podem ser produzidos enquanto houver demanda. Dentre as fontes renováveis de energia pode-se citar o etanol da cana-de-açúcar, etanol de milho e o biodiesel.

O Brasil, país onde, desde a década de 70 existem incentivos para o desenvolvimento de tecnologias para a produção do etanol de cana-de-açúcar, é hoje o maior produtor mundial deste produto. Graças às tecnologias desenvolvidas nestes últimos 40 anos, e à disponibilidade de terras agricultáveis, o país tem recebido grandes aportes de investimento, tanto nacional quanto internacional, os quais impulsionaram a expansão do cultivo de cana.

Com a ocupação de grande parte do território do Estado de São Paulo, maior estado produtor, as usinas e, conseqüentemente as áreas de plantio de cana, estão migrando para as regiões do Cerrado, onde há a ocorrência predominantemente de latossolos, ocupados com pasto ou lavoura de grãos.

Neste sentido, o desenvolvimento de novas tecnologias, que permitam a obtenção de elevadas produtividades, e materiais de boa qualidade, tem sido o foco da pesquisa.

Além disto, a forma mais eficiente de ocupação destas novas áreas do cerrado, também, vem sendo estudado.

Assim, o Brasil ocupa hoje importante posição quanto à produção de cana, pois detém área, tecnologia e profissionais capacitados. Entretanto, para manter-se nesta posição, fazem-se necessários, estudos mais abrangentes sobre o comportamento da cultura nestas novas áreas para as quais a expansão tem sido direcionada.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é cultivada em grande parte do território nacional desde sua implantação na época do Brasil colônia, tornando-se uma cultura de grande importância para o desenvolvimento do país. Hoje, a cana-de-açúcar tem função correlacionada não somente com o setor agrícola para a produção de açúcar, mas com grande participação na matriz energética brasileira, com potencial para atender a demanda crescente no mercado nacional e internacional (MORAES, 2011).

O agronegócio sucroenergético movimentava cerca de R\$ 56 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 2% do PIB nacional, além de ser um dos setores que mais emprega no país, com a geração de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, envolvendo mais de 72.000 agricultores (JORNAL DA CANA, 2011).

A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra (2011/2012), foi de 8.368.500 hectares, distribuída em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 53,60% (4.377,66 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,65% (706,58 mil hectares), Paraná com 7,51% (613,67 mil hectares), Goiás com 7,34% (599,31 mil hectares), Alagoas com 5,37% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,92% (401,81 mil hectares) e Pernambuco com 4,21% (343,51 mil hectares). A previsão do total de cana que será moída na safra 2010/11 é de 571,3 mil toneladas, com incremento de 7,8% em relação à safra 2009/10 (CONAB, 2011).

Nas próximas quatro décadas, para atender o aumento na demanda de alimentos em resposta a uma crescente população, mais urbana e de maior renda, será necessário aumentar a produção agrícola em pelo menos 50% frente aos níveis atuais (SOUTHGATE et al., 2007). Paralelamente, questões ambientais, como reduzir as emissões de gases do efeito estufa e políticas relacionadas à produção de energia crescem em importância e aumentam a demanda por biocombustíveis, alterando, conseqüentemente, a dinâmica de uso da terra. Azar & Larson (2000) indicaram que em meados do século XXI a área destinada à produção de bioenergia poderá atingir 0,4 a 1,0 bilhões de hectares, sinalizando

significativa pressão pelo uso da terra, haja vista que a área atual destinada à produção de alimentos é da ordem de 1,5 bilhão de hectares.

Aumentar a oferta energética por meio de tecnologias mais limpa, e a preços competitivos é passo prioritário para garantir o desenvolvimento em bases sustentáveis.

De acordo com Orlando Filho et al. (1994), a produtividade da cana-de-açúcar é regulada por diversos fatores de produção, dentre os quais se destacam: planta (variedade), solo (propriedades químicas, físicas e biológicas), clima (umidade, temperatura, insolação), práticas culturais (controle da erosão, plantio, erradicação de plantas invasoras, descompactação do solo), controle de pragas, doenças e colheita (maturação, corte, carregamento e transporte). Considerando-se a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar dentro deste contexto, pode-se dizer que sua eficiência no incremento da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste dos fatores de produtividade.

Segundo Vitti e Mazza (2002), o planejamento das atividades envolvidas com a cultura da cana-de-açúcar, desde o plantio até sua colheita, é uma etapa extremamente importante na sua exploração econômica. Atualmente, estudos e avaliações de sistemas de cultivo de cana-de-açúcar devem objetivar a análise de todos os componentes de produção, inclusive aqueles envolvidos com os custos de implantação.

A partir do século XXI, a expansão da cultura de cana-de-açúcar, em razão dos novos cenários, é uma assertiva incontestável, principalmente tendo em vista o aumento do consumo mundial do etanol de cana, a preocupação com o meio ambiente, a co-geração de energia via queima do bagaço e palha, dentre outros (FIGUEIREDO, 2008).

## 2.2 – Ambientes de Produção

A cana-de-açúcar, tradicionalmente cultivada desde a latitude 35° N a 35° S, com uma larga escala de adaptação, vem enfrentando grandes desafios tecnológicos, em virtude da expansão de sua área de cultivo para atender os programas de energia renovável (BRUNINI, 2008). Desta maneira esforços têm sido empregados para a melhor caracterização das suas exigências em termos de clima, fertilidade e manejo de solos.

Dentre as áreas indicadas para a expansão da cana-de-açúcar pelo Zoneamento Agroecológico da cultura, estão aquelas atualmente em produção agrícola intensiva,



produção agrícola semi-intensiva, lavouras especiais (perenes, anuais) e pastagens (MANZATTO et al., 2009).

Os ambientes de produção da cana-de-açúcar levam em consideração as características dos solos com as condições climáticas e de manejo, cuja interação permite estimar o potencial de produtividade da planta (PRADO, 2011).

Para Prado et al. (2008), o ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, associadas com as condições de subsuperfície e ao clima regional. Segundo os autores, o ambiente de produção é a soma das interações dos atributos de superfície e , principalmente, de subsuperfície dos diversos solos.

Prado et al. (2008) citam os principais componentes dos ambientes de produção: profundidade, que tem direta relação com a disponibilidade de água e com o volume de solo explorado pelas raízes, fertilidade e textura. Assim, o ambiente de produção de expansão de cana sobre área de pastagem difere do ambiente sobre área de renovação de canavial, principalmente, no aspecto da fertilidade devido às práticas de correção e adubação serem diferentes entre elas. Também podem diferir em profundidade, pois pode haver camada compactada em profundidade, ao longo do perfil do solo.

Prado (2007) faz uma proposição de 10 diferentes ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar considerando a capacidade de armazenamento de água no solo, a capacidade de troca catiônica (CTC) na camada arável e a química na subsuperfície, se eutroférico, eutrófico, etc. Para cada ambiente, considera uma produtividade média de cinco safras, variando de mais de 100 toneladas de colmo por hectare (TCH) até menos de 68.

Em agricultura, a produtividade depende da interação dos fatores genéticos da planta, do clima e solo do local considerado, sob o manejo antrópico. Ante a globalização, é cada vez mais premente a necessidade de se obterem maiores produtividades, a custos menores. Assim, torna-se primordial a caracterização mais detalhada possível do ambiente em que a cultura em exploração se insere, bem como a resultante interação genótipo-ambiente. Cabe, portanto, ao setor de ciência e tecnologia de qualquer instituição direcionar

seus estudos para caracterizar a resposta específica de variedades aos elementos meteorológicos e de solo da região considerada (DIAS et al. 1999).

O solo é componente de um conjunto complexo de fatores de produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. Portanto, o conhecimento das características inerentes a cada solo, os chamados fatores edáficos, é importante para julgar o potencial de produção agrícola (LEPSCH, 1987). Todavia, por ser uma planta rústica, a cana desenvolve-se bem em, praticamente, diversos tipos de solo. Para o bom desempenho da cultura, recomenda-se evitar solos com profundidade efetiva inferior a 1,0 m; com lençol freático elevado e má drenagem; excessivamente argilosos ou arenosos; excessivamente declivosos (DONZELI e KOFFLER, 1987). Terrenos com declives maiores que 15% podem trazer limitações quanto ao uso de máquinas agrícolas (ANDRADE, 2001).

Prado et al. (2011), avaliando a produtividade de cana em dois ambientes de produção distintos, Goianésia-GO e Ribeirão Preto-SP, sendo em ambos os locais um latossolo vermelho acriférrico. Os autores encontraram uma diferença de produtividade na média de 15 ensaios para Goianésia e 30 para Ribeirão Preto, de 17% para menos nas áreas de Goiás, devido à irregularidade na distribuição das chuvas quando comparada à região do interior de São Paulo.

### 2.3 - Expansão da cana no Cerrado

Estudos recentes demonstram uma proteção dos biomas Amazônia e Pantanal, em relação à expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Estes estudos apontam as áreas de pastagens, em particular aquelas degradadas, como as melhores para a expansão da cultura (NOTÍCIAS DA AMAZÔNIA, 2011). Por outro lado, e tendo em vista que a produção de cana-de-açúcar encontra-se praticamente consolidada na região Sudeste do país, uma das áreas preferenciais para esta expansão é a região Centro-Oeste, onde se concentra grande parte do bioma Cerrado, um dos 34 “hotspots” de biodiversidade no Planeta (MYERS et al., 2000 citado por RIBEIRO et al., 2009).

Para Castro et al. (2007), o Cerrado, que abrange aproximadamente 24% do território nacional, passou a ser utilizado extensamente por atividades agropecuárias a partir da década de 70, por ser a última fronteira agrícola do país, o que foi possível graças aos

incentivos governamentais. A expansão da cultura da cana nesta região tem substituído outras culturas, como soja, milho que já haviam convertido áreas de pastagem em plantações. Assim, é notório que essa expansão vem adentrando o Centro-Oeste brasileiro de forma intensa.

No Cerrado Brasileiro, as regiões que deram abertura à chegada das plantações de cana-de-açúcar originalmente abrigavam culturas anuais e pastagem. Iniciou-se uma alteração nesta forma de ocupação no início do século XXI devido à forte queda dos preços dos grãos (ALVES, 2009).

A região centro-sul do Brasil é responsável por quase 85% da produção nacional de cana, tendo potencial de expansão dessa atividade que tende a crescer ainda mais. Historicamente, os investimentos para essa expansão se restringiam ao estado de São Paulo, entretanto novas fronteiras surgiram, principalmente, ocupando áreas em Minas Gerais e Goiás, estados que mais crescem na produção nacional. As Usinas estão se instalando no interior do estado, forçando uma expansão da cana-de-açúcar, em áreas até então ocupadas por produção de grãos e criação de gado.

#### 2.4 – Manejo do solo

A longevidade de um canavial está diretamente relacionada com seu sistema de cultivo. Solos com boas propriedades químicas, físicas e biológicas aliadas a um programa de manejo de fertilidade do solo e estratégias de manejo diferenciadas, como cultivo mínimo, manutenção da palhada, gradagem e subsolagem, podem proporcionar canaviais mais produtivos e duradouros. Existem usinas que realizam mais de 10 cortes numa mesma área. Diversos fatores se correlacionam com as exigências do cultivo da cana-de-açúcar, como o clima, solo, fertilidade, nutrição de plantas, preparo da área, entre outros (MORAES, 2011).

A mecanização dos canaviais está ligada à tentativa de manter a fertilidade dos solos cultivados, e tem relação estreita com a expansão da agroindústria sucroalcooleira (AZEVEDO, 2008). O uso de máquinas e implementos possibilitou cultivar áreas extensas, com grande revolvimento da camada arável do solo, otimizando o crescimento, e desenvolvimento das plantas em curto prazo (PRADO; CENTURION, 2001). Porém, ao

longo dos anos, algumas destas práticas, realizadas indiscriminadamente, se revelaram nocivas ao solo.

O preparo do solo é uma etapa importantíssima no planejamento de um canavial. É impossível obter altos rendimentos se as raízes não encontram as condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento. Para isso, é preciso garantir condições físicas do solo satisfatórias, e que os nutrientes e a umidade não sejam fatores limitantes. O manejo da compactação deve proporcionar um ambiente adequado, tanto para o crescimento da planta, quanto para a conservação do solo e da água, e também para o deslocamento das equipes de trabalho (HELFGOTT, 1997).

O preparo inicial do solo ocasiona mudanças nas propriedades físicas, como a densidade do solo, decorrente da modificação da sua estrutura (KLEIN; LIBARDI, 2002), também afetando as qualidades físico-hídricas fundamentais, como porosidade, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998), resultando em decréscimo na produtividade.

A mudança nas propriedades físicas do solo em decorrência do uso de máquinas e implementos utilizados nas práticas tradicionais de plantio e cultivo tem evidenciado a necessidade de uma nova abordagem sobre o manejo diferenciado da fertilidade do solo na cultura da cana-de-açúcar, uma vez que os efeitos físicos acabam assumindo uma grande importância, decorrentes dessas práticas de manejo (TAVARES FILHO et al. 1999).

A adoção de sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo, que mantêm em superfície os resíduos de culturas de cobertura, tem sido preconizada por constituírem uma alternativa tecnicamente viável para a cultura (OLIVEIRA et al. 2001).

Para a implantação ou a reforma das lavouras de cana-de-açúcar, geralmente, realizam-se diversas operações, que mobilizam o solo com o uso de grades, arados, escarificadores e subsoladores, a fim de criar condições físicas e químicas ideais para o desenvolvimento da cultura, potencializando o crescimento da planta e obtendo boas produtividades (CEDDIA et al. 1999).

Estudos mostram que a descompactação do solo em subsuperfície possibilita incrementos de profundidades em virtude do melhor desenvolvimento radicular. Por outro lado, a prática do plantio direto também torna-se viável em função do não revolvimento do solo que é importante para evitar erosões, preservar a biota do solo, além do principal fator

que é o econômico. É verdade que o preparo do solo utilizando grades e arados pesados em curto prazo proporcionam maiores produtividades, porém é mais oneroso e destrutivo. Portanto, deve-se buscar alternativas viáveis técnica e economicamente.

De acordo com Mellis et al. (2008), a contribuição para grandes produtividades em áreas de expansão que constam de baixa fertilidade está intimamente relacionada com um manejo aprimorado da fertilidade do solo.

Os principais manejos vão atuar no desenvolvimento do sistema radicular que influencia nas características das plantas, tais como: resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente), tolerância à movimentação de máquinas, etc. Todos esses eventos irão proporcionar a produtividade final (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Sabe-se que um bom manejo do solo no cultivo de culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, pode trazer vários benefícios para os solos, principalmente com as novas perspectivas de mecanização das áreas e ampliação dos conhecimentos das práticas conservacionistas. Entre as práticas conservacionistas, Lal (2000) defende o uso de sistemas de preparo com mínima perturbação do solo que vem a propiciar a manutenção de resíduos na superfície, trazendo benefícios na redução da erosão e degradação do solo.

A compactação é mais intensa quanto mais úmido estiver o solo durante o tráfego nas áreas cultivadas e também é influenciada por diferentes proporções de argila:silte:areia das diferentes classes de solo (VASCONCELOS; GARCIA, 2005). A descompactação do solo é realizada com o uso de subsoladores, que são implementos que penetram na subsuperfície do solo rompendo essas camadas compactadas. Assim, grandes usinas lançam mão da subsolagem, que demanda muita energia por causa dos grandes tratores e implementos empregados, a fim de descompactar as áreas prejudiciais por esse tráfego (BARBIERE et al., 1987).

Geralmente, são adotadas várias operações para a implantação da cultura da cana, porém o efeito destes preparos dependem de cada tipo de solo (BARBIERI et al. 1997), da mesma forma, diferentes manejos de solo, atuando ativamente na formação e estabilização dos agregados responsáveis pela dinâmica do solo, apresentam resultados diferentes em um

mesmo solo, podendo prejudicar a produtividade e também a longevidades dos canaviais (SILVA; MIELNICZUK, 1998).

## 2.5 – Sistema radicular da cana-de-açúcar

A compreensão dos fenômenos que ocorrem na parte aérea das plantas torna-se mais completa à medida que se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente em relação ao crescimento e à distribuição do sistema radicular. Entretanto, ao contrário do que ocorre na parte aérea, a visualização e o contato com as raízes são mais difíceis, e dependendo das técnicas adotadas bem mais trabalhosas (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2008). Muitos são os fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, dentre eles, os fatores biológicos, químicos e físicos do solo.

Segundo Luxmoore e Stolzy (1987), o estudo do sistema radicular das culturas apresenta alguns desafios, dentre eles, citam os autores: a arquitetura geométrica complexa do sistema radicular; a ampla gama de tipos e diâmetros de raízes; as diferenças nas atividades fisiológicas em diferentes idades; o rápido crescimento e decomposição de raízes finas; os processos microbiológicos que ocorrem na interface solo/raiz e, por fim, a variabilidade do ambiente edáfico no qual se desenvolvem as raízes.

As principais funções do sistema radicular são: sustentação da planta, absorção e transporte de água e nutrientes, manutenção de reservas e defesa. Segundo Vasconcelos e Casagrande (2008), a eficiência destas funções depende de diversos mecanismos fisiológicos e tem influência direta sobre alguns atributos vegetais, como tolerância à seca, capacidade de brotação e perfilhamento, porte da planta, tolerância à movimentação de máquinas, eficiência na absorção de água e nutrientes, tolerância ao ataque de pragas e parasitos do solo. De todos estes fatores depende a produtividade final da cultura.

O conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e da dinâmica do seu desenvolvimento pode proporcionar o embasamento para a aplicação de técnicas de manejo da cultura, de forma a otimizar a expressão do potencial de produção.

Vários são os fatores que podem afetar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da cultura da cana. Vasconcelos e Casagrande (2008) citam os fatores genéticos, fatores físicos e químicos do solo e fatores climáticos. Dentre os fatores físicos do solo

tem-se a compactação, a qual promove um aumento na densidade do solo e uma redução na macroporosidade, reduzindo assim a aeração e a condutividade hidráulica e gasosa do solo, a textura do solo e a disponibilidade hídrica. Os fatores químicos do solo irão afetar conforme a eficiência de absorção do sistema radicular e a sua tolerância a elementos tóxicos. Dentre os fatores climáticos são citados a temperatura do ar e do solo, que interferem na elongação e na ramificação de raízes, e a precipitação pluviométrica que será responsável pela umidade do solo.

Segundo Smith et al. (2005) o pouco conhecimento sobre sistema radicular da cultura da cana pode ser um impedimento para a implantação de estratégias que permitam a obtenção de altas produtividades. Dentre as estratégias estão relacionadas o manejo do solo, da cultura e a seleção da cultivar.

Smith et al. (2005) utilizam o termo plasticidade do sistema radicular, para descrever os efeitos dos diferentes fatores do ambiente na forma e tamanho das raízes.

Vários são os métodos disponíveis hoje para realização da avaliação do sistema radicular das culturas. Revisões abrangentes sobre o tema foram realizadas por Böhm (1979) citado por Vasconcelos e Casagrande (2008) e Köpke (1981). Esses autores descrevem, detalhadamente, os métodos da escavação, do monólito, do trado, do perfil, do tubo ou paredes de vidro, além de métodos indiretos. Outros métodos utilizam alta tecnologia, como o emprego de fósforo-32 ou rubídio-86, como marcadores Russel & Ellis (1968) citado por Vasconcelos et al. (2003). Crestana et al. (1994) uniram a técnica de imagens digitais ao método do perfil com quantificação de comprimento de raízes.

Na escolha do método a ser utilizado num levantamento, além de sua precisão, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais parâmetros devem ser quantificados.

Segundo Böhm (1976), citado por Vasconcelos et al. (2003), no estudo de campo, o método utilizado tem tanta influência no resultado do comprimento de raízes que, em muitos casos, é impossível comparar os dados de diferentes autores.

Köpke (1981) considera o método do monólito como padrão, por permitir estimar maior quantidade de raízes e por isso ter grande exatidão, mas, por outro lado, é trabalhoso e demorado. O autor afirma também que o método do perfil tem uma relação favorável entre o esforço gasto e a informação obtida, mas subestima a densidade de raízes.

Para Vasconcelos et al. (2003), não existe uma forma perfeita para a avaliação das raízes, pois a adequação de um método para o estudo depende da condição “in situ”. Os resultados podem variar de acordo com a cultura, variedade estudada e seu manejo, com o tipo de solo e suas condições físico-químicas e, principalmente, com os cuidados e uniformidade de procedimentos da equipe operacional.

Vasconcelos et al. (2003) realizaram a comparação entre o método do monólito com outros quatro métodos de avaliação de raízes em cana de açúcar e identificaram que os métodos de estudo de raízes em perfil foram os mais adequados para detectar diferenças entre tratamentos, por apresentarem menores coeficientes de variação, mas podem subestimar a quantidade de raízes na camada superficial do solo.

Segundo constataram os autores mencionados no parágrafo anterior, o método da Parede do perfil (comprimento) tem a vantagem de possibilitar a visualização da distribuição do sistema radicular, além do que, se forem feitos vários cortes e preparos de perfis a cada 5-10 cm distanciando-se da planta, pode-se obter uma composição de imagens que reproduz a arquitetura do sistema radicular completo.

Vasconcelos et al. (2003) encontraram uma relação linear entre o método de avaliação pelo monólito e os demais métodos, demonstrando uma boa correlação entre as diferentes metodologias avaliadas.

Chopart e Siband (1999) desenvolveram um modelo para estimar a densidade e comprimento de raízes, considerando o perfil do solo como um plano, e usando o grau de isotropia e orientação preferencial de crescimento das raízes. Este método se mostrou de simples aplicação no campo e de baixo custo, além de menor tempo de realização quando comparado a outros métodos. Chopart et al. (2008) realizou a parametrização deste método para a cultura da cana-de-açúcar, que foi comparado a métodos convencionais de avaliação (Azevedo et al. 2011).

Para a transformação de pontos de intersecção na parede do perfil em densidade e comprimento de raiz foi apresentado por Chopart et al. (2009) o *software* Racine 2 que permite, além do cálculo da densidade e comprimento de raiz, o cálculo da taxa de exploração do solo pelas raízes e da distância média entre as raízes para as culturas do milho, sorgo, arroz e cana de açúcar.



Azevedo et al. (2011), comparando os métodos de contagem de intersecção de raízes no perfil e estimando a densidade e comprimento de raiz com o uso do programa Racine com o método do trado, encontraram valores bastante semelhantes entre os dois métodos. Porém, o tempo gasto para a determinação com o método do trado foi dez vezes maior do que o gasto no método da contagem, 43 contra 4 horas para se fazer um perfil de 1,4 X 1,0m.

Azevedo (2008), comparando diferentes métodos de avaliação da densidade de comprimento de raízes para a cultura da cana-de-açúcar, identificou que o método da parede do perfil com análise por imagens digitais subestimou a DCR em subsuperfície. O método do monólito demandou mais de 100 horas de trabalho para a avaliação de cada perfil, de 1,4 x 1,0m, enquanto o método da parede do perfil e grade com o uso do software Racine mostrou-se o método mais rápido, tendo sido eficiente na quantificação da DCR. Segundo os dados apresentados pelo autor, há equivalência para a DCR entre os métodos do monólito, do trado e da parede do perfil com transformação da contagem das raízes em comprimento.

### 3. REFERÊNCIAS

ALVES, N.C.G.F. **Competitividade da produção de cana-de-açúcar no cerrado goiano**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional) – Faculdade Álvares Faria, Goiânia, 2009.

ANDRADE, L. A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2001. p. 19-49.

AZAR, C.; LARSON, E.C. Bioenergy and land-use competition in Northeast Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v.4, p.64-71, 2000.

AZEVEDO, M.C.B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 100 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

AZEVEDO, M.C.B.; CHOPART, J.L.; MEDINA, C. de C. Sugarcane, root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 94-101, 2011.

BARBIERI, J.L.; ALLEONI, L.R.F.; DONZELLI, J.L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo e solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p. 89-98, 1997.

BARBIERI, V.; BRUNINI, O.; JÚNIOR, M. J. P.; ALFONSI, R. R. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**, Campinas, v. 1, p. 42-54, 1987.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

CASTRO, S.S.; BORGES, R.O.; AMARAL, R. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: IEAS/ GO. **Anais...** São Paulo: SBPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2007.

CEDDIA, M.B.; ANGOS, L.H.C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L.A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p. 1467-1473, 1999.

CHOPART, J.L.; LE MÉZO, L.; MÉZINO, M. **RACINE 2**: Software application for processing root data from impact counts on soil profiles: Software and user guide. CIRAD, France. (in English, French and Portuguese). 2009.

CHOPART, J.L.; RODRIGUES, S.R.; AZEVEDO, M.C.B.; MEDINA, C.C. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. **Plant and Soil**, n. 313, p. 101-112, 2008.

CHOPART, J.L.; SIBAND, P. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. **Plant and Soil**, n. 214, p. 61-74, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB. **Segundo levantamento de safra**. Brasília: Conab, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/344b55c90f6d37e3beca41418e5df0e5.pdf>>. Acesso em: 01 de ago. 2011

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 365-371, 1994.

DIAS, F.L.L.; MAZZA, J.A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23:627-634, 1999.

DONZELI, P. F.; KOFFLER, N. F. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1. p. 19-39.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.

HELFGOTT, S. **El cultivo de La cana de azucar em La costa peruana**. Lima: UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), 1997. 495 p.

JORNAL DA CANA. 2011. Disponível em: <<http://www.canaweb.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>>. Acesso em: 6 set. 2011.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., Londrina, 1980. **Proceedings**. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p.303-318.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, v.165, p.57-72, 2000.

LEPSCH, I.F. Influência dos fatores edáficos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Potafós, 1987. p.83-98.

LUXMOORE, R.L.; STOLZY, L.H. Modeling belowground processes of roots, the rizosphere, and the soil communities. In: WISIOL, K.; HESKETH, J.D. **Plant growth modeling for resource management: quantifying plant processes**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2. p. 129-153.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. (Org.). **Zoneamento Agroecológico da Cana-de Açúcar Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. (Documentos, 110).

MELLIS, E.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 271-288.

MORAES, E.R. **Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2011.

NOTÍCIAS DA AMAZÔNIA. **Zoneamento impede cana na Amazônia**. Disponível em: <<http://www.noticiasdaamazonia.com.br/3895-zoneamento-impede-cana-na-amazonia/>>. Acesso em: 22 nov. 2011.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 443-450, 2001.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. Piracicaba: Potafós, 1994. 16 p. (Arquivo do Agrônomo, 6).

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar da região nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais ...** Uberlândia, 2011.

PRADO, H. **Pedologia fácil**: aplicações na agricultura. Piracicaba: H.Prado, 2007. 105 p.

PRADO, H.; PÁDUA JÚNIOR, A.L.; GARCIA, J.C.; MORAES, J.F.L.; CARVALHO, J.P.C.; DONZELI, P.L. Solos e ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.;

VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

PRADO, R.M.; CENTURION, J.F. Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.1, p.197-203, 2001.

RIBEIRO, N.V.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C. Expansão da Cana-de-açúcar no Bioma Cerrado: uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

SILVA, I.R.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 311-317, 1998.

SMITH, D.M.; INMAN-BARBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, p. 169-183, 2005.

SOUTHGATE, D.; GRAHAM, D.H.; TWEETEN, L. **The world food economy**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. 402p.

TAVARES FILHO, J.; EIRA, G.C.; FARINHA, L.R.L. Avaliação da compactação do solo em um solo cultivado no sistema convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 19, p. 219-225, 1999.

TORMENA, C.A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

VASCONCELOS, A. C. M. de; GARCIA, J. C. **Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. Potafos, jul. 2005. (Encarte de informações agronômicas, 110).

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

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

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafos, 2002. 16 p. (Encarte técnico/Informações agronômicas, 97).

## CAPÍTULO 2

### ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO EM ÁREA DE RENOVAÇÃO

#### RESUMO

Objetivou-se com este projeto avaliar os efeitos de diferentes preparos de solo em área de renovação de cana-de-açúcar, sobre os atributos físicos do solo, no desenvolvimento de raízes e na produtividade da cultura da cana. O experimento foi realizado no bioma Cerrado, entre o período de abril de 2009 e maio de 2010, em área de reforma de canavial. Foram avaliados seis diferentes preparos de solo, sendo eles: 1) Dessecação + Arado Aiveca + Grade Leve - (**AVG**), 2) Dessecação + Plantio Direto - (**PD**); 3) Dessecação + Subsolador -(**SU**); 4) Subsolador + Grade Leve - (**SUG**); 5) Destruidor de soqueira + Subsolador - (**DsSU**); 6) Destruidor de soqueira + Grade Média + Arado de Aiveca + Grade Leve - (**DsPC**). Após a colheita da cana, foram realizadas as seguintes avaliações: atributos físicos do solo, na entre linha da cultura em três profundidades: 0 – 0,20m, 0,20 – 0,40m e 0,40 – 0,60m; desenvolvimento de raízes por meio do método da parede do perfil e contagem de intersecção de raízes e posterior cálculo da densidade de comprimento de raiz, taxa de exploração do solo pela raiz e a distância média entre as raízes, com o *software* Racine , até a profundidade de 0,80 m, e a avaliação das características agrônômicas da cultura, altura e diâmetro de colmo, número de colmos por hectare e tonelada de colmos por hectare. Considerando os atributos físicos do solo, o desenvolvimento de raízes e a produtividade de cana, o plantio direto mostrou-se viável de ser adotado para cana de primeiro ano. Em camadas de solos mais férteis há um maior desenvolvimento do sistema radicular, neste caso, na camada superficial até 0,20 m. O arado de aiveca em área de renovação de cana proporcionou a maior produtividade para cana planta.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*; Sistema Radicular; Racine 2, Cerrado, Plantio Direto.

# SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES, ROOT SYSTEM DEVELOPMENT AND SUGARCANE YIELD UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGES AT RENEW AREA

## ABSTRACT

The sugarcane planting area at south central region of Brazil is growing very rapid, pushing for the occupation of pastures area and also for the renewing areas already planted with this crop. It is well known that the production environment, where the crop grows, has straight relation with its yield potential. Biotic and abiotic agents may interfere at the root system development, which is responsible for plant sustention and also for water and nutrients uptake. This interaction may limit the use of these resources leading to a loss in yield. Nowadays there is a lack of studies which shows the effects of environment production on root system development. Although, this project aimed to identify the effects of different soil tillage on two environment production over the first year of sugarcane root system development. The experiment was conducted at Cerrado, from April 2009 through May 2010 in a sugarcane renew area. There were assessed six different soil tillages: 1 - drying + moldboard plough + harrow disk - (AVG), 2 - drying + zero tillage - (PD); 3 - drying + subsoiler - (SU); 4 - subsoiler + light harrow disk - (SUG); 5 - ratton destroyer + subsoiler - (DsSU); 6 - ratton destroyer + medium harrow disk + moldboard plough + light harrow disk - (DsPC). The treatments were set prior to sugarcane planting, which was done after mechanical opening the groove for seedpiece deployment. The experimental design was a completely randomized with four replications. Each plot had 13 rows spaced of 1,5 m and 50 meters long. The soil physical attributes evaluated were: macro, micro and total porosity and soil bulk density at three depths: 0 - 0,20m ; 0,20 - 0,40m; 0,40 - 0,60m, on May 2010. Root evaluation was done after the sugarcane harvest using the profile wall and root counting, and by the use of Racine 2 software it was calculated the root length density. In each plot it was opened a trench with 1,5 m length by 0,90m depth. The results were compared between treatments, depth and horizontal distance from the plant. There were evaluated number of stems per meter, 5 middle rows and 30 meters, plant height and diameter, 10 plants, and yield of burned and manually harvested sugarcane, 5 middle rows and 50 meters. Soil physical proprieties at zero tillage were similar to all treatments. At the the depth of 0 - 0,20m was found the highest values of RLD. The highest yield was found at moldboard plough area.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*; Root System; Racine 2, Savannah, No Tillage.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar vem ocupando uma área cada vez maior em nosso país. Somente na safra 2010/11 houve um crescimento de 10,2% em área em relação à safra anterior, chegando a 8,1 milhões de hectares (CONAB, 2010), enquanto que para a safra 2011/12 a área prevista para colheita de cana foi de 8,44 milhões de hectares (CONAB, 2011).

A região do cerrado é onde esta expansão ocorre de forma mais acelerada. Somente nos últimos dois anos, o estado de Mato Grosso do Sul teve um crescimento de 51% em sua área de cana, enquanto os estados de Goiás e Minas Gerais tiveram um aumento de 25%, cada um.

No Bioma cerrado predominam Latossolos, 46% de sua área total, (SANZONOWICZ, 2011), que são solos caracterizados por apresentarem bons atributos físicos, porém baixa fertilidade.

Nos últimos anos, a cultura da cana-de-açúcar tem apresentado significativos aumentos de produtividades na região Centro-Sul do Brasil. Este aumento é resultado de melhoramento genético, conhecimento e uso de técnicas agronômicas que melhor se adaptam à cultura e que permitem uma melhor expressão de seu potencial genético (LANDELL et al. 2003).

Segundo Prado et al. (2008), os componentes que diferenciam os ambientes de produção são: água, textura, fertilidade e profundidade. Dos ambientes de produção ocupados pela cana em expansão no cerrado predominam áreas de pastagem e a renovação de áreas já em uso pela cultura.

O sistema radicular que está sob influência direta do ambiente de produção é responsável pela absorção e transporte de água e nutrientes do solo para a cultura e também serve como meio de sustentação para a planta. Portanto, a variabilidade das condições físicas, químicas e biológicas do solo tem influência direta na distribuição deste sistema (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2008), destacando-se como principais os teores de nutrientes e de água, a resistência mecânica à penetração e a aeração do solo (MEDINA et al., 2002).



Para Vasconcelos (2002), a arquitetura e distribuição do sistema radicular das plantas, bem como sua dinâmica de crescimento, são os fatores de maior importância na relação solo- água-planta. Portanto, o conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar permite a utilização adequada das técnicas agronômicas, tais como: espaçamento, local de aplicação dos fertilizantes, operações de preparo do solo, drenagem dos solos e sistemas de irrigação, controle da erosão, uso de culturas intercalares, entre outras (CASAGRANDE, 1991). Assim, quanto maior o enraizamento de uma planta, maior sua capacidade de explorar o solo e aproveitar os nutrientes e a água disponíveis.

Além disso, as condições do solo proporcionam plasticidade na forma e no tamanho do sistema radicular os quais podem afetar o tamanho e a distribuição do crescimento das raízes, promovendo diferenças na capacidade das plantas de explorar camadas mais profundas do solo (SMITH et al. 2005).

As raízes têm influência direta sobre algumas características da planta, como resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e brotação, porte, tolerância à movimentação de máquinas, entre outros (VASCONCELOS; GARCIA, 2005). Entretanto não é a quantidade de raízes o fator determinante, mas sua distribuição no perfil do solo.

Entretanto, o estudo da raiz não tem sido prioridade nas pesquisas realizadas com a cultura da cana. Segundo Vasconcelos et al. (2003), isto ocorre pela dificuldade na realização das análises e pela baixa precisão dos dados encontrados. A maior parte dos ensaios com a cultura é voltada para a avaliação apenas da parte superior da planta, ou seja, conhecer a produtividade.

Nos últimos anos, métodos de preparo de solo, como o cultivo mínimo e a semeadura direta, vêm sendo adotados em substituição aos preparos convencionais. Tais métodos, por não revolverem o solo ou revolvê-lo parcialmente, podem provocar no perfil estruturas diferentes daquelas resultantes dos preparos convencionais, estruturas estas que podem influenciar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, por consequência, sua produtividade (MELLO IVO; MIELNICZUK, 1999).

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos físicos do solo, o desenvolvimento radicular e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar quando submetido a diferentes formas de preparo de solo em área de renovação de cana.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área

O experimento foi realizado em área de cerrado, no município de Goianésia-GO, localizada nas coordenadas 15° 10' de latitude sul e 49° 15' de longitude oeste e altitude média de 640 m. Até a ocasião da implantação dos tratamentos, a área era ocupada pela forrageira *Brachiaria brizantha*.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006), e, na ocasião do início do projeto, apresentava os atributos químicos mostrados na tabela 1, e textura, conforme tabela 2.

**TABELA 1** - Caracterização química inicial do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, em abril de 2009, no Cerrado.

Prof. (m)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg dm <sup>-3</sup>	Al <sup>-3</sup>	P mg . dm <sup>-3</sup>	K <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	T <sup>-3</sup>	V -----%-----	m	M.O. g. kg <sup>-1</sup>
0-0,2	4,01	0,45	0,29	1,65	1,4	78	8,25	9,19	10,25	63	16,2
0,2-0,4	3,97	0,23	0,15	2,0	0,7	19,2	8,70	9,12	4,8	82	10,4

pH em CaCl<sub>2</sub>; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

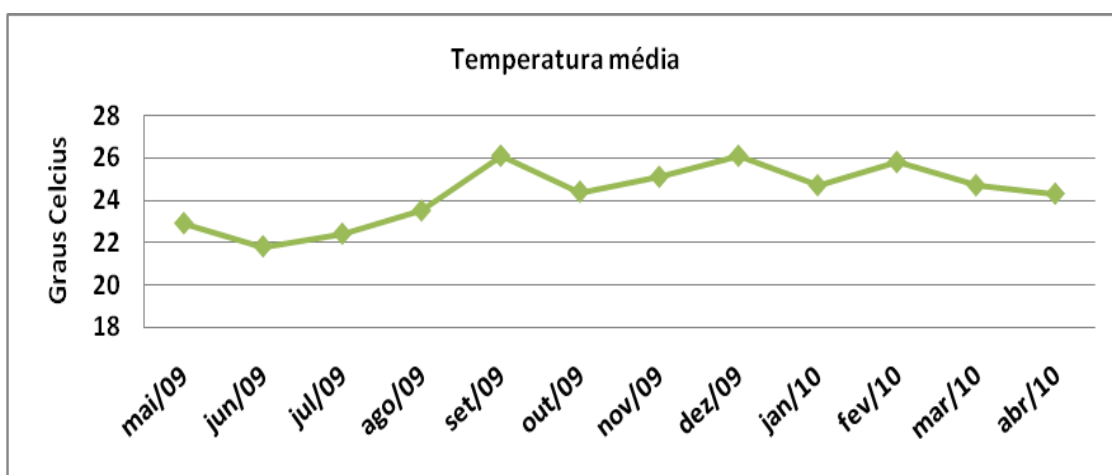
**TABELA 2** - Granulometria do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, em abril de 2009, no Cerrado.

Prof. (m)	AG -----g kg <sup>-1</sup> -----	AF	Silte	Argila	Textura <sup>1</sup>
0 a 0,20	77	284	159	480	Argilosa
0,20 a 0,40	122	206	139	533	Argilosa

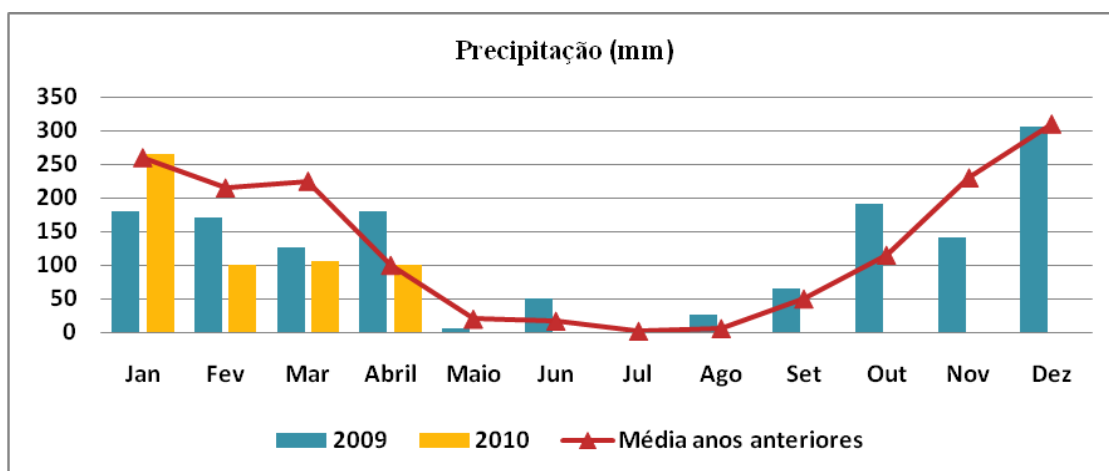
Prof. = Profundidade; AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

## 2.2 Caracterização do clima

O clima predominante da região é o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, quente e úmido com verões chuvosos de acordo com a classificação de Köppen. Durante a condução do experimento, ocorreram variações de temperatura de 21,8 °C, mínima, no mês de junho, a 26,1 °C em setembro de 2009, máxima (Figura 1). Dados da estação meteorológica da usina Jalles Machado, indicaram um acúmulo de 1435 mm de precipitação durante o ano de 2009 e 570 mm nos primeiros meses do ano de 2010 (Figura 2).



**FIGURA 1** - Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento.  
Fonte: Usina Jalles Machado.



**FIGURA 2** - Pluviometria durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010. Fonte: Usina Jalles Machado

### 2.3.Delineamento Experimental

O ensaio foi instalado seguindo um esquema de delineamento em blocos casualizados, sendo que, cada bloco era composto por seis parcelas, contendo cada uma 50m de comprimento e 19,5 m de largura, com 13 linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5m. Separando os blocos e as parcelas, havia carregadores com largura de 5m para a manobra de máquinas e implementos. Assim, a área de cada parcela era de aproximadamente 1000m<sup>2</sup> e a área total do experimento, de 2,4 hectares (Figura 3).



**FIGURA 3** - Vista aérea do ensaio na área de reforma com destaque para os blocos e as parcelas. Fonte: Google Earth (2012).

Para o estudo das raízes foi adotado um esquema fatorial 6 x 4 com quatro repetições, sendo, nas parcelas seis tratamentos e nas subparcelas quatro profundidades. Para a comparação dos atributos de raiz com relação à distância horizontal destas com o sulco de plantio, foi adotado um esquema fatorial 6 x 5, sendo seis tratamentos e cinco distâncias. O perfil de cada unidade experimental era composto por 15 quadrados de 0,10m x 0,10m na horizontal e oito na vertical.

Nos atributos físicos do solo foi adotado tanto para densidade e porosidade quanto para resistência à penetração um esquema fatorial 6 x 3, sendo, nas parcelas seis tratamentos e nas subparcelas três profundidades, com quatro repetições.

Para as características agronômicas e tonelada de colmos por hectare, houve comparação apenas entre as parcelas.

As médias foram avaliadas pelo teste F a um e cinco (%) e, quando significativas foram comparadas pelo teste Tukey, por meio do programa estatístico Sisvar.

Realizou-se também a determinação do coeficiente de correlação entre a produtividade de cana e os atributos de solo e sistema de raiz que apresentaram diferença estatística significativa entre si.

#### 2.4. Tratamentos

Antes do plantio da cana foram implantados seis tratamentos, sendo eles uma combinação ou não de equipamentos, que tiveram como objetivo a incorporação do calcário, a eliminação de possíveis camadas compactadas e a destruição de plantas daninhas. Os tratamentos foram os seguintes:

- 1) Dessecação + Arado Aiveca (0,40m) + Grade Leve (0,15m) – (**AVG**) ;
- 2) Dessecação + Plantio Direto – (**PD**);
- 3) Dessecação + Subsolador (0,40m) – (**SU**);
- 4) Subsolador (0,30m) + Grade Leve (0,15m) – (**SUG**);
- 5) Destruidor de soqueira + Subsolador (0,40m) – (**DsSU**);
- 6) Destruidor de soqueira + Grade Média (0,20m) + Arado de Aiveca (0,40m) + Grade Leve (0,15m) – (**DsPC**)

#### 2.5. Tratos Culturais

Anteriormente à implantação dos tratamentos, para algumas parcelas, conforme descrito acima, foi realizado a dessecação. Tanto para a área de expansão quanto para a

área de renovação foram utilizados herbicidas de largo espectro, glyphosate adicionando 2,4 – D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A correção de acidez foi realizada antes da implantação dos tratamentos em área total com calcário dolomítico de PRNT 85 % e dose única de 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Logo após a implantação dos tratamentos e antes do plantio da cana foi aplicado em ambos os ambientes de produção e em área total 0,8 t.ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. A utilização destas doses iguais teve como objetivo evitar outra fonte de variação que não os tipos de preparo de solo.

O plantio foi realizado manualmente no dia 24 de abril de 2009, colocando-se de 15 a 20 gemas por metro em sulcos abertos mecanicamente com sulcador + adubador. Foi utilizada a variedade CTC -2, menos exigente em fertilidade (AFCRC, 2009).

A adubação de plantio foi a mesma para todos os tratamentos e foi realizada no sulco com a distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP), equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 28 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Após a distribuição da cana nos sulcos, realizou-se a sua cobertura. No dia 5 de setembro de 2009 foi realizada uma adubação de cobertura com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B, na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup> equivalente a 50 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 130 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 3 kg.ha<sup>-1</sup> de Zn e de B.

## 2.6. Avaliações

### 2.6.1. Atributos Físicos do solo

Foram realizadas as seguintes avaliações visando determinar os atributos físicos do solo: resistência à penetração (RP), densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Com exceção da resistência à penetração, que foi realizada no mês de fevereiro, as demais avaliações foram realizadas no mês de maio, após a colheita da cana.

A resistência do solo a penetração (RP) foi determinada na entrelinha da cultura da cana-de-açúcar, no mês de fevereiro 2010, utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, desenvolvido por STOLF et al. (1983), até 0,60 m de profundidade, em cinco pontos por parcela. Assim, cada repetição foi formada pela média de cinco avaliações. Os dados obtidos foram convertidos em resistência à penetração (MPa) seguindo orientações de (STOLF, 1991). Foram retiradas três amostras por parcela para a

determinação de umidade, esta foi estratificada em camadas de 0,20m até a profundidade de 0,60m.

Para a determinação da densidade e porosidade, foi coletada uma amostra por parcela com estrutura indeformada, na entrelinha, com o uso do amostrador de Uhland, em anéis de 0,05m de altura x 0,05m de diâmetro. Os anéis foram coletados no centro das camadas 0 a 0,2m, 0,2 a 0,4m e 0,4 a 0,6m.

A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 110 °C durante 24h. A macroporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão com uma coluna de água de 0,60m de altura, segundo. Pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade, obteve-se a microporosidade. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa seca a 110 °C durante 24h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (EMBRAPA, 1997).

#### 2.6.2 Sistema de raízes

As avaliações são referentes à cana-planta e foram realizadas após a colheita da cultura.

Para a avaliação das raízes, foi utilizada a metodologia de avaliação *in situ* que envolveu a contagem de intersecção de raízes no perfil, metodologia conhecida como parede do perfil e contagem (BÖHM 1976, citado por AZEVEDO et al., 2011).

Foi aberta em cada parcela, com o auxílio de uma retroescavadeira uma trincheira com 1,5m de largura por 0,80m de profundidade. Em seguida, com o auxílio de um enxadão, a parede do perfil foi preparada, de forma que esta formasse um ângulo de 90° em relação ao fundo da trincheira. Com o objetivo de expor as raízes, passou-se um rastelo em toda a parede do perfil. À parede do perfil preparada, foi fixada uma tela com as dimensões de 1,5m de largura por 0,80m de profundidade com malha de quadrados de 0,10 x 0,10m, de forma que as extremidades da tela coincidisse com a entrelinha da cana. Então, foi realizada a contagem no número de raízes em intersecção (CIR) com o solo, em cada quadriculado de 0,10 x 0,10m.

Em laboratório de computação, os dados obtidos em campo foram inseridos no *software* RACINE 2 (CHOPART et al. 2008) responsável pela modelagem da Densidade e

Comprimento de raízes (DCR), Distância média entre raízes (DMR) e Taxa de exploração do solo (TE) a partir da contagem de intersecção de raízes (CIR).

### 2.6.3. Produtividade

A avaliação de número de colmos foi realizada dez meses após o plantio, contando-se todos os colmos compreendidos em trinta metros das cinco linhas centrais, totalizando uma área avaliada de 225 m<sup>2</sup>.

As características agronômicas avaliadas foram diâmetro e altura do colmo. Foram selecionados dez colmos por parcela, na semana da colheita, escolhidos em sequência em uma linha central da parcela. O diâmetro foi avaliado no terceiro entrenó da base para a ponta com paquímetro digital, enquanto a altura foi medida com fita métrica.

Para a determinação da tonelada de colmos por hectare (TCH), queimou-se o canavial antes da colheita feita manualmente. Posteriormente, foram pesadas, com o auxílio de balança adaptada a um carregador de cana, as cinco linhas centrais de todos os cinquenta metros da parcela, totalizando uma área avaliada de 375m<sup>2</sup> por parcela, sendo posteriormente os dados extrapolados para um hectare.

### 2.6.4. Atributos químicos do solo

Para a avaliação dos atributos químicos de solo foram retiradas três amostras simples para formar uma composta em cada parcela, nas profundidades de 0 – 0,20m, 0,20 – 0,40m e 0,40 – 0,60m, após a colheita da cana-de-açúcar. As amostras foram transportadas para o laboratório de análises de solo, folhas, corretivos e fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia – LABAS – UFU, onde foram avaliados os seguintes atributos: teor de macronutrientes (K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg), (P) pelo método de mehlich<sup>1</sup>, e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), além do pH em CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica (MO), pelo método colorimétrico, e avaliação dos atributos químicos do solo: acidez trocável (Al<sup>3+</sup>); acidez total (H + Al); saturação por alumínio (m%); saturação por bases (V%), segundo metodologias descritas por EMBRAPA (2009). Estes dados foram apresentados e discutidos por Moraes (2011) e serão apresentados neste trabalho apenas para auxiliar nas discussões e no entendimento dos resultados do estudo de raízes e da produtividade de cana-de-açúcar.



#### 2.6.5. Análise Foliar

As amostras foliares foram coletadas em plantas com oito meses de idade. Coletou-se uma amostra composta por parcela, que foi formada por 20 folhas de plantas distintas e que foram escolhidas aleatoriamente nas cinco linhas centrais de cada parcela. Coletou-se a folha +1, ou seja, a primeira com bainha visível. Dividiu-se a folha em três partes iguais, aproveitou-se o terço médio, do qual foi retirada a nervura central. Foram realizadas as seguintes determinações: macronutrientes (P, K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2009). Assim como os dados de fertilidade do solo, estes dados foram apresentados e discutidos por Moraes (2011), os quais serão apresentados neste trabalho apenas para auxiliar nas discussões e no entendimento dos resultados do estudo de raízes e da produtividade de cana-de-açúcar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Atributos físicos do solo

Na área de renovação do canavial houve interação entre os fatores avaliados: tratamento e profundidade (Tabela 3). Na camada mais superficial, as áreas de plantio direto (PD) e subsolagem (SU) ou preparo vertical feita de forma isolada foram as que apresentaram maiores valores para a macroporosidade, chegando ao dobro dos valores encontrados nas áreas com o uso do aiveca (AVG) e o mesmo com o uso do subsolador seguido de grade (SUG). Assim, os tratamentos mais conservacionistas apresentaram maiores valores para a macroporosidade.

**TABELA 3** - Macroporosidade, Microporosidade em área de renovação de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio de 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	AVG	SUG	PD	SU	DsSU	DsPC
	<b>MACROPOROSIDADE m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>					
0 – 0,2	0,09ABa	0,08 Aa	0,16 Cb	0,14 BCa	0,10 ABa	0,13ABCa
0,2 – 0,4	0,10 Aa	0,13 Ab	0,10 Aa	0,14 Aa	0,11 Aa	0,11 Aa
0,4 – 0,6	0,08 Aa	0,11ABab	0,14 Bab	0,12 ABa	0,11 ABa	0,10 ABa
CV (%)	22,49					
	<b>MICROPOROSIDADE m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>					
0 – 0,2	0,36 Aab	0,34 Aab	0,34 Aa	0,35 Aa	0,38 Ab	0,33 Aa
0,2 – 0,4	0,35 Aa	0,33 Aa	0,32 Aa	0,34 Aa	0,32 Aa	0,35 Aab
0,4 – 0,6	0,40 Bb	0,38 Bb	0,32 Aa	0,38 Ba	0,35ABab	0,38 Bb
CV (%)	7,20					

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) e maiúscula na linha (compara tratamentos) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Camilotti et al. (2005) e Azevedo (2008) trabalhando em área de renovação de canal com diferentes tratamentos, dentre eles o subsolador e também ausência de preparo, não identificaram diferença para a macroporosidade entre estes tratamentos e os demais. Costa et al. (2003) avaliando efeito de longo prazo, 21 anos, dos sistemas PC e PD na profundidade de 0 - 0,20 m também não identificaram diferença para o valor macroporosidade entre os tratamentos. Mazurana et al. (2011) e Bertol et al. (2004) identificaram menor valor de macroporosidade no sistema de semeadura direta.

O maior valor da macroporosidade nos sistemas que menos revolveram o solo pode ser explicado pelo fato de a cana-de-açúcar acumular uma grande quantidade de raízes nesta camada o que favorece a manutenção dos macroporos. Na substituição das raízes, entre um corte e outro, elas secam e o poro permanece. Trabalhos de Vasconcelos et al. (2003) e Inforzato e Alvarez (1957) demonstram esta concentração maior nas camadas mais superficiais do solo.

Paulino et al. (2004) trabalhando com preparos de solo em área de soqueira de cana, assim como neste trabalho, encontraram maiores valores de macroporos para os tratamentos onde o revolvimento do solo foi menos intenso.

Além da diferença entre os tratamentos, foi identificada diferença em profundidade no tratamento PD, que apresentou um valor superior para a macroporosidade na camada de 0 – 0,20m. Para os demais tratamentos, não foram encontradas diferenças entre as profundidades. Como descrito anteriormente, este valor de macroporosidade superior pode ser atribuído à grande presença de raízes nesta área, por ser uma área de renovação de canal.

Mazurana et al. (2011), avaliando diferentes preparos, não encontraram diferenças para macroporosidade entre as profundidades no PD, porém encontraram nos demais. Já Paulino et al. (2004) trabalhando com cinco manejos de solo e Falleiro et al. (2003), com seis, não encontraram diferenças para macroporosidade entre as profundidades em nenhum manejo avaliado. A ausência de diferença da macroporosidade entre as profundidades, provavelmente, seja devido à ação dos implementos às maiores profundidades, o que não ocorreu no PD.

Silva e Ribeiro (1997), avaliando os efeitos dos anos de cultivo da cana-de-açúcar nos atributos físicos do solo, encontraram aumento nos valores de macroporosidade em

áreas com 18 e 25 anos de cultivo de cana, quando comparado às áreas de cana com dois anos. Os autores atribuem este aumento ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

Para a microporosidade, não foram detectadas diferenças entre os tratamentos nas camadas de solo de maior ação dos implementos agrícolas 0 – 0,40m, semelhante resultado encontrado por (AZEVEDO, 2008). Paulino et al. (2004) e Tornmena et al. (2002) que trabalharam com mandioca, encontraram maiores valores para de microporosidade nas áreas onde foi realizada a gradagem.

Em todos os tratamentos em que houve mobilização do solo mais intensa os valores da microporosidade foram maiores na camada mais profunda, indicando a ação do implemento nas camadas subjacentes. Já, nos tratamentos em que o revolvimento foi mínimo, SU ou PD, não foram detectadas diferenças entre as profundidades.

Para os valores de porosidade total (Pt), não foram detectadas diferenças entre os diferentes tipos de preparos em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 4). Semelhantes resultados foram identificados por Mazurana et al. (2011) nas camadas de 0,03 – 0,12m e 0,20 – 0,30m e por Azevedo (2008), que iniciou as avaliações na profundidade de 0,05m e foi até 2,0m. Já, Stone e Silveira (2001), Tormena et al. (2004) e Tormena et al. (2002), para a camada de 0 – 0,10m, identificaram menores valores de Pt no tratamento em que não houve revolvimento do solo (PD).

Em relação às profundidades avaliadas, não foram detectadas diferenças, a não ser no caso do PD, em que a Pt foi maior na camada mais superficial, diferentemente de Costa et al. (2003), que encontraram diferença entre profundidades para o preparo convencional e não para o PD. Este maior valor de Pt encontrado na camada de 0 – 0,20m no sistema PD, provavelmente, seja devido ao maior valor de macroporos encontrados nesta camada.

Para a densidade do solo, não foram identificadas diferenças significativas nem entre os tratamentos e nem entre as profundidades. Semelhantes resultados foram obtidos por Falleiro et al. (2003), em um ensaio de vários anos com seis preparos de solo. Já, Tormena et al. (2002), avaliando densidade em solos submetidos a diferentes preparos, identificaram diferença na camada de 0 - 0,10m, porém não na camada de 0,10 – 0,20m.

**TABELA 4** - Porosidade total e densidade em área de renovação de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo e profundidades, em maio de 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	AVG	SUG	PD	SU	DsSU	DsPC
<b>POROSIDADE TOTAL m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>						
0 – 0,2	0,46 a	0,43 a	0,50 b	0,48 a	0,48 a	0,46 a
0,2 – 0,4	0,46 a	0,47 ab	0,43 a	0,44 a	0,44 a	0,47 a
0,4 – 0,6	0,49 a	0,50 b	0,47 ab	0,47 a	0,47 a	0,48 a
CV (%)	7,33					
<b>DENSIDADE Mg m<sup>-3</sup> NS</b>						
0 – 0,2	1,33	1,35	1,29	1,27	1,32	1,34
0,2 – 0,4	1,38	1,33	1,40	1,30	1,36	1,31
0,4 – 0,6	1,28	1,23	1,24	1,17	1,27	1,26
CV (%)	8,29					

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidade dentro do mesmo tratamento) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. NS – não significativo.

Não foram detectadas diferenças entre os tratamentos (Tabela 5). Entretanto, entre as profundidades, houve uma grande diferença, sendo a camada superficial a que menos ofereceu resistência à penetração.

Azevedo (2008), trabalhando com três preparos de solo na cultura da cana e avaliando dois anos seguidos, também identificou maiores valores de RP nos preparos conservacionistas. De Maria et al. (1999) e Tormena et al. (2004) também identificaram maiores valores de RP na área onde houve a semeadura direta.

Segundo Azevedo (2008), a resistência do solo à penetração depende da textura, da compactação e da umidade do solo. A textura varia muito pouco dentro da área, portanto as diferenças observadas são atribuídas à estruturação e à compactação do solo, suscetíveis às operações de manejo.

**TABELA 5** - Resistência do solo à penetração em diferentes preparos, em área de renovação de cana-de-açúcar, em fevereiro 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	AVG	SUG	PD	SU	DsSU	DsPC
<b>RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (MPa)</b>						
0 – 0,2	2,85 a	3,60 a	3,32 a	3,67 a	2,40 a	3,02 a
0,2 – 0,4	7,65 b	7,80 b	7,25 b	7,02 b	6,12 b	6,90 b
0,4 – 0,6	6,80 b	6,27 b	6,55 b	6,05 b	5,10 b	6,70 b
CV (%)	20,61					
<b>UMIDADE GRAVIMÉTRICA (%)*</b>						
0 – 0,2	18,42	17,12	19,91	18,42	20,35	17,47
0,2 – 0,4	19,31	18,05	20,21	19,35	20,41	18,95
0,4 – 0,6	20,38	18,81	20,18	21,42	19,48	18,52

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. \* não foi realizada análise estatística.

Nas camadas abaixo de 0,20m, a diferença entre os tratamentos sobre a RP deixa de existir, assim como encontrado pelos autores citados acima, evidenciando que a maior camada de atuação dos implementos é realmente a superficial. Este fato pode ser constatado ao compararmos as profundidades dentro de cada tratamento. Para todos eles a camada que ofereceu a menor RP foi a camada de 0 – 0,20m.

Os valores encontrados de resistência do solo à penetração são bastante variáveis por causa da influência da umidade do solo e da textura, o que torna imprecisa as comparações na literatura, mesmo em solos semelhantes. Tormena et al. (2004) trabalhando em um Latossolo Vermelho distrófico com 68 % de areia e 31% de argila, avaliando até a profundidade de 0,35m, encontraram valores que variaram de 0,5 a 5 MPa. Costa et al. (2003), encontraram valores que variaram de 0,4 a 2,0 MPa. IAIA et al. (2006), trabalhando em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico encontraram valores de até 4,63 MPa na

camada de 0 a 0,05 MPa e até 5,79 MPa na camada de cinco centímetros abaixo. Azevedo (2008) encontrou valores que variaram de 1,5 a 9,6 MPa, em uma mesma área, porém em anos distintos.

### 3.2. Desenvolvimento de raízes

Não houve interação entre os fatores avaliados - preparo de solo e profundidade.

Entre os preparos de solo não houve diferença para as variáveis analisadas: densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre as raízes (DMR) e a taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) (Tabela 6). Tanto nos preparos em que o revolvimento do solo foi mais intenso quanto no tratamento em que não houve preparo as quantidades de raízes encontradas foram semelhantes. Isto indica que o fato de revirar o solo, incorporando o calcário e removendo possíveis zonas compactadas, no caso deste ensaio e para este ambiente de produção, em que a cana já vinha sendo explorada há vários anos, não influenciaram diferentemente no desenvolvimento do sistema radicular.

Azevedo (2008) e Azevedo et al. (2011), avaliando preparos de solo em estudo de raiz de cana, também, não detectaram diferença entre diferentes tipos de preparo. Os estudos de raiz, seja qual for a cultura, é muito minucioso e apresenta grande variabilidade, provavelmente seja este o motivo de não ter sido detectada diferença.

Ivo e Mielnickzuc (1999), trabalhando com a cultura do milho em três diferentes preparos de solo, identificaram uma maior densidade de raízes na camada de 0 – 0,05m no sistema de plantio direto e, no sistema de preparo convencional, na camada abaixo de 0,10 – 0,15m. Porém estes valores não representaram diferença em massa seca de raiz.

Bolonhezi et al. (2011), avaliando a biomassa da cana-de-açúcar quando submetida a preparo convencional e plantio direto, não encontraram diferença entre os tratamentos até a profundidade de 0,70m.

**TABELA 6** - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita, em área de renovação de canavial sob diferentes preparos de solo na camada de 0 - 0,8m, em maio de 2010, no Cerrado.

TRATAMENTO	DCR cm cm <sup>-3</sup>	DMR (cm)	TE (%)
AVG	0,329	2,28	31,05
SUG	0,297	2,35	28,83
PD	0,276	2,56	26,40
SU	0,297	2,48	28,09
DsSU	0,265	2,52	26,14
DsPC	0,294	2,41	28,38
DMS	0,099	0,39	7,29
CV (%)	32,82	15,48	24,98
TUKEY	ns	ns	ns

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade).

Segundo Vasconcelos e Casagrande (2008), diversos fatores estão associados à distribuição em profundidade do sistema radicular da cana-de-açúcar, dentre eles estão fatores relacionados ao genótipo, à idade da planta, às condições físicas e químicas do solo e à disponibilidade hídrica.

Os dados dos atributos químicos deste solo foram apresentados por Moraes (2011), podendo-se perceber certa homogeneidade entre estes atributos nos diferentes tratamentos na camada de 0 a 0,20 m (Tabela 7). Isto pode ter ocorrido, pois a área já vem sendo explorada com culturas anuais até o momento da implantação do primeiro ciclo da cana, no ano de 2003. Portanto a camada arável apresenta maior uniformidade, e os tratamentos não foram suficientes para alterar as características desta área e interferir no crescimento do sistema radicular.

O teor de alumínio no solo pode afetar o crescimento das raízes, isto variando em função da espécie, da cultivar e da presença deste no solo (Vasconcelos e Casagrande, 2008). Segundo os autores, outro elemento que pode interferir na distribuição do sistema radicular é o cálcio, o qual atua como sinal no processo de gravitropismo.

Entretanto, apesar de algumas diferenças encontradas pelo autor nos teores de Ca, Mg e V(%) para o solo amostrado na camada de 0 a 0,20 m, estes estão dentro dos valores



recomendados como adequados para a cultura da cana na região do cerrado (SOUZA; LOBATO, 2004). A relação Ca:Mg que está em torno de 2,5 é tida como adequada.

**TABELA 7** - Atributos químicos do solo após a colheita da cana-de-açúcar em área de reforma, na profundidade de 0 a 0,20m, em maio de 2010, no Cerrado.

Tratamento	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Mg -----mg dm <sup>-3</sup> ---	P -----mg dm <sup>-3</sup> ---	K -----mg dm <sup>-3</sup> ---	V -----%-----	m	m.o --g kg <sup>-1</sup> -
AVG	5,85	1,52 ab	0,73	2,48	49,5	49,30 ab	0,57	1,85
SUG	5,80	2,00 ab	0,73	6,40	48,0	56,13 ab	0,00	1,75
PD	5,90	1,90 ab	0,63	12,80	51,5	53,10 ab	0,00	1,85
SU	6,42	2,92 a	1,10	6,03	59,5	65,45 a	0,00	2,28
DsSU	5,95	1,70 ab	0,65	4,05	64,0	51,13 ab	0,52	1,58
DsPC	5,62	1,17 b	0,45	2,15	53,5	38,68 b	2,92	1,58

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** - (subsolador + grade); **PD** - (Plantio direto); **SU** - (subsolador); **DsSU** - (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** - (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade). Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Já quando a quantidade de raízes foi comparada entre as diferentes profundidades avaliadas, independente do tratamento adotado, observaram-se diferenças significativas, havendo um decréscimo entre as camadas 0 – 0,20m e 0,20 – 0,40m (tabela 8). Porém observa-se uma distribuição uniforme do sistema radicular ao longo do perfil até a profundidade avaliada.

Vasconcelos et al. (2003), trabalhando com cinco metodologias de quantificação de raízes em cana de açúcar, também, identificaram diferenças na quantidade de raízes entre as profundidades avaliadas para todas as metodologias, apresentando na camada mais superficial a maior quantidade de raízes. Entretanto os autores encontraram menores quantidades nas camadas de 0-40 - 0,60m e entre 0,60 – 0,80m quando comparada ao que foi encontrado neste trabalho. O mesmo aconteceu no trabalho de Faroni e Trivelin (2006). Já Alvarez et al. (2000), avaliando massa de raiz até a profundidade de 1,00m, não identificaram diferença em profundidade entre as camadas.

Inforzato e Alvarez (1957) identificaram decréscimo na quantidade de raiz de cana na medida em que aumentaram a profundidade. Encontraram, para cana aos 18 meses de

idade, próximo à colheita, 66% do sistema radicular nos primeiros 30 centímetros do solo. Ball-Coelho et al. (1992) observaram que 62,69 % do sistema radicular distribuía-se nos 50 cm.

**TABELA 8** - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) em cana-de-açúcar após a colheita, em área de renovação de canavial a diferentes profundidades, em maio de 2010, no Cerrado.

PROFUNDIDADES	DCR cm.cm <sup>-3</sup>	Distribuição (%)	DMR (cm)	TE (%)
0 – 0,2m	0,324 a	27,6	2,33 a	29,89 a
0,2 – 0,4m	0,253 b	21,6	2,68 b	24,54 b
0,4 – 0,6m	0,279 ab	23,8	2,48 ab	27,35 ab
0,6 – 0,8m	0,316 ab	27,0	2,25 a	30,82 a
DMS	0,073	-	0,28	5,34
CV(%)	32,82	-	15,48	24,98
TUKEY	5%	-	1%	1%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

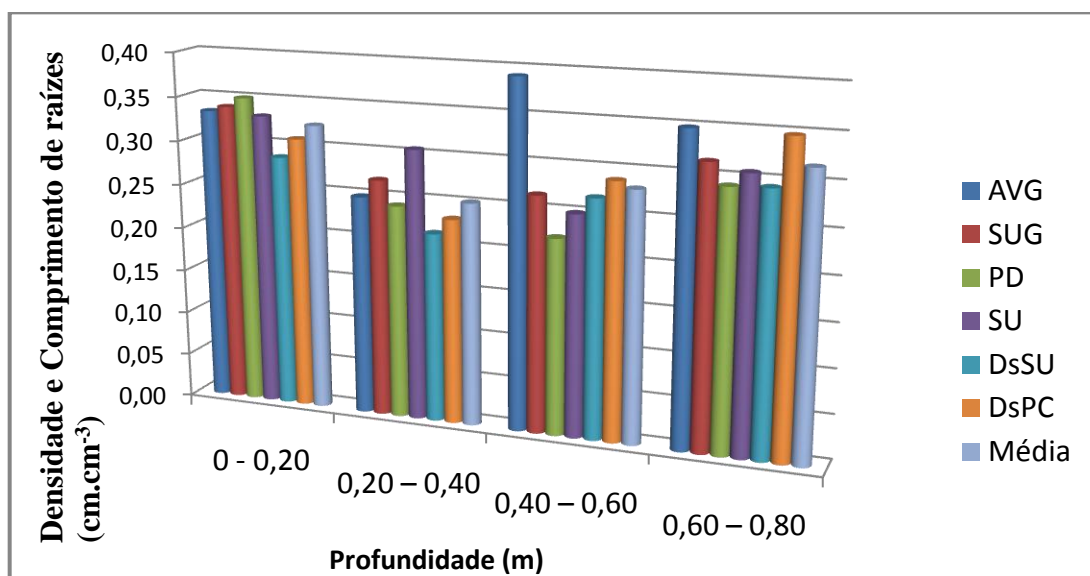
Azevedo et al. (2011), avaliando a densidade e comprimento de raízes até 0,60m em um Latossolo Vermelho eutroférico do Paraná, não identificaram diferença entre as profundidades avaliadas.

Costa et al. (2007), trabalhando com avaliação de raiz por meio da análise de imagem pelo programa SIARCS, em cana soca entre o terceiro e o quinto corte, em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com 83% de areia, também identificaram um decréscimo da quantidade de raízes da camada mais superficial para a mais profunda.

Paulino et al. (2004), trabalhando com três manejos pós-colheita na cultura da cana, identificou que o uso do escarificador a 0,15m de profundidade seguido de grade niveladora, nas entrelinhas, proporcionou um maior comprimento de raízes na camada de 0 – 0,25m.

A figura 4 apresenta os valores de DCR para cada tratamento em cada profundidade e apesar das diferenças numéricas não houve diferença estatística entre os tratamentos. O que é importante ressaltar é a quantidade de raízes, em todos os tratamentos na profundidade de 0,60-0,80m. Ao longo do perfil, a distribuição de raízes é bastante uniforme até a profundidade de 0,80m, diferentemente de Sampaio et al. (1987), que encontraram 75 % das raízes nos primeiros 0,20m e de Ball-Coelho et al. (1992) 62,69 % nos primeiros 0,50m.

Grande parte dos trabalhos que comparam a quantidade de raízes entre as diferentes profundidades identificam uma DCR bastante superior nas camadas mais superficiais, conforme citado anteriormente. Farias et al. (2008) também identificaram o mesmo, ao final do primeiro ciclo da cana nos primeiros 0,60m em torno de 80% da fitomassa da raiz em cana de sequeiro, e 90% em cana irrigada.



**FIGURA 4** – Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana-planta a diferentes profundidades e submetido a diferentes preparos de solo. **DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- (aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade).

Resultados sobre a densidade de comprimento de raízes próximo à superfície do solo apresentam grande variabilidade. van Antwerpen (1998), citado por Smith et al. (2005), identificou valores de DCR entre 0.5 e 2.7 cm cm<sup>-3</sup> para muitas cultivares sul africanas. Na Austrália (Reghenzani, 1993), também citado por Smith et al. (2005), encontrou valor máximo de 1.3 cm cm<sup>-3</sup>. Já na região nordeste do Brasil, Ball-Coelho et al. (1992) encontraram valores de até 5.3 cm cm<sup>-3</sup>. Azevedo (2008), no Paraná, encontrou 0.7 cm cm<sup>-3</sup> até 0,20m, em dois anos de avaliações. Mello Ivo e Mielniczuk (1999), trabalhando com milho, encontraram até 0,15m valores próximos a 3.0 cm cm<sup>-3</sup>.

Esta diferença de maiores quantidades de raízes em camadas mais profundas encontradas neste trabalho podem ser explicadas pelo fato de a metodologia adotada, proposta por Chopart et al. (2008), considerar a verticalidade do crescimento das raízes da

cana em camadas subsuperficiais, fato que não é observado por outras metodologias de análise da parede do perfil, como a que usa o programa SIARCS para interpretação de imagens de raízes expostas, quanto a que realiza apenas a contagem de raízes, ambas utilizadas por (VASCONCELOS et al., 2003).

Nota-se, na tabela 9, que a camada de 0 – 0,20m apresentam os teores mais elevados de nutrientes, os quais decrescem na medida em que se aumenta a profundidade. Estes valores chamam atenção para duas questões. Primeira, que a camada mais fértil é a que as raízes de desenvolveram em maior quantidade e, a segunda, que mesmo em solos com menor fertilidade o crescimento radicular acontece de forma significativa, o que por sinal é uma característica desta cultivar, qual seja, rusticidade.

**TABELA 9** - Valores médios (6 tratamentos e 4 repetições) de bases, fósforo, saturação por bases e por alumínio em solo submetido a diferentes preparos de solo em área de reforma de cana após sua colheita, em maio de 2010, no Cerrado.

Profundidade	Ca	Mg	K	P	V	m
	----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		-----mg dm <sup>-3</sup> ---		-----%-----	
0 – 0,2m	1,87	0,7	54,3	5,65	53	0,7
0,2 – 0,4m	0,7	0,3	28,0	4,07	27	23,4
0,4 – 0,6m	0,4	0,2	22,0	1,13	22	16,9
0,6 – 0,8m	0,2	0,2	12,3	0,84	18	1,2

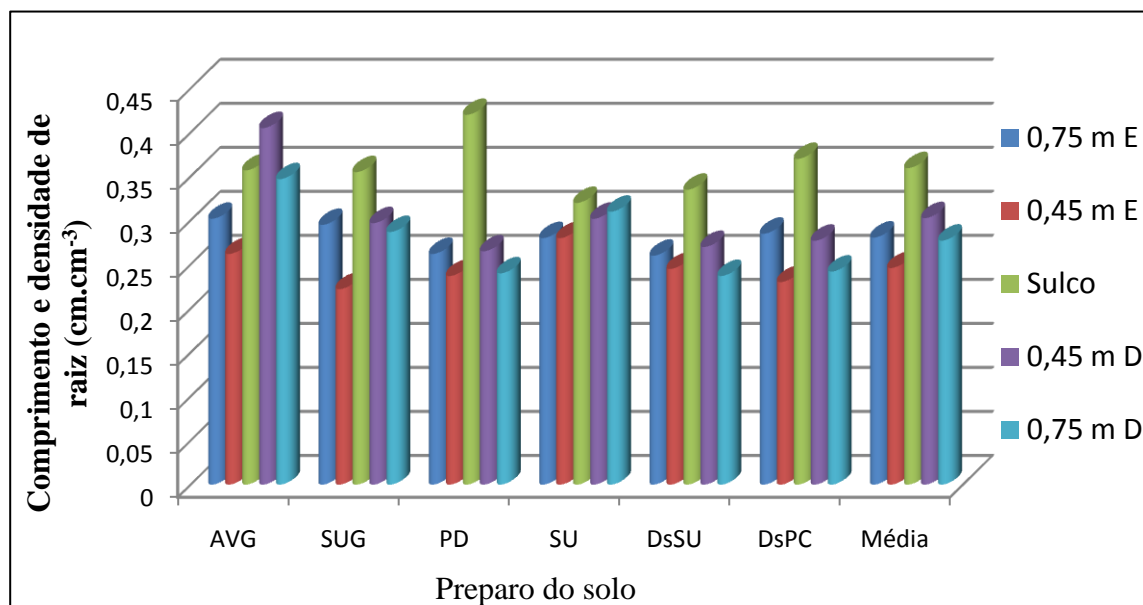
Em relação à distância horizontal das raízes ao longo do perfil (Tabela 10), nota-se que, a medida em que se distancia do sulco de plantio, ocorre um decréscimo na quantidade de raízes. Semelhante constatação foi descrita por Costa et al. (2007). Faroni e Trivelin (2006), também, encontraram diferenças entre o desenvolvimento de raiz em relação às distâncias horizontais da linha de plantio. Tal fato ocorre de na região do sulco, pois onde o tolete é plantado a raiz inicia e aí concentra o seu crescimento. Conseqüentemente, quanto maior a concentração de raízes menor a distância média entre elas e maior a taxa de exploração do solo por elas. Neste caso, houve um decréscimo de 35% em volume do solo explorado pelas raízes do ponto mais distante do tolete à esquerda em relação à linha de plantio.

**TABELA 10** - Densidade de comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita, em área de renovação de canavial, em diferentes distâncias horizontais do sulco, em maio de 2010, no Cerrado.

PROFUNDIDADE	DCR (cm cm <sup>-3</sup> )	Distribuição (%)	DMR (cm)	TE (%)
0,75 m E	0,246 b	16,8	2,67 a	24,34 b
0,45 m E	0,281 b	19,2	2,51 ab	27,39 b
Sulco de Plantio	0,360 a	24,6	2,17 c	33,06 a
0,45 m D	0,303 ab	20,7	2,38 bc	28,96 ab
0,75 m D	0,277 b	18,7	2,45 ab	27,26 b
DMS	0,066	---	0,27	4,89
CV(%)	28,18	---	13,61	21,58
TUKEY	1%	---	1%	1%

0,75 m – (0,45 a 0,75) ; 0,45 m – (0,15 a 0,45). D – direita e E – esquerda do sulco de plantio. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Em todos os tratamentos, a região abaixo do sulco de plantio foi a que apresentou as maiores quantidades de raiz (Figura 5).



**FIGURA 5** - Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana-plantada a diferentes distâncias horizontais do sulco, submetido a diferentes preparos de solo. **DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- (aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

### 3.3. Produtividade

Com relação às características agronômicas da cana-de-açúcar, não foram encontradas diferenças entre os tratamentos (Tabela 11). Isto indica que a ausência de preparo de solo, como no tratamento PD, não influencia no desenvolvimento da cana, principalmente nas fases da brotação, perfilhamento e crescimento. Apesar da diferença entre os preparos de solo, em todos os tratamentos, houve a prática da sulcação, que nada mais é do que abrir um sulco para a deposição do tolete. Portanto, em todos os tratamentos, a brotação e o perfilhamento da cana encontrou condições semelhantes.

Carvalho et al. (2010) encontraram menor diâmetro do colmo no tratamento PD, quando comparado ao PC e CM, porém isto não resultou em diferenças em produtividade.

**TABELA 11** - Características agronômicas da cana-de-açúcar submetida a diferentes preparos de solo, em área de renovação de canavial na região do cerrado, em Maio de 2010, no Cerrado.

<b>Tratamento</b>	<b>Diâmetro do colmo (cm)</b>	<b>Altura do colmo (m)</b>	<b>NºColmo m<sup>-1</sup></b>
<b>AVG</b>	2,68	2,54	14,87
<b>SUG</b>	2,58	2,37	14,87
<b>PD</b>	2,61	2,43	15,37
<b>SU</b>	2,62	2,52	14,25
<b>DsSU</b>	2,67	2,32	15,17
<b>DsPC</b>	2,62	2,42	14,95
<i>CV (%)</i>	6,92	10,61	4,06
<i>Tukey</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

**AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade). ns – não significativo.

Azevedo (2008), avaliando três preparos de solo, também, não identificou diferença para as características agronômicas da cana-de-açúcar. Camilotti et al. (2005), avaliando o efeito prolongado de preparo de solo, em cana, também, não encontraram diferença para o número de perfilho entre os diferentes preparos.

Nota-se que há uma tendência a uma relação inversa entre o número de colmos e o comprimento. Segundo alguns autores a brotação e o perfilamento estão mais associados à característica das variedades do que ao sistema de preparo de solo. Barbieri et al. (1997) avaliaram diferentes preparos de solo e identificaram, inicialmente, uma maior brotação na área em que houve preparo convencional. Entretanto, no decorrer do ciclo, os tratamentos se igualaram.

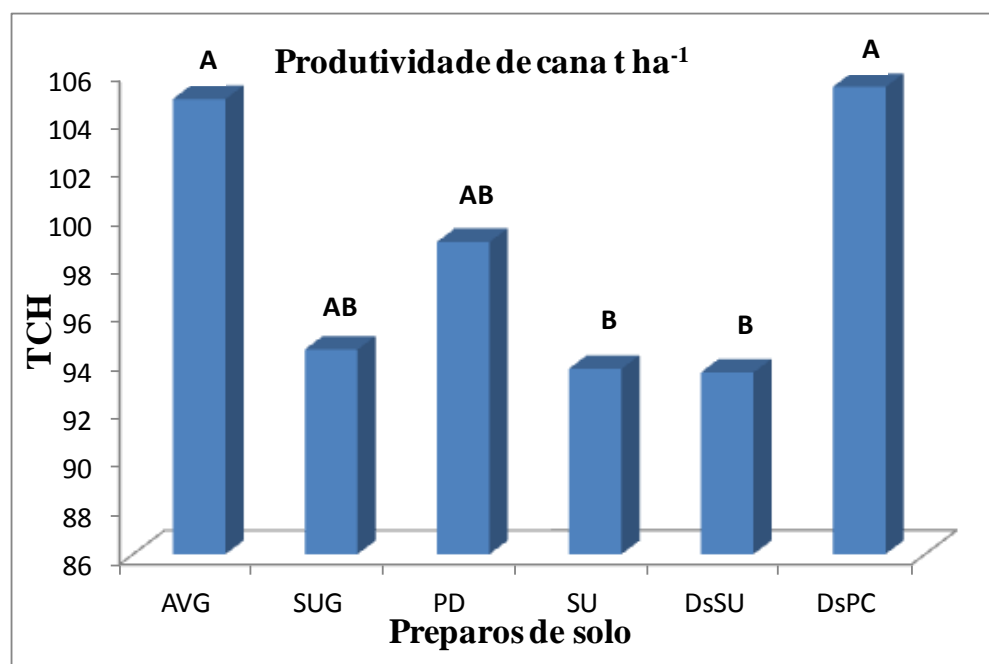
Apesar de não haver diferenças para o número de colmos entre os tratamentos, houve diferença entre eles para produtividade (Figura 6). Os tratamentos em que o revolvimento do solo foi mais intenso, com o uso de grades e do arado de aiveca, tratamentos AVG e DsPC foram os que obtiveram as maiores produtividades - 104,87 e 105,34 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, a uma diferença de 12 t.ha<sup>-1</sup> quando comparado às áreas em que o preparo do solo foi realizado com o subsolador - 93,52 e 93,67 t.ha<sup>-1</sup> no DsSU e SU respectivamente. Entretanto, o que chama a atenção nos resultados é o PD, que não diferiu em produtividade dos tratamentos mais intensos. Este fato demonstra que, para as condições do ensaio, em cana-planta, é viável a realização do plantio direto da cana-de-açúcar em área de reforma de canavial.

Normalmente, em trabalhos com preparos de solo na cultura da cana-de-açúcar não são detectadas diferenças entre os tratamentos para produtividade, como por exemplo em Azevedo (2008) e Paulino et al. (2004). Este fato pode ocorrer pelo pequeno tamanho da área amostrada para determinação da produtividade e que gera um grande coeficiente de variação o qual não permite a detecção da diferença entre os tratamentos. No caso de Azevedo (2008), que trabalhou com três tipos de preparo, foram avaliadas duas linhas de quatro metros cada (12 m<sup>2</sup>), onde obtendo-se CV de 16% em um ano e 20% em outro e diferenças de até 10 t ha<sup>-1</sup>, porém não detectadas pela estatística.

Já Paulino et al. (2004), avaliando três formas de escarificação na entrelinha da soqueira, em uma área de 39 m<sup>2</sup>, contaram o número de colmos, cortaram 10, pesaram e, com o peso médio do colmo, multiplicaram pelo o número de colmos da área. Encontraram CV de 27% e diferença de 20 t ha<sup>-1</sup>.

Neste trabalho toda a cana cortada na área avaliada de 375 m<sup>2</sup> foi pesada, podendo ser este o motivo do baixo CV e das diferenças encontradas. Grange et al. (2004), avaliando 5 preparos de solo, na Tailândia, em aera de expansão e reforma de canavial e avaliando

uma área de 80 m<sup>2</sup>, durante 8 safras (Cana-planta - expansão + 3 socas – Cana planta - reforma + 2 socas e Cana planta – reforma), encontraram as maiores produtividades no primeiro ano de cana-planta para o tratamento convencional (uso de 5 implementos) - mais do que o dobro da produtividade da área de plantio direto. As áreas, onde o preparo foi realizado com o subsolador obtiveram produtividade intermediária. Já nas reformas do canavial, o preparo que obteve maiores produtividades foi o que utilizou o subsolador. Neste trabalho, o PD apresentou-se pior nos anos em que os preparos de solo eram realizados. Porém, nas soqueiras, houve uma tendência de se equiparar aos demais tipos de preparos.



**FIGURA 6** - Produtividade de cana-de-açúcar em área de reforma submetida a diferentes formas de preparo de solo, no cerrado, em Maio de 2010. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. CV = 4,8%. **AVG**- (aiveca + grade); **SUG** – (subsolador + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **DsSU** – (destruidor de soqueiras + subsolador); **DsPC** – (destruidor de soqueiras + grade + aiveca + grade).

Carvalho et al. (2010) trabalharam com três preparos de solo que denominaram de convencional I, semelhante ao PC deste trabalho, convencional II, semelhante ao SU e o PD. Não detectaram diferenças de produtividade na primeira soca.



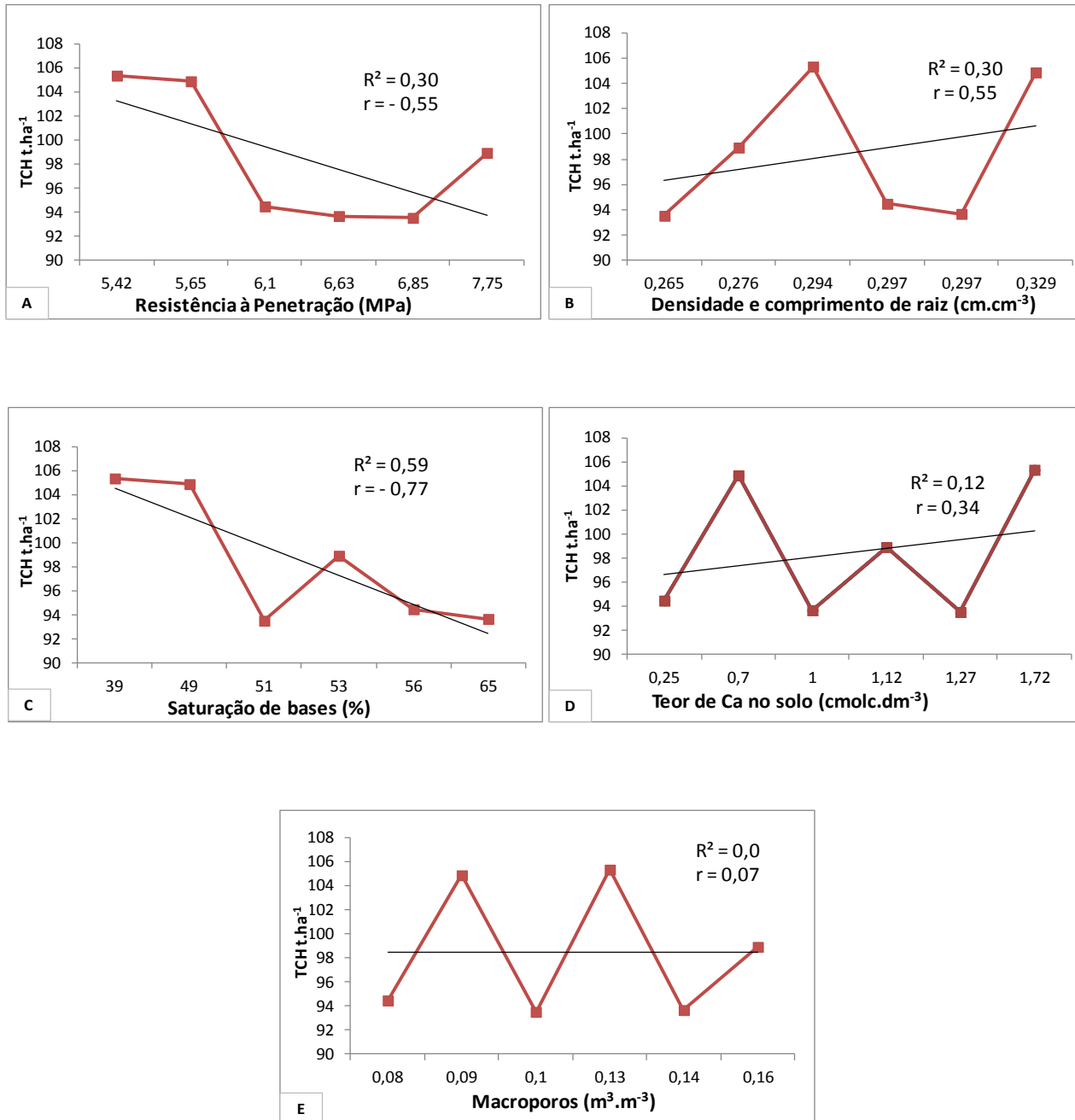
Portanto, observa-se que para a renovação de canavial o uso de subsolador, precedido por destruidor de soqueiras ou não, é a opção menos vantajosa, pois obteve a menor produtividade da cana-planta. Já o PD ou a mobilização apenas no sulco de plantio apresentou-se como uma opção viável, pois, além de não diferir em produtividade, apresenta menores custos: R\$83 por ha contra R\$445 por ha do preparo convencional - valores obtidos por (Carvalho et al., 2010).

Como as diferenças em produtividade encontradas entre os tratamentos não foram decorrentes do perfilhamento e nem das características agronômicas das plantas, as quais não apresentaram diferenças, fez-se um estudo de correlação entre outras variáveis estudadas nesta área e as produtividades obtidas em cada tratamento. Foram estudadas apenas as variáveis que, significativas pelo teste F, apresentaram diferença estatística entre as médias quando comparadas pelo teste Tukey a 1 ou 5%.

Sabe-se que existe correlação entre duas ou mais variáveis, quando as alterações sofridas por uma delas são acompanhadas por modificações nas outras (no caso de duas variáveis). Neste trabalho, considerando-se uma variável estudada (x) e a produtividade (y), buscou-se verificar se os aumentos (ou diminuições) em x correspondiam a aumentos (ou diminuições) em y.

Desta forma, na figura 7, são apresentados os coeficientes de correlação e de determinação entre alguns atributos avaliados e a produtividade da cana. Nota-se que, para a resistência à penetração (A) houve uma correlação moderada e negativa - o que significa que, a medida em que aumenta a resistência à penetração, ocorre um decréscimo em produtividade. Estes dados corroboram dados encontrados por Farias et al. (1999), que encontraram uma correlação de negativa de 0,67 para a cana, e Beuter e Centurion (2004), trabalhando com soja, encontraram uma correlação negativa de 0,95 entre produção de grãos de feijão e resistência à penetração.

Para a variável densidade e comprimento de raízes, houve uma correlação positiva, ou seja, à medida em que aumenta a densidade de raízes, houve um incremento em produtividade.



**FIGURA 7** - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( $r$ ) entre produtividade de cana (TCH) e diferentes variáveis. (A) – Resistência à penetração (B) – Densidade e comprimento do sistema radicular; (C) - Saturação por bases (Moraes, 2011); (D) - Teor de Cálcio no solo (Moraes, 2011); (E) – Macroporosidade.

Com relação aos atributos químicos e físicos do solo a maior correlação encontrada foi entre V (%) e produtividade. Entretanto a correlação foi negativa. Dias et al. (1999), trabalhando em diferentes solos, e Landell et al. (2003), trabalhando com atributos químicos de subsuperfície, encontraram um correlação menor (0,43) porém positiva. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que neste solo, apesar de apresentar diferença para os valores de V (%), com exceção de um ponto, todos estavam bem próximos ou acima de 50% - valor indicado para o cultivo da cana-de-açúcar em áreas do cerrado (SOUZA; LOBATO, 2004). Para o teor de cálcio no solo, a correlação foi fraca, enquanto para os macroporos foi nula.

#### **4. CONCLUSÕES**

- Considerando os atributos físicos do solo, o desenvolvimento de raízes e a produtividade de cana, o plantio direto mostrou-se viável para cana de primeiro ano em área de renovação.
- Em camadas de solos mais férteis, há um maior desenvolvimento do sistema radicular, neste caso na camada superficial até 0,20 m;
- O arado de aiveca em área de renovação de cana, proporcionou a maior produtividade para cana planta.

## 5. REFERÊNCIAS

- AFCRC - Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Catanduva. **Características agronômicas das principais variedades de cana-de-açúcar da Região Centro – Sul**. 2009. Folder.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e cana queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p.653-659, 2000.
- ASABE-American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Soil cone penetrometer**: ASAE standard S313.3. St. Joseph: ASABE, 2006.
- AZEVEDO, M.C.B. Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar. 2008. 100 f. **Tese** (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2008.
- AZEVEDO, M.C.B.; CHOPART, J.L.; MEDINA, C. de C. Sugarcane, root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 94-101, 2011.
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant ratoon crop of sugar cane. **Plant Soil**, v. 142, p. 297-305, 1992.
- BARBIERI, J.L.; ALLEONI, L.R.; DONZELLI, J.L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.89-98, 1997.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 48, n.1, p.75-92, 2002.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.
- BEUTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, jun. 2004.
- BOLONHEZI, D.; FERREIRA NETO, L.A.; PEIXOTO, W.M.; CASABONA, L.P.; CASALETTI, R.V.; BRAZ, G.H.R.; BRANCALIÃO, S.R.; DE MARIA, I.C. Biomassa de raiz e parte aérea da cana-de-açúcar em diferentes doses de calcário no manejo de solo

convencional e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. Uberlândia. **Anais ... Uberlândia**, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento: **Legislação**: inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. Brasília. 1998.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, T.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JÚNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 738-747. 2006.

CARVALHO, J.G.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 10, n. 3, p. 765-771, 2006.

CARVALHO, L.A.; SILVA JUNIOR, C.A.; MEURER, I.; CENTURION, J.F. Soil Physical attributes and yield of sugar-cane implanted under no tillage system. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION, 16., Chile, 2010. v.11, n.1, p. 407-411.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CHOPART, J.L.; RODRIGUES, S.R.; AZEVEDO, M.C.B.; MEDINA, C.C. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. **Plant and Soil**, v. 313, p. 101-112, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, maio / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2011.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 289-298, 1999.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de

cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p. 1503-1514, 2007.

CUNHA, J.P.A.R.; CASCÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n.3, p. 371-375, 2009.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.703-709, 1999.

DEMATTE, J.L.I. Manejo e conservação de solos na cultura da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, ano 1, n.1, p.8-17, 2004.

DIAS, F.L.L.; MAZZA, J.A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 627-634, 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. rev. e ampl.. Brasília, DF: **Embrapa informação tecnológica**, 2009. 627 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, n. 5, p. 51-52, 1985.

FONTES, P.C.R.; FERNANDES, H.C.; ARAÚJO, E.F. Características físicas do solo e produtividade da batata dependendo de sistemas de preparo do solo. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 355-359, 2007.

- FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.26, n.1, p.113-121, jan./abr.2006.
- FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 72-79, 2006.
- GONÇALVES, N.H. Manejo do solo para a implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A DE S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. de. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p.93-103.
- GRANGE, I.; PRAMMANEE, P.; PRASERTSAK, P. Comparative analysis of different tillage systems used in sugarcane (Thailand). **Australian Farm Business Management Conference**. Sydney: Australia, 2004.
- HELFGOTT, S. **El cultivo de la caña de azucar em la costa peruana**. Lima: UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), 1997. 495 p.
- IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 523-530, 2006.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 290, em solo tipo terra-roxa-legítima. **Bragantia**, Piracicaba. v. 16, n.1, p. 1-13, 1957.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Molecular Biology**., n. 46, p. 237-260, 1995.
- LANDELL, M.G. de A.; PRADI, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, M.A.; XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 741 – 745, 2003.
- MARTINS, M.V.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.
- MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. **International Review Cytology**, San Diego, v. 200, p. 1-46, 2000.



MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n. 35, p. 1197-1206, 2011.

MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B.; TORRETI, A.F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.

MELLO IVO, W.M.P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.135-143, 1999.

MORAES, E.R. **Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2011.

OLIVEIRA, S.A. Análise Foliar. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2004.

PAULINO, A.F.; MEDINA, C.C.; AZEVEDO, M.C.B.; SILVEIRA, K.R.P.; TREVISAN, A.A.; MURATA, I.M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.28. p.911-917, 2004.

PRADO, H.; PÁDUA JUNIOR, A.L.; GARCIA, J.C.; MORAES, J.F.L.; CARVALHO, J.P.; DONZELI, P.L. Solos e ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.

PRADO, R.M.; CENTURION, J.F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.

REIS, G. N.; BIZZI, A. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; GROTTA, D. C. C. G. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n. 32, p. 1827-1835, 2008.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; CAVALCANTI, F.J.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. III: conteúdo de nutrientes e distribuição radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 425-431, 1987.

SANZONOWICZ, C. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_14\\_911200585231.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_14_911200585231.html)>. Acesso em: 11 jan. 2012.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 765-769, 2001.

SCHROEDER, N.; SOUZA, K.G.; MACHADO, M.; ROMEIRO, E.; SCHLINDWEIN, J.A.; PEREIRA, E.C.F.; MARCOLAN, A.L. Rendimento da cultura do milho cultivado em diferentes sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari. **Anais ...** Guarapari: FERTBIOGuarapari, 2010.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa v. 21. p. 677-684, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 311-317, 1998.

SMITH, D.M.; INMAN-BARBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, p. 169-183, 2005.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Emprapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, n. 25, p. 395-401, 2001.

STORINO, M.; PECHE FILHO, A.; KURACHI, S.A.H. Aspectos operacionais do preparo de solo. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

VASCONCELOS, A.C.M. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 f. **Tese** (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882p.

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

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. Desenvolvimento radicular da can-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. **Encarte técnico POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n. 110, 2005. 32p.

### Capítulo 3

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PREPAROS DE SOLO SOBRE PASTAGEM

### RESUMO

Objetivou-se com este projeto estudar os efeitos de preparos de solo, para a implantação da cultura da cana-de-açúcar, nos atributos físicos do solo, no desenvolvimento de raízes e na produtividade da cultura da cana em área de expansão sobre pastagem. O experimento foi realizado no bioma cerrado, entre o período de abril de 2009 e maio de 2010 em área de expansão sobre pastagem formada há 12 anos. Foram avaliados seis diferentes preparos de solo, sendo eles: 1- arado aiveca + grade leve com dessecação (DAV); 2 - arado aiveca + grade leve sem dessecação (AVG); 3 - grade média + arado de aiveca + grade leve (PC); 4 - plantio direto (PD); 5 - subsolador (SU); 6 - grade média + arado de discos + grade leve (PCAd) para o ambiente de expansão. Após a colheita da cana, foram realizadas as seguintes avaliações: atributos físicos do solo, na entrelinha da cultura em três profundidades: 0 – 0,20 m, 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m; desenvolvimento de raízes com o método da parede do perfil e contagem de intersecção de raízes e posterior cálculo da densidade de comprimento de raiz, taxa de exploração do solo pela raiz e a distância média entre as raízes, por meio do software Racine 2, até a profundidade de 0,80 m, e a avaliação das características agronômicas da cultura, altura e diâmetro de colmo, número de colmos por hectare e tonelada de colmos por hectare. Considerando os atributos físicos do solo, o desenvolvimento de raízes e a produtividade de cana, o plantio direto mostrou-se viável para cana de primeiro ano. A cana-de-açúcar implantada em área com uso de subsolador, apesar de apresentar maior densidade de comprimento de raízes, obteve a menor produtividade de colmo. A prática da dessecação anterior à realização do preparo de solo não influenciou na produtividade de cana.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*; Sistema Radicular; Racine 2, Cerrado, Plantio Direto.

# SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES, ROOT SYSTEM DEVELOPMENT AND SUGARCANE YIELD UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGES AT EXPANSION AREA

## ABSTRACT

The sugarcane planting area at south central region of Brazil is growing very rapid, pushing for the occupation of pastures' area and also for the renewing areas already planted with this crop. It is well known that the production environment, where the crop grows, has straight relation with its yield potential. Biotic and abiotic agents may interfere at the root system development, which is responsible for plant sustention and also for water and nutrients uptake. This interaction may limit the use of these resources leading to a loss in yield. Nowadays there is a lack of studies which shows the effects of environment production on root system development. Although, this project aimed to identify the effects of different soil tillage on two environment production over the first year of sugarcane root system development. The experiment was conducted at Cerrado, from April 2009 through May 2010 in a pasture area. There were assessed six different soil tillages: 1 -drying + moldboard plough + light harrow disk (DAVG); 2 - moldboard plough + light harrow disk (AVG); 3 - medium harrow disk + moldboard plough + light harrow disk (PC); 4 - zero tillage (PD); 5- subsoiler (SU) 6 - medium harrow disk + disk plough + light harrow disk (PCAd). The treatments were set prior to sugarcane planting, which was done after mechanical opening the groove for seedpiece deployment. The experimental design was a completely randomized blocks with four replications. Each plot had 13 rows spaced of 1,5 m and 50 meters long. The soil physical attributes evaluated were: macro, micro and total porosity and soil bulk density at three depths: 0 – 0,20m ; 0,20 – 0,40m; 0,40 – 0,60m, on May 2010. Root evaluation was done after the sugarcane harvest using the profile wall and root counting, and by the use of Racine 2 software it was calculated the root length density. In each plot it was opened a trench with 1,5 m length by 0,90m depth. The results were compared between treatments, depth and horizontal distance from the plant. There were evaluated number of stems per meter, 5 middle rows and 30 meters, plant height and diameter, 10 plants, and yield of burned and manually harvested sugarcane, 5 middle rows and 50 meters. Soil physical proprieties at zero tillage were similar to all treatments. The highest yield was found at moldboard plough areas.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*; Root System; Racine 2, Savannah, No Tillage.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana de açúcar vem ocupando uma área cada vez maior em nosso país. Somente na safra 2010/11 houve um crescimento de 10,2% em área em relação à safra anterior, chegando a 8,1 milhões de hectares (CONAB, 2010), enquanto que para a safra 2011/12 a área prevista para colheita de cana foi de 8,44 milhões de hectares (CONAB, 2011).

A região do cerrado é onde esta expansão ocorre de forma mais acelerada. Somente nos últimos dois anos, o estado de Mato Grosso do Sul teve um crescimento de 51% em sua área de cana, enquanto os estados de Goiás e Minas Gerais tiveram um aumento de 25%, cada um.

No Bioma cerrado, predominam Latossolos, com 46% de sua área total (SANZONOWICZ, 2011), que são solos caracterizados por apresentarem bons atributos físicos, porém baixa fertilidade.

Nos últimos anos, a cultura da cana-de-açúcar tem apresentado significativos aumentos de produtividades na região Centro-Sul do Brasil. Este aumento é resultado de melhoramento genético, conhecimento e uso de técnicas agronômicas que melhor se adaptam à cultura e que permitem uma melhor expressão de seu potencial genético (LANDELL et al. 2003).

Segundo Prado et al. (2008), os componentes que diferenciam os ambientes de produção são: água, textura, fertilidade e profundidade. Dos ambientes de produção ocupados pela cana em expansão no cerrado, predominam áreas de pastagem e a renovação de áreas já em uso pela cultura.

O sistema radicular que está sob influência direta do ambiente de produção é responsável pela absorção e transporte de água e nutrientes do solo para a cultura e também serve como meio de sustentação para a planta. Portanto, a variabilidade das condições físicas, químicas e biológicas do solo tem influência direta na distribuição deste sistema (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2008), destacando-se como principais os teores de nutrientes e de água, a resistência mecânica à penetração e a aeração do solo (MEDINA et al., 2002).

Para Vasconcelos (2002), a arquitetura e distribuição do sistema radicular das plantas, bem como sua dinâmica de crescimento, é um dos fatores de maior importância na

relação solo- água-planta. Portanto, o conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar permite a utilização adequada das técnicas agronômicas, tais como: espaçamento, local de aplicação dos fertilizantes, operações de preparo do solo, drenagem dos solos e sistemas de irrigação, controle da erosão, uso de culturas intercalares, entre outras (CASAGRANDE, 1991). Assim, quanto maior o enraizamento de uma planta, maior sua capacidade de explorar o solo e aproveitar os nutrientes e a água disponíveis.

Além disso, às condições do solo proporcionam plasticidade na forma e no tamanho do sistema radicular os quais podem afetar o tamanho e a distribuição do crescimento das raízes, promovendo diferenças na capacidade das plantas de explorar camadas mais profundas do solo (SMITH et al. 2005).

As raízes têm influência direta sobre algumas características da planta, como resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e brotação, porte, tolerância à movimentação de máquinas, entre outros (VASCONCELOS; GARCIA, 2005). Entretanto não é a quantidade de raízes o fator determinante, mas sua distribuição no perfil do solo.

Apesar disso, o estudo da raiz não tem sido prioridade nas pesquisas realizadas com a cultura da cana. Segundo Vasconcelos et al. (2003), isto ocorre pela dificuldade na realização das análises e pela baixa precisão dos dados encontrados. A maior parte dos ensaios com a cultura é voltada para a avaliação apenas da parte superior da planta, ou seja, conhecer a produtividade.

Nos últimos anos, métodos de preparo de solo, como o reduzido e a semeadura direta, vêm sendo adotados em substituição aos preparos convencionais. Tais métodos, por não revolverem o solo ou revolvê-lo parcialmente, podem provocar no perfil estruturas diferentes daquelas resultantes dos preparos convencionais, as quais podem influenciar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, por consequência, sua produtividade (MELLO IVO & MIELNICZUK, 1999).

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos físicos do solo, o desenvolvimento radicular e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar, quando submetido a diferentes formas de preparo de solo para a implantação da cultura, em área de expansão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área

O experimento foi realizado em área de cerrado, no município de Goianésia-GO, localizada nas coordenadas 15° 10' S e 49° 15' O e altitude média de 640 m, no bioma Cerrado. Até a ocasião da implantação dos tratamentos, a área era ocupada pela forrageira *Brachiaria brizantha*.

O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (EMBRAPA, 2006), e, na ocasião do início do projeto, apresentavam os atributos químicos mostrados na tabela 1, e textura, conforme tabela 2.

**TABELA 1** - Caracterização química inicial do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, no Cerrado.

Prof. (m)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	P mg . dm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	T <sup>-3</sup>	V -----%-----	m	M.O. g. kg <sup>-1</sup>
0-0,2	4,01	0,45	0,29	1,65	1,4	78	8,25	9,19	10,25	63	16,2
0,2-0,4	3,97	0,23	0,15	2,0	0,7	19,2	8,70	9,12	4,8	82	10,4

pH em CaCl<sub>2</sub>; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

**TABELA 2** - Textura do solo em área de expansão de cana-de-açúcar nas profundidades 0 – 0,20m e 0,20 a 0,40m, no Cerrado.

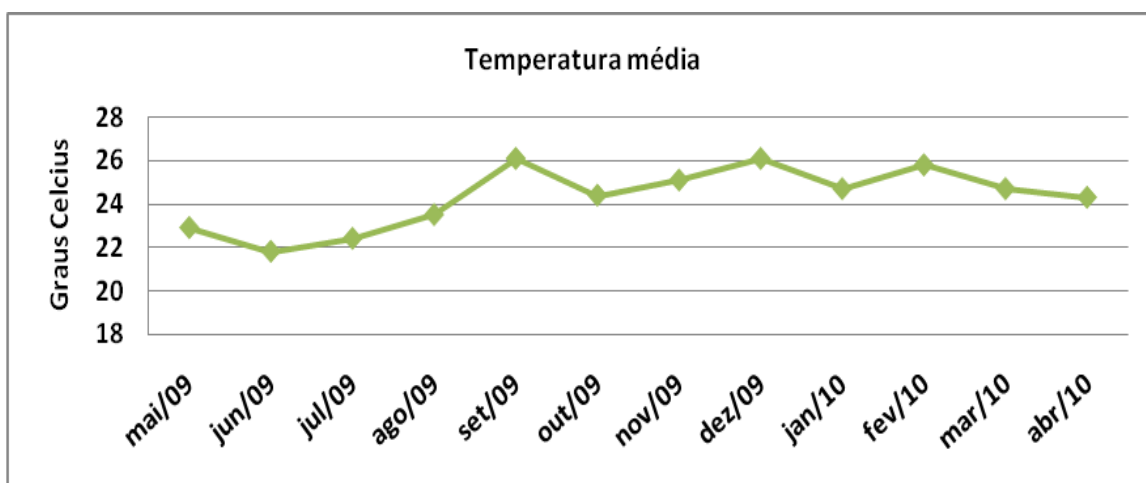
Prof. (m)	AG -----g kg <sup>-1</sup> -----	AF	Silte	Argila	Textura <sup>1</sup>
0 a 0,20	77	284	159	480	Argilosa
0,20 a 0,40	122	206	139	533	Argilosa

Prof. = Profundidade; AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

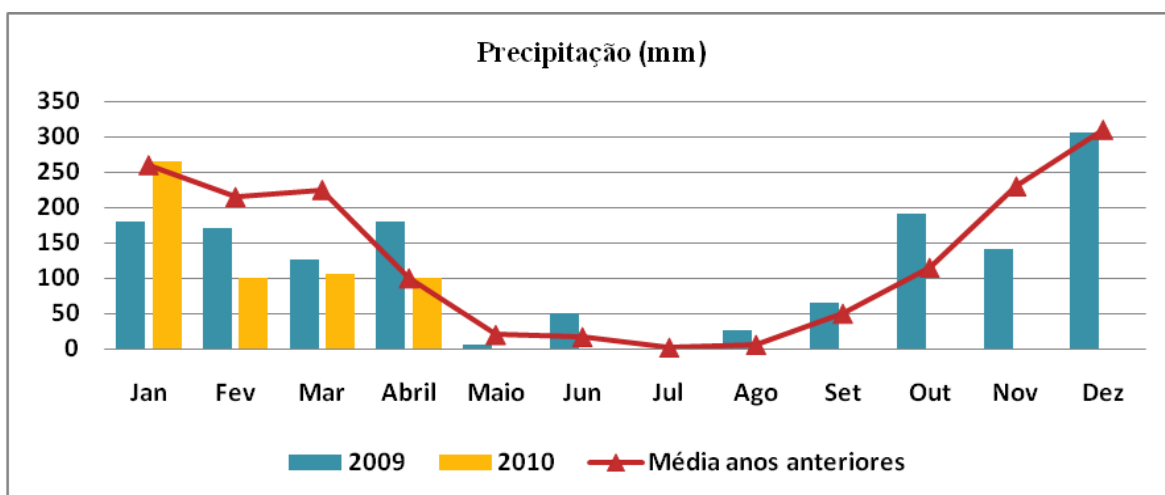


## 2.2 Caracterização do clima

O clima predominante da região é o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, quente e úmido, com verões chuvosos, de acordo com a classificação de Köppen. Durante a condução do experimento, ocorreram variações de temperatura de 21,8 °C, mínima, no mês de junho, a 26,1 °C em setembro de 2009, máxima (Figura 1). Dados da estação meteorológica da usina Jalles Machado indicaram um acúmulo de 1435 mm de precipitação durante o ano de 2009 e 570 mm nos primeiros meses do ano de 2010 (Figura 2).



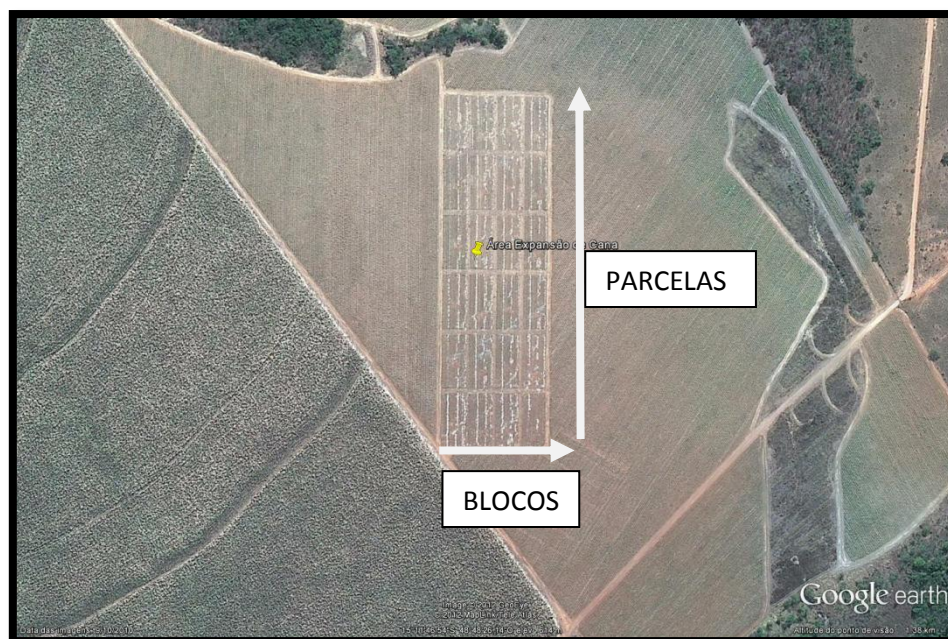
**FIGURA 1** - Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento.  
Fonte: Usina Jalles Machado.



**FIGURA 2** - Pluviometria média durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010. Fonte: Usina Jalles Machado.

### 2.3.Delineamento Experimental

O ensaio foi instalado seguindo um esquema de delineamento em blocos casualizados, sendo que cada bloco era composto de seis parcelas, contendo cada uma 50m de comprimento e 19,5m de largura, com 13 linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5m. Separando os blocos e as parcelas, havia carregadores com largura de 5m para a manobra de máquinas e implementos. Assim, a área de cada parcela era de aproximadamente 1000m<sup>2</sup>, e a área total do experimento de 2,4 hectares (Figura 3).



**FIGURA 3** - Vista aérea do ensaio na área de expansão com destaque para os blocos e as parcelas. Fonte: Google Earth, 2012.

Para o estudo das raízes, foi adotado um esquema fatorial 6 x 4 com quatro repetições, sendo nas parcelas seis tratamentos e nas subparcelas quatro profundidades. Para a comparação dos atributos de raiz com relação à distância horizontal destas com o sulco de plantio, foi adotado um esquema fatorial 6 x 5, sendo seis tratamentos e cinco distâncias. O perfil de cada unidade experimental era composto por 15 quadrados de 0,10m x 0,10m na horizontal e oito na vertical.

Nos atributos físicos do solo, foi adotado tanto para densidade e porosidade quanto para resistência à penetração um esquema fatorial 6 x 3, sendo nas parcelas seis tratamentos e nas subparcelas três profundidades, com quatro repetições.

Para as características agronômicas e tonelada de colmos por hectare, houve comparação apenas entre as parcelas.

As médias foram avaliadas pelo teste F a um e cinco (%) e, quando significativas foram comparadas pelo teste Tukey, por meio do programa estatístico Sisvar.

Realizou-se, também, a determinação do coeficiente de correlação entre a produtividade de cana e os atributos de solo e sistema de raiz que apresentaram diferença estatística significativa entre si.

#### 2.4. Tratamentos

Antes do plantio da cana, foram implantados seis tratamentos, sendo eles uma combinação ou não de equipamentos, que tiveram como objetivo a incorporação do calcário, a eliminação de possíveis camadas compactadas e a destruição de plantas daninhas. Os tratamentos foram os seguintes:

- 1) Dessecação + arado aiveca (0,40m) + grade leve (0,15m) – (**DAVG**) ;
- 2) Arado aiveca (0,40m) + grade leve (0,15m) – (**AVG**);
- 3) Grade intermediária (0,20m) + arado de aiveca (0,40m) + grade leve (0,15m) – (**PC**);
- 4) Dessecação + plantio direto – (**PD**);
- 5) Dessecação + subsolador (0,40m) – (**SU**);
- 6) Grade média (0,20m) + arado de discos (0,30m) + grade leve (0,15m) – (**PCAd**)

#### 2.5. Tratos Culturais

Anteriormente à implantação dos tratamentos, para algumas parcelas, conforme descrito acima, foi realizada a dessecação. Tanto para a área de expansão quanto para a área

de renovação foram utilizados herbicidas de largo espectro - glyphosate adicionando 2, 4 – D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A correção de acidez foi realizada antes da implantação dos tratamentos em área total com calcário dolomítico de PRNT 85 % e dose única de 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Logo após a implantação dos tratamentos e antes do plantio da cana, foi aplicado gesso agrícola em ambos os ambientes de produção e em área total 0,8 t.ha<sup>-1</sup>. A utilização destas doses iguais teve como objetivo evitar outra fonte de variação que não os tipos de preparo de solo.

O plantio foi realizado manualmente, no dia 24 de abril de 2009, colocando-se de 15 a 20 gemas por metro em sulcos abertos mecanicamente com sulcador + adubador. Foi utilizada a variedade CTC -2, menos exigente em fertilidade (AFCRC, 2009).

A adubação de plantio foi a mesma para todos os tratamentos e foi realizada no sulco com a distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP), equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 28 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Após a distribuição da cana nos sulcos, realizou-se a sua cobertura. No dia 5 de setembro de 2009, foi realizada uma adubação de cobertura com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B, na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup> equivalente a 50 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 130 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 3 kg.ha<sup>-1</sup> de Zn e de B.

## 2.6. Avaliações

### 2.6.1. Atributos Físicos do solo

Foram realizadas as seguintes avaliações visando determinar os atributos físicos do solo: resistência à penetração (RP), densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Com exceção da resistência à penetração que foi realizada no mês de fevereiro, as demais avaliações foram realizadas no mês de maio, após a colheita da cana.

A resistência do solo a penetração (RP) foi determinada na entrelinha da cultura da cana-de-açúcar, no mês de fevereiro de 2010, utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, desenvolvido por STOLF et al. (1983), até 0,60 m de profundidade, em cinco pontos por parcela. Assim, cada repetição foi formada pela média de cinco avaliações. Foram retiradas três amostras por parcela para a determinação de umidade, esta foi estratificada em 0,20m até a profundidade de 0,60m. Os dados obtidos

foram convertidos em resistência à penetração (MPa), seguindo orientações de (STOLF, 1991),

Para a determinação da densidade e porosidade, foi coletada uma amostra por parcela com estrutura indeformada, na entrelinha, com o uso do amostrador de Uhland, em anéis de 0,05m de altura x 0,05m de diâmetro. Os anéis foram coletados no centro das camadas 0 a 0,2m, 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6m.

A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 110 °C durante 24h. A macroporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão com uma coluna de água de 0,60m de altura. Pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade, obteve-se a microporosidade. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo seco a 110 °C durante 24h e o volume do anel (EMBRAPA, 1997).

#### 2.6.2. Sistema de raízes

As avaliações são referentes à cana-planta e foram realizadas após a colheita da cultura.

Para a avaliação das raízes, foi utilizada a metodologia de avaliação *in situ* que envolveu a contagem de intersecção de raízes no perfil, metodologia conhecida como parede do perfil e contagem (BÖHM 1976, citado por AZEVEDO et al., 2011).

Foi aberta em cada parcela, com o auxílio de uma retroescavadeira, uma trincheira com 1,5m de largura por 0,80m de profundidade. Em seguida, com o auxílio de um enxadão, a parede do perfil foi preparada, de forma que esta formasse um ângulo de 90° em relação ao fundo da trincheira. Com o objetivo de expor as raízes, passou-se um rastelo em toda a parede do perfil. À parede do perfil preparada, foi fixada uma tela com as dimensões de 1,5m de largura por 0,80m de profundidade com malha de quadrados de 0,10 x 0,10m, de forma que as extremidades da tela coincidisse com a entrelinha da cana. Então, foi realizada a contagem do número de raízes em intersecção (CIR) com o solo, em cada quadriculado de 0,10 x 0,10m.

Em laboratório de computação, os dados obtidos em campo foram inseridos no *software* RACINE 2 (CHOPART et al. 2008), responsável pela modelagem da densidade e

comprimento de raízes (DCR), distância média entre raízes (DMR) e taxa de exploração do solo (TE) a partir da contagem de intersecção de raízes (CIR).

### 2.6.3. Produtividade

A avaliação do número de colmos foi realizada dez meses após o plantio, contando-se todos os colmos compreendidos em trinta metros das cinco linhas centrais, totalizando uma área avaliada de 225 m<sup>2</sup>.

As características agronômicas avaliadas foram diâmetro e altura do colmo. Foram selecionados dez colmos por parcela, na semana da colheita, escolhidos em sequência em uma linha central da parcela. O diâmetro foi avaliado no terceiro entrenó da base para a ponta com paquímetro digital, enquanto a altura foi medida com fita métrica.

Para a determinação da produtividade (TCH), queimou-se o canavial antes da colheita feita manualmente. Posteriormente, foram pesadas, com o auxílio de balança adaptada a um carregador de cana, as cinco linhas centrais de todos os cinquenta metros da parcela, totalizando uma área avaliada de 375m<sup>2</sup> por parcela, sendo posteriormente os dados extrapolados para um hectare.

### 2.6.4. Atributos químicos do solo

Para a avaliação dos atributos químicos de solo, foram retiradas três amostras simples para formar uma composta em cada parcela, nas profundidades de 0 – 0,20m, 0,20 – 0,40m e 0,40 – 0,60m, após a colheita da cana-de-açúcar. As amostras foram transportadas para o laboratório de análises de solo, folhas, corretivos e fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia – LABAS – UFU, onde foram avaliados os seguintes atributos: teor de macronutrientes (K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg), (P) pelo método de mehlich<sup>1</sup>, e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), além do pH em CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica (MO), pelo método colorimétrico, e avaliação dos atributos químicos do solo: acidez trocável (Al<sup>3+</sup>); acidez total (H + Al); saturação por alumínio (m%); saturação por bases (V%), segundo metodologias descritas por EMBRAPA (2009). Estes dados foram apresentados e discutidos por Moraes (2011). Assim, serão apresentados neste trabalho apenas para

auxiliar nas discussões e no entendimento dos resultados do estudo de raízes e da produtividade de cana-de-açúcar.

#### 2.6.5. Análise Foliar

As amostras foliares foram coletadas em plantas com oito meses de idade. Coletou-se uma amostra composta por parcela, que foi formada por 20 folhas de plantas distintas e que foram escolhidas aleatoriamente nas cinco linhas centrais de cada parcela. Coletou-se a folha +1, ou seja, a primeira com bainha visível. Dividiu-se a folha em três partes iguais, aproveitou-se o terço médio, do qual foi retirada a nervura central. Foram realizadas as seguintes determinações: macronutrientes (P, K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2009). Assim como os dados de fertilidade do solo, estes dados foram apresentados e discutidos por Moraes (2011). Assim, serão apresentados neste trabalho apenas para auxiliar nas discussões e no entendimento dos resultados do estudo de raízes e da produtividade de cana-de-açúcar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Atributos físicos do solo

Dos atributos físicos do solo na área de expansão para a macroporosidade, houve interação entre os fatores analisados, diferindo estatisticamente dos demais apenas o tratamento PD e AVG, na profundidade 0,20 – 0,40m. Nesta profundidade a macroporosidade do PD, foi aproximadamente 60 % superior à encontrada no AVG,  $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  contra  $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ , respectivamente (Tabela 3). Azevedo (2008), trabalhando com três manejos de solo em soqueira da cana, não encontrou diferenças entre os tratamentos para esta variável. Falleiro et al. (2003), trabalhando com seis preparos de solo para culturas anuais, avaliando três profundidades, também, não encontraram diferença para macroporosidade. Já Mazurana et al. (2011) identificaram menores valores de macroporosidade para o sistema plantio direto, porém dentro deste sistema não identificaram diferenças entre as profundidades avaliadas, 0,03 – 0,12m, 0,12 – 0,20m e 0,20 – 0,30m.

Os valores de microporosidade não diferiram entre si nem entre os tratamentos e nem mesmo entre as profundidades (Tabela 3). Diferentemente do esperado, pois, por ser uma área onde a atividade pecuária vinha sendo explorada por vários anos, esperava-se pelo menos para o PD na camada mais superficial um valor maior de microporosidade e bastante inferior de macroporosidade, sinal de compactação pelo pisoteio do gado e, também, devido ao manejo da pastagem dado na região onde predomina a ausência do revolvimento do solo e também a correção química.

Segundo Schaefer et al. (2001), o efeito do preparo do solo sobre os valores de porosidade do solo pode ser pouco evidente, sendo mais comuns os efeitos na forma e distribuição dos poros ao longo do perfil.



**TABELA 3-** Macroporosidade, microporosidade em área de expansão de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	DAVG	AVG	PC	PD	SU	PCAd
<b>MACROPOROSIDADE m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>						
0 – 0,2	0,10Ba	0,09 Ba	0,09 Ba	0,10 Bab	0,14 Ba	0,11 Ba
0,2 – 0,4	0,11 ABa	0,09 Ba	0,12 ABa	0,15 Ab	0,10 ABa	0,14 ABa
0,4 – 0,6	0,09 Ba	0,10 Ba	0,11 Ba	0,09 Ba	0,13 Ba	0,12 Ba
CV (%)	24,18					
<b>MICROPOROSIDADE m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> ns</b>						
0 – 0,2	0,33	0,33	0,34	0,31	0,33	0,31
0,2 – 0,4	0,33	0,35	0,34	0,32	0,35	0,34
0,4 – 0,6	0,34	0,35	0,36	0,35	0,35	0,34
CV (%)	7,99					

**DAVG-** (dessecação + aiveca + grade); **AVG-** ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) e maiúscula na linha (compara tratamentos) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns – não significativo.

A maior macroporosidade no tratamento PD na profundidade 0,20 – 0,40m resultou em maiores valores de Pt, nesta camada e para este tratamento (tabela 4). Para os demais tratamentos e profundidades não foram detectadas diferenças significativas. Costa et al. (2003), avaliando preparo convencional e direto implantado a 21 anos, com a exploração de diversas culturas, também, não encontraram diferença entre os dois para a Pt. Entre profundidade no caso de PC, os autores identificaram maior valor de Pt nas camadas superficiais. Mazurana et al. (2011) identificaram menores valores de Pt para o tratamento semeadura direta na profundidade 0,12 – 0,20m.

Na tabela 4, pode-se identificar um aumento da Pt para o plantio direto (PD) na camada de 0,20 - 0,40m, o que fez com que este tratamento apresentasse o menor valor de densidade na comparação. Para os demais tipos de preparo de solo e para todas as profundidades, não houve diferença. Estes valores corroboram Falleiros et al (2003) que,

também, não encontraram diferenças para densidade entre seis preparos de solo distintos. Entretanto Tormena et al. (2002), trabalhando com três preparos de solo e Costa et al. (2003) com preparo convencional e PD, identificaram maior densidade para o sistema PD na camada de 0 – 0,10m porém na camada de 0,10 – 0,20m, esta diferença não foi detectada. Mazurana et al. (2011) não encontraram diferença nos valores de densidade para o PD em diferentes profundidades.

**TABELA 4** - Porosidade Total e densidade em área de expansão de cana-de-açúcar com diferentes preparos de solo, em maio de 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	DAVG	AVG	PC	PD	SU	PCAd
<b>POROSIDADE TOTAL m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup></b>						
0 – 0,2	0,43 a	0,42 a	0,42 a	0,41 a	0,46 a	0,42 a
0,2 – 0,4	0,45 a	0,45 a	0,47 a	0,48 b	0,45 a	0,47 a
0,4 – 0,6	0,46 a	0,45 a	0,47 a	0,44 ab	0,49 a	0,46 a
CV (%)	7,79					
<b>DENSIDADE Mg m<sup>-3</sup></b>						
0 – 0,2	1,36 a	1,40 a	1,39 a	1,42 a	1,31 a	1,29 a
0,2 – 0,4	1,38 a	1,39 a	1,31 a	1,25 b	1,37 a	1,30 a
0,4 – 0,6	1,26 a	1,28 a	1,26 a	1,28 ab	1,16 a	1,19 a
CV (%)	7,43					

**DAVG-** (dessecação + aiveca + grade); **AVG-** ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Para a avaliação da resistência à penetração no mês de fevereiro, com o penetrômetro de impacto, foram detectadas diferenças entre tratamentos e profundidades (Tabela 5). Em todos os tratamentos, a menor RP foi encontrada na camada de 0 - 0,20m. Porém nesta camada não houve diferença entre os tratamentos.

Já na camada abaixo - 0,20 – 0,40m - os maiores valores foram encontrados no sistema PC e DAVG, provavelmente, devido à ação dos implementos, podendo promover uma compactação no solo, quando de sua base em atrito com este, fato não verificado no sistema PD.

**TABELA 5** - Resistência à penetração do solo em diferentes preparos, em área de expansão de cana-de-açúcar, em fevereiro de 2010, no Cerrado.

PROF. (m)	TRATAMENTOS					
	DAVG	AVG	PC	PD	SU	PCAd
<b>RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (MPa)</b>						
0 – 0,2	7,17 Aa	5,72 Aa	8,13 Aa	7,27 Aa	5,90 Aa	7,02 Aa
0,2 – 0,4	10,62 Bb	8,60 Ab	11,17 Bb	8,40 Aa	8,92 ABb	9,82 ABb
0,4 – 0,6	8,57 Aa	7,32 Aab	8,27 Aa	6,47 Aa	6,17 Aa	6,80 Aa
CV (%)	14,81					
<b>UMIDADE GRAVIMÉTRICA (%)</b>						
0 – 0,2	16,46	14,91	15,89	15,50	16,35	15,41
0,2 – 0,4	17,26	14,54	16,76	16,23	17,65	17,73
0,4 – 0,6	17,87	16,42	18,33	16,21	19,64	16,91

**DAVG-** (dessecação + aiveca + grade); **AVG-** ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) e maiúsculas na linha (comparam tratamentos) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

### 3.2. Desenvolvimento de raízes

Foram identificadas diferenças entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas: densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) (DCR), distância média entre raízes (cm) (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE %) (Tabela 6), considerando todo o perfil.

O maior valor de DCR foi encontrado na área em que o solo foi preparado com o uso de subsolador (SU), apresentando uma densidade de comprimento de raízes 43 % superior do que aquela encontrada na parcela onde se utilizou arado de aiveca seguido de grade (AVG),  $0,759 \text{ cm cm}^{-3}$  contra  $0,530 \text{ cm cm}^{-3}$  respectivamente. Como consequência destes elevados valores de DCR no SU, também foram encontrados os maiores valores para TE do solo pelas raízes, com um volume de solo explorado de 51,84 % contra 41,96 % do AVG. Devido à maior DCR e TE, a distância média entre as raízes neste tratamento foi a menor 1,46 cm, contra 1,82 cm encontrado quando do uso do AVG.

**TABELA 6** - Densidade de comprimento de raízes (DCR) ( $\text{cm cm}^{-3}$ ), distância média entre raízes (DMR) (cm) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) (%) de cana-de-açúcar após a colheita, em área de expansão de cana sobre pastagem em diferentes preparos de solo, em maio 2010, no Cerrado, no perfil de 0 – 0,80 m.

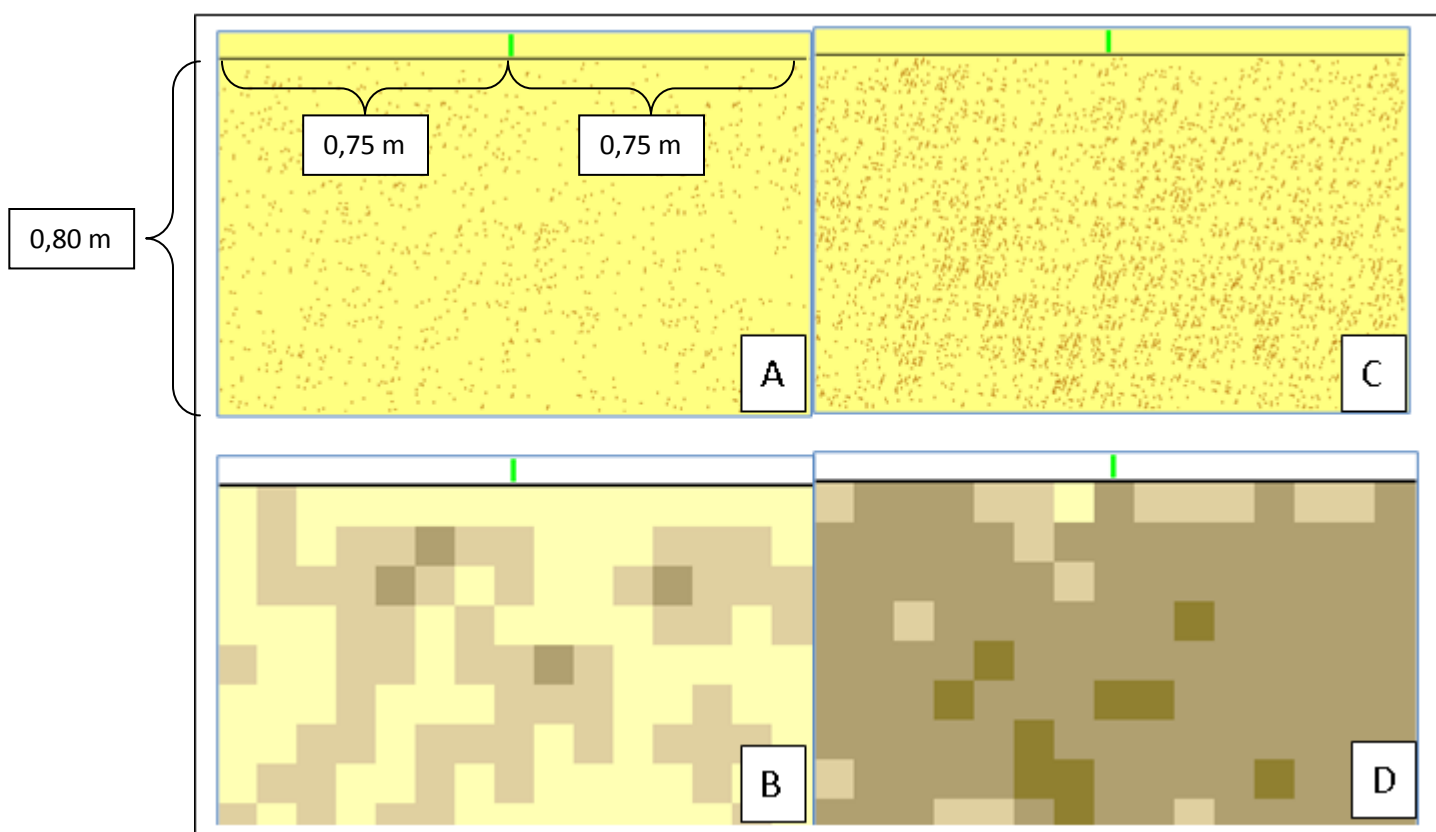
TRATAMENTO	DCR $\text{cm.cm}^{-3}$	DMR (cm)	TE (%)
<b>DAVG</b>	0,614 ab	1,71 ab	45,18 ab
<b>AVG</b>	0,530 b	1,82 b	41,96 b
<b>PC</b>	0,636 ab	1,60 ab	47,62 ab
<b>PD</b>	0,662 ab	1,60 ab	47,71 ab
<b>SU</b>	0,759 a	1,46 a	51,84 a
<b>PCAd</b>	0,702 ab	1,52 b	49,82 ab
DMS	0,207	0,29	7,87
CV(%)	30,71	17,25	16,04
TUKEY	5%	1%	1%

**DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Azevedo et al. (2011), trabalhando com três preparos de solo, sendo eles preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, não identificaram diferenças entre os tratamentos para a densidade de comprimento de raízes nas soqueiras de segundo e terceiro cortes.

Mello Ivo e Mielniczuk (1999) trabalhando com a cultura do milho submetido à diferentes preparos do solo também identificaram diferença entre os valores de DCR e fitomassa de raízes entre os tratamentos. Paulino et al., (2004) trabalhando com manejo pós colheita em soqueiras de cana encontraram maiores valores de comprimento de raízes no preparo com escarificador à 0,15 m de profundidade.

Na Figura 4 pode-se visualizar a distribuição de raízes ao longo de todo o perfil avaliado para os tratamentos AVG e SU. Observou-se quantidade superior de raízes na parcela onde utilizou-se o subsolador.



**FIGURA 4 -** Distribuição de raízes no perfil (1,5 m X 0,80m) : pontos de intersecção de raízes no plano no tratamento AVG (A); DCR agrupado por classes em malha 0,10 x 0,10 m no AVG(B); pontos de intersecção de raízes no plano no tratamento SU (C); DCR agrupado por classes em malha 0,10 x 0,10 m no SU (D), em Maio de 2010, no Cerrado.

Segundo Vasconcelos e Casagrande (2008), vários são os fatores que podem interferir no crescimento das raízes, dentre eles o genótipo, a idade, a disponibilidade de água, o teor de nutrientes, a temperatura e atributos físicos de solo. Na tabela 7 são apresentados valores de alguns atributos químicos deste solo, após a colheita da cana-de-açúcar, para auxiliar na compreensão do crescimento dos sistemas de raízes.

**TABELA 7** - Atributos químicos do solo após a colheita da cana em área de expansão, na profundidade de 0 a 0,20 m, em Maio de 2010, no Cerrado.

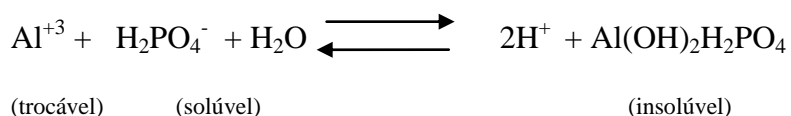
Tratamento	pH	Ca	Mg	P	K	V	m	m.o
	(CaCl <sub>2</sub> )	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		-----mg dm <sup>-3</sup> ---		-----%-----		--g kg <sup>-1</sup> -
0 – 0,20 m								
<b>DAVG</b>	5,1	0,70 ab	0,27 ab	1,0 c	67 a	19 ab	58 ab	1,5
<b>AVG</b>	4,9	0,25 b	0,22 b	1,1 c	78 a	10 b	75 b	1,5
<b>PC</b>	5,1	1,12 ab	0,57 ab	5,9 b	68 a	31 ab	37 ab	1,6
<b>PD</b>	4,9	1,00 ab	0,50 ab	4,7 cb	47 a	27 ab	46 ab	1,5
<b>SU</b>	5,0	1,27 ab	0,55 ab	3,4 cb	55 a	28 ab	35 ab	1,8
<b>PCAd</b>	5,50	1,72 a	0,92 a	11,6 a	73 a	44 a	16 a	1,8
0,20 – 0,40 m								
<b>DAVG</b>	4,7	0,30 ab	0,25a	0,6 b	54 a	9 ab	79 ab	1,2
<b>AVG</b>	4,8	0,20 b	0,15a	0,6 b	50 a	8 b	82 ab	1,1
<b>PC</b>	5,0	1,15 a	0,52a	7,6 a	55 a	29 a	47 a	1,5
<b>PD</b>	4,9	0,17 b	0,12a	0,8 b	24 a	7,0 b	86 b	1,4
<b>SU</b>	4,8	0,32 ab	0,12a	0,6 b	34 a	9 ab	79 ab	1,2
<b>PCAd</b>	4,8	0,50 ab	0,30a	0,9 b	33 a	13 ab	72 ab	1,2

**DAVG-** (dessecação + aiveca + grade); **AVG-** ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey. Adaptado de MORAES (2011).

Observa-se que no preparo do solo AVG os teores de Ca, Mg e o valor da saturação por bases (V%) nos primeiros 0,40 m de profundidade são bastante inferiores aos dos encontrados nos demais tratamentos, valores estes considerados baixos para solos do cerrado por Souza e Lobato (2004). Já para saturação por alumínio (m %) os teores são

superiores. Estes fatores certamente contribuíram para um menor desenvolvimento do sistema radicular neste tratamento.

Em solos ácidos o P predomina na forma  $H_2PO_4^-$  que em contato com o  $Al^{+3}$  presente no solo pode causar a precipitação de fosfatos, conforme equação demonstrada abaixo (NOVAIS et al. 2007):



A inibição do Al na absorção do P pode ser confirmada pelos dados obtidos por Moraes (2011) que detectou baixos teores de P nas folhas de cana nos tratamentos onde os teores de Al era elevados, mesmo nos tratamentos onde os teores de P no solo eram considerados satisfatórios. Também a baixa disponibilidade de P para as raízes inibem o seu crescimento.

Quando comparou-se a densidade de comprimento de raízes em profundidade não foram identificadas diferenças entre as mesmas (tabela 8). Vasconcelos et al. (2003), trabalhando com diferentes métodos para avaliação de raiz de cana-de-açúcar identificou para todos eles diferença em quantidade de raízes a medida que aumentava a profundidade, entretanto o solo encontrava-se em melhores condições de fertilidade.

**TABELA 8** - Densidade de comprimento de raízes ( $cm.cm^{-3}$ ), distância média entre raízes (cm) e taxa de exploração do solo pelas raízes (%), média de seis tratamentos, em área de expansão de canalial a diferentes profundidades, em maio 2010, no Cerrado.

PROFUNDIDADE	DCR $cm.cm^{-3}$	Distribuição (%)	DMR (cm)	TE (%)
0 – 0,2m	0,594	22,8	1,73	44,71
0,2 – 0,4m	0,678	26,0	1,57	48,63
0,4 – 0,6m	0,700	26,9	1,55	49,41
0,6 – 0,8m	0,630	24,3	1,63	46,65
DMS	0,151	---	0,21	5,77
CV(%)	30,71	---	17,25	16,04
TUKEY	ns	---	ns	ns

Neste trabalho houve uma uniformidade da distribuição das raízes ao longo do perfil em profundidade, sendo que aproximadamente 50% estão concentrados nos primeiros 0,40 m. Avilan (1978) citado por Costa et al. (2007), trabalhando com cana-de-açúcar em Portugal constatou que a maior concentração de raízes está na profundidade de 0,30 a 0,50m. Já Alvarez et al. (2000) estudando o crescimento de raízes de cana colhida com queima e sem queima, verificaram que 75 % das raízes de cana-de-açúcar colhida sem queima situaram-se nos primeiros 0,40m de profundidade do solo no primeiro ano de análise, e 70 % delas concentraram-se nessa profundidade na avaliação de segundo ano. Já para cana colhida queimada, os valores foram de 72 % de raízes nos primeiros 40 cm no primeiro ano e de 68 % no segundo ano.

Alvarez et al. (2000), trabalhando com cana-de-açúcar colhida crua e queimada não identificaram diferença entre as profundidades no volume de raiz, para cana-planta entre as diferentes profundidades avaliadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Medina et al., (2002), que identificou maior presença de raízes na camada de 0 – 0,25m. Costa et al., (2007) também identificaram diferenças entre as profundidades estudadas encontrando a maior concentração na camada mais superficial.

Um fator que pode ter contribuído para a não diferença na quantidade de raízes entre as camadas está relacionado aos atributos químicos do solo que, neste ambiente de produção estavam bastante homogêneos e abaixo dos considerados ideais por Souza e Lobato (2004), não favorecendo assim o crescimento da raiz em nenhuma das camadas, principalmente devido aos elevados teores de Al (Tabela 9).

**TABELA 9** - Valores médios (6 tratamentos e 4 repetições) de bases, fósforo, saturação por bases e por alumínio em solo submetido a diferentes preparos de solo em área de expansão de cana após sua colheita, Maio 2010, no Cerrado.

Profundidade	Ca ----cmol <sub>c</sub> . dm <sup>-3</sup> -----	Mg -----	K -----mg . dm <sup>-3</sup> ---	P ---	V -----%-----	m
0 – 0,2m	1,01	0,50	64,70	4,65	26,87	44,67
0,2 – 0,4m	0,44	0,25	41,83	1,86	12,59	74,20
0,4 – 0,6m	0,24	0,11	27,75	0,79	8,19	82,92
0,6 – 0,8m	0,12	0,07	21,20	0,40	5,70	86,36

Adaptado de MORAES (2011).



Segundo Smith et al. (2005), uma estratégia para aumentar a extração de água e nutrientes pelas plantas é a ramificação e o crescimento das raízes aumentando o volume de solo explorado. Para os autores, esta característica é conhecida como plasticidade, ou seja, para a extração de nutrientes pouco móveis no solo como, por exemplo, o fósforo, quando em baixos teores, há uma maior ramificação do sistema radicular, que no caso da área de expansão apresentou valores superiores aos encontrados em área de renovação. Como o Ca e o Mg chegam até a raiz através da interceptação radicular quanto maior for a ramificação maior o contato com estes elementos.

Thorburn et al. (2003) citados por Smith et al. (2005) avaliando aplicação de N em cana-de-açúcar identificaram que em doses mais elevadas do nutriente este foi extraído apenas da linha e que quando da ausência da aplicação deste o sistema radicular extraia o N das linhas e das entrelinhas.

Para a distância horizontal da raiz para cada tratamento não houve diferença estatística (Tabela 10). Notou-se que os tratamentos SU e PCAd se sobressaem nas três colunas centrais, centro (0), de 0,15 – 0,45 m a esquerda e a direita da linha de plantio. Isto, provavelmente contribuiu para que estes tratamentos obtivessem as melhores produtividades.

**TABELA 10** - Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) (DCR), distância média entre raízes (cm) (DMR) e taxa de exploração do solo pelas raízes (TE) após a colheita em faixas verticais de 0,30 m, em área de expansão de cana sobre pasto em diferentes distâncias horizontais do sulco, em Maio de 2010, no Cerrado.

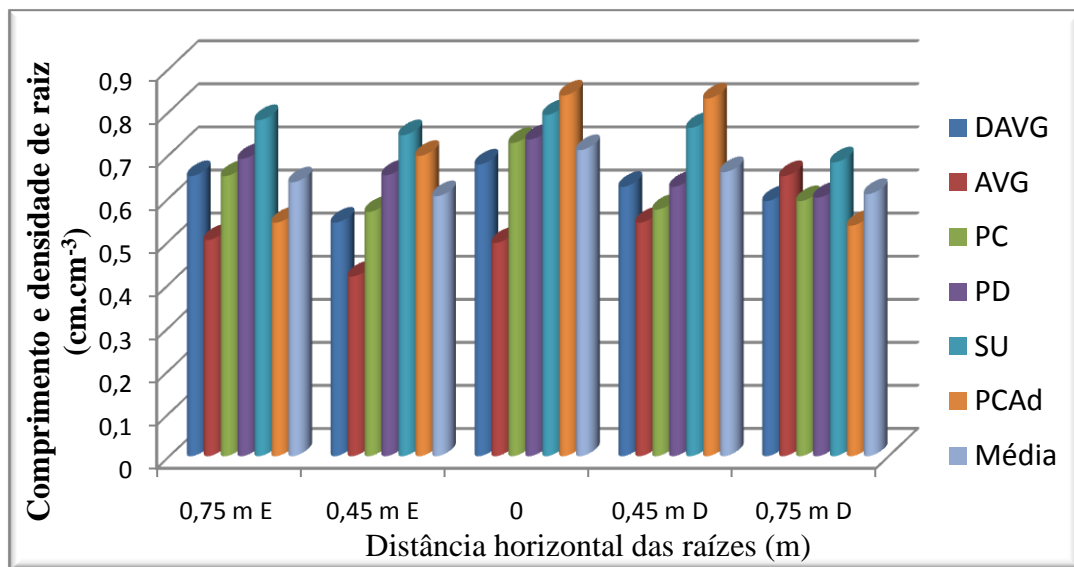
PERFIL	DCR $\text{cm.cm}^{-3}$	Distribuição (%)	DMR (cm)	TE (%)
0,75 m E	0,635	19,8	1,59	47,64
0,45 m E	0,604	18,8	1,65	46,26
Sulco de Plantio	0,711	22,1	1,56	49,32
0,45 m D	0,652	20,3	1,62	47,08
0,75 m D	0,609	19,0	1,70	45,56
DMS	0,160	---	0,21	5,74
CV(%)	31,03	---	15,98	15,14
TUKEY	ns	---	ns	ns

0,75 m – (0,45 a 0,75) ; 0,45 m – (0,15 a 0,45). D – direita e E – esquerda da linha de plantio. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Para a distância horizontal de raízes ao longo do perfil em relação ao sulco de plantio não foram detectadas diferenças significativas, sendo que o crescimento de raízes na região abaixo do sulco foi semelhante á densidade de raízes encontradas nas entrelinhas da cana ou seja no ponto mais distante do tolete. Costa et al. (2007) realizando comparação do crescimento de raízes de cana em relação à distância horizontal identificou diferenças para as duas cultivares estudadas. Já Paulino et al., (2004) trabalhando com três preparos de solo não detectaram diferença para o crescimento horizontal da raiz da cana.

Avilan (1978) citado por Costa et al. (2007) verificou que a maior concentração radicular ao redor das soqueiras está na distância de 0 a 0,35 m, enquanto a menor concentração radicular está na distância de 0,35 a 0,70 m da touceira. Fernandes (1985) encontrou a maior concentração de raízes na horizontal está a 0,30 – 40 m das linhas de cana.

Em ensaio avaliando a distribuição do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar submetido à diferentes períodos de estresse hídrico Baran et al. 1974, citado por Smith et al., (2005) identificaram que quanto maior o período de estresse mais homogênea a distribuição do sistema radicular em profundidade (figura 5).



**FIGURA 5** – Densidade e comprimento de raízes de cana de açúcar em cana-plantada a diferentes profundidades e submetido a diferentes preparos de solo. **DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

### 3.3. Produtividade

Na área de expansão da cana de açúcar sobre a pastagem foram encontradas diferenças entre os tratamentos para algumas das características agronômicas avaliadas (Tabela 11). O número de colmos  $m^{-1}$  foi menor no tratamento onde utilizou-se o arado de aiveca, provavelmente devido a inversão da leiva do solo, levando para camadas mais profundas a parte mais fértil do solo, limitando assim a disponibilidade de nutrientes, e também na área onde não houve o revolvimento do solo PD. Entre os demais tratamentos não foram encontradas diferenças. Um dos fatores que mais interferem na brotação da cana é a compactação ou a presença de torrões no sulco, entretanto todos os tratamentos houve sulcação antes do plantio deixando todos os tratamentos em iguais condições para a brotação das gemas.

**TABELA 11** - Características agronômicas da cana-de-açúcar submetida a diferentes preparos de solo, em área de expansão de canavial, em Maio de 2010, no Cerrado.

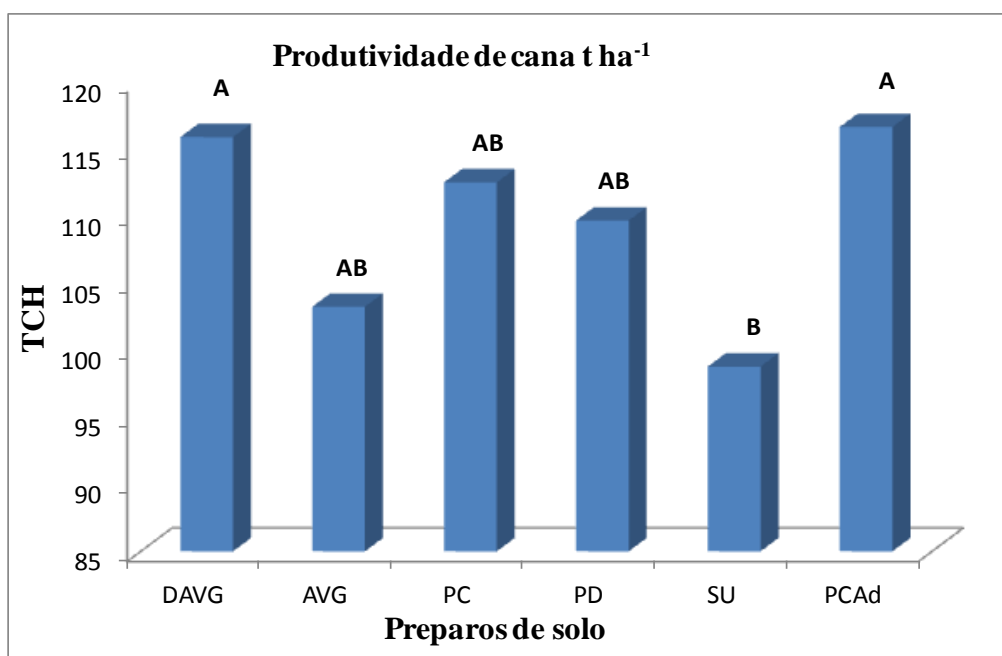
<b>Trat.</b>	<b>Diâmetro de colmo (cm)*</b>	<b>Altura (m)*</b>	<b>Nº Colmo.m<sup>-1</sup></b>
<b>DAVG</b>	2,75	2,0	16,95 ab
<b>AVG</b>	2,50	2,5	16,00 b
<b>PC</b>	3,0	2,2	18,50 a
<b>PD</b>	2,9	2,2	16,30 ab
<b>SU</b>	3,0	2,5	16,85 ab
<b>PCAd</b>	3,0	2,0	17,12 ab
<b>CV (%)</b>	10,97	20,95	5,30

**DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. \* Não significativo.

Apesar de apresentar menor número de colmos.ha<sup>-1</sup> os tratamentos com o uso de aiveca obtiveram produtividades semelhantes aos demais tratamentos (Figura 6). Assim como na área de renovação, o subsolador foi o implemento onde obteve-se a menor produtividade. A produtividade nesta área chegou a diferenciar em mais de 15 t.ha<sup>-1</sup> da área

onde utilizou-se arado de aiveca e grades. Grange et al. (2004) também encontraram, em área de expansão de cana, as menores produtividades quando utilizaram o subsolador.

Já Azevedo (2008) trabalhando com três preparos de solo, sendo um deles um escarificador, que trabalha a menores profundidades do que o subsolador, e dois anos de avaliação não encontrou diferença para os tratamentos. Carvalho et al. (2010) também não encontraram diferenças entre os três tratamentos avaliados. Camilotti et al. (2005) trabalhando com quatro sistemas de preparo não identificaram diferenças em produtividade e nem em número de colmos por metro.



**FIGURA 6** - Produtividade de cana-de-açúcar em área de expansão submetida a diferentes formas de preparo de solo, em Maio de 2010, no Cerrado. **DAVG**- (dessecação + aiveca + grade); **AVG**- ( aiveca + grade); **PC** – (grade + aiveca + grade); **PD** – (Plantio direto); **SU** – (subsolador); **PCAd** – (grade + arado de disco + grade). Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna (compara profundidades dentro do mesmo tratamento) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. CV = 6,02%.

Schroeder et al. (2010) trabalhando com três tipos de preparo de solo na cultura do milho, sendo um deles escarificador, não identificaram diferença na produtividade. Fontes et al. (2007) trabalhando com 8 preparos de solo na cultura da batata identificou menores produtividades quando do uso do subsolador.

Como as diferenças em produtividade encontradas entre os tratamentos não foram decorrentes do número de colmos e nem das características agrônômicas das plantas, assim

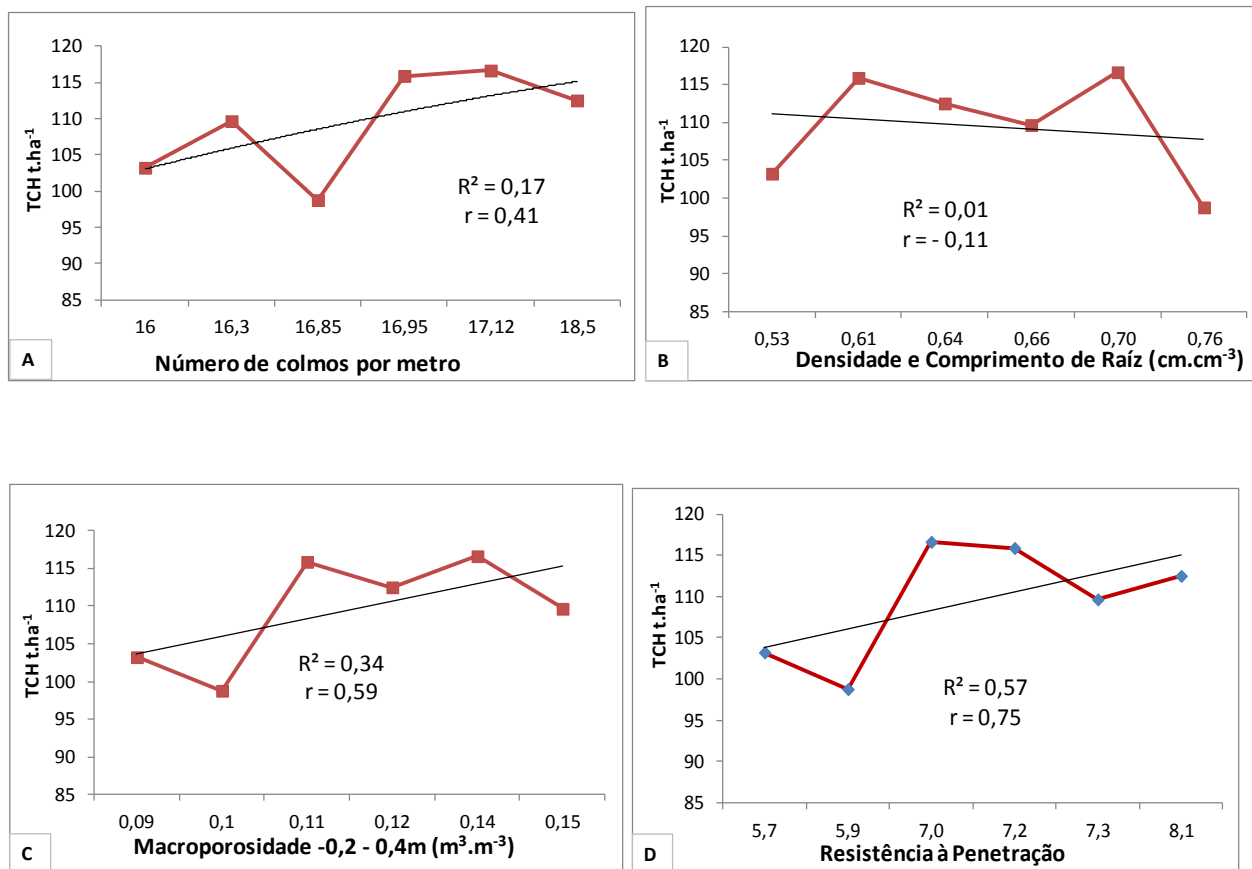
como na área de renovação, procurou-se estudar a correlação entre as diversas variáveis estudadas nesta área com a produtividade. Estudou-se apenas as variáveis que, significativas pelo teste F apresentaram diferença estatística entre as médias quando comparadas pelo teste Tukey a 1 ou 5%.

Observa-se que dos atributos avaliados da cana número de colmos por metro e densidade de comprimento de raízes (Figura 7 A e B) nenhum apresentou correlação moderada ou forte. Para o primeiro há uma correlação positiva, porém muito fraca já para a variável DCR esta relação é praticamente ínfima, porém negativa.

Diferentemente do encontrado no ambiente de produção – área de renovação – para a área de expansão houve uma correlação moderada positiva tanto para a macroporosidade quanto para a resistência à penetração. Carvalho et al. (2006) e Martins et al. (2009) não identificaram correlação entre resistência à penetração e a produtividade de grãos de feijão. Freddi et al. (2006) trabalhando com a cultura do milho, também não identificaram correlação entre RP e produtividade. Porém nos referidos trabalhos os autores encontraram valores de RP de no máximo 2,3 MPa, bastante inferior aos valores encontrados neste trabalho. Roque et al. (2008) encontraram baixa correlação entre a produtividade do feijoeiro irrigado com a resistência do solo ao penetrômetro.

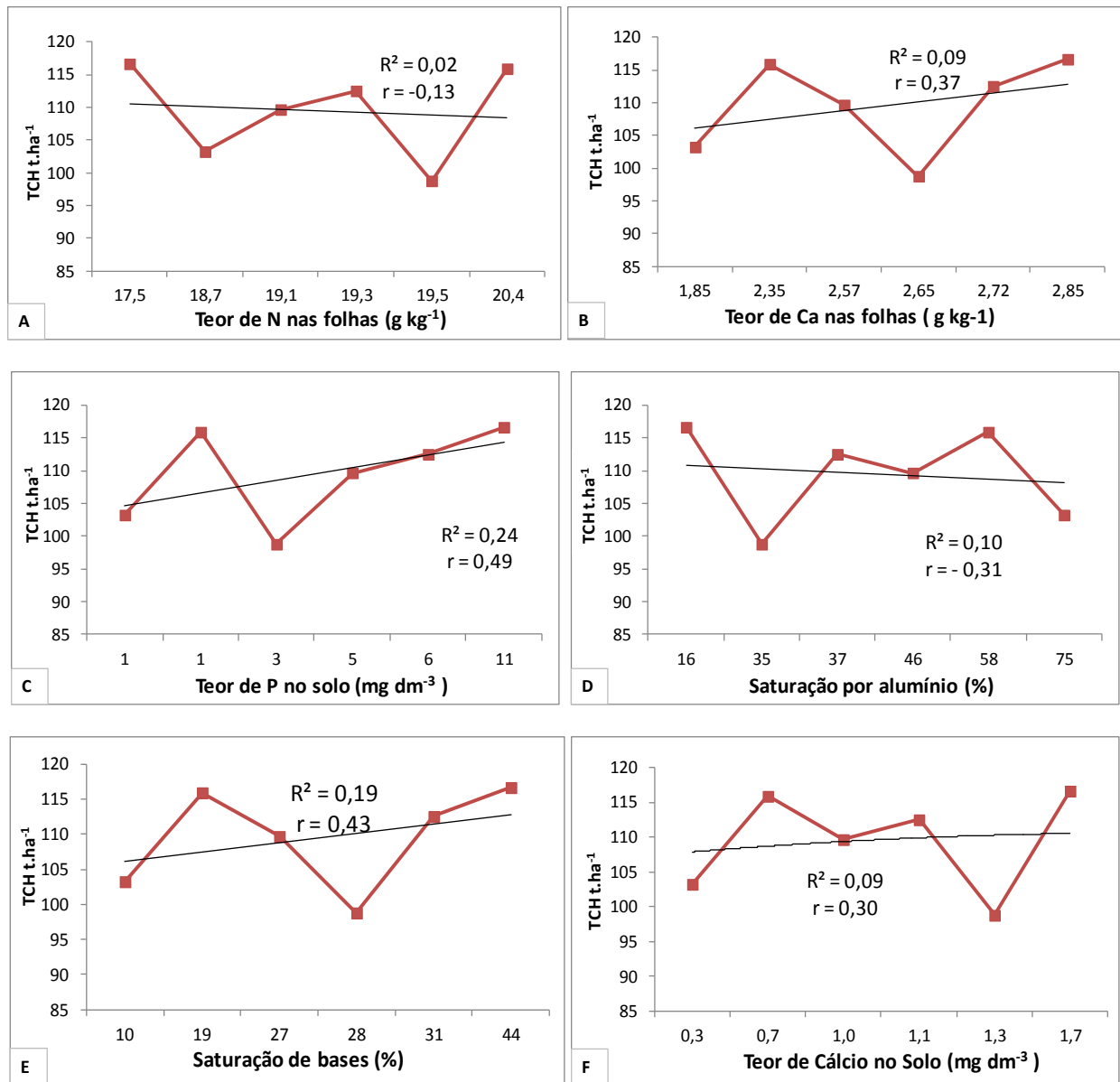
Vários autores afirmam que a resistência à penetração limita o crescimento radicular, porém neste trabalho encontrou-se uma correlação ( $r = 0,05$ ) praticamente nula entre ambas, e conforme pode-se verificar na Figura 7 (D) quanto maior a RP maior foi a produtividade, nas condições deste ensaio. Ou seja, neste caso a RP não só não limitou o crescimento radicular como também favoreceu o aumento em produtividade.

Em relação aos teores de nutrientes no tecido vegetal observa-se que para o teor de N a correlação foi praticamente nula, enquanto que para o teor de Ca, a correlação foi fraca, porém positiva, indicando que maiores teores de Ca na folha maior a produtividade de cana (Figura 8 A e B). No caso do N nas folhas, os valores encontrados estão próximo dos valores tidos como ideais para a cultura da cana por Oliveira (2004), que é de 19 – 21 g kg<sup>-1</sup>, possivelmente este o fato de não haver correlação.



**FIGURA 7** - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( $r$ ) entre diferentes variáveis analisadas e a produtividade de cana (TCH): (A) – Número de colmos por metro; (B) – Densidade e comprimento de raízes; (C) - Macroporosidade; (D) - Resistência à penetração.

Dos atributos químicos do solo, com exceção do m(%) todos os demais V(%), Ca e P apresentaram uma correlação positiva. O teor de P no solo foi o que apresentou a melhor correlação ( $r = 0,49$ ), intermediária, tendo em vista que quanto mais próximo de  $r = 1$  maior a correlação. Para o V(%) e o teor de Ca na camada de 0 - 0,20m os valores de  $r$  foram 0,43 e 0,31 respectivamente, correlação fraca. Poucos trabalhos existem na literatura avaliando estas correlações, porém os dois encontrados Dias et al., (1999) e Landell et al., (2003) encontraram valores bastante semelhantes aos encontrados neste trabalho e foram eles 0,56, 0,70, 0,43 e 0,30, 0,32 e 0,47 respectivamente P, Ca e V(%), primeiro e segundo trabalho.



**FIGURA 8** - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( $r$ ) entre diferentes variáveis analisadas e a produtividade de cana (TCH): (A) – Teor de N nas folhas; (B) – Teor de Ca nas folhas; (C) – Teor de P no solo (0-0,2m); (D) – Saturação por alumínio (0-0,2 m); (E) – Saturação de bases (0-0,2 m); (F) – Teor de Ca no solo (0-0,2 m).

Para o m(%) há uma correlação fraca negativa, indicando que a medida que há um aumento do valor de m(%) há uma queda em produtividade, Dias et al., (1999) e Landell et al. (2003) encontraram  $r = -0,33$  e  $-0,27$ , respectivamente, valores bastante próximos do encontrado neste trabalho.

Observa-se assim a influência agrícola do solo na produtividade da cana-de-açúcar, certamente as diferentes produtividades encontradas são advindas das diferentes condições de solo, proporcionadas por cada tipo de preparo.



#### **4. CONCLUSÕES**

- Considerando os atributos físicos do solo, o desenvolvimento de raízes e a produtividade de cana, o plantio direto mostrou-se viável de ser adotado para cana de primeiro ano.
- A cana-de-açúcar implantada em área com uso de subsolador, apesar de apresentar maior densidade de comprimento de raízes obteve a menor produtividade de colmo;
- A prática da dessecação anterior à realização do preparo de solo não influenciou na produtividade de cana.

## 5. REFERÊNCIAS

- AFCRC - Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Catanduva. Características agronômicas das principais variedades de cana-de-açúcar da Região Centro – Sul. 2009. Folder.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e cana queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p.653-659, 2000.
- ASABE-American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Soil cone penetrometer**: ASAE standard S313.3. St. Joseph: ASABE, 2006.
- AZEVEDO, M.C.B. Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar. 2008. 100 f. **Tese** (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.
- AZEVEDO, M.C.B.; CHOPART, J.L.; MEDINA, C. de C. Sugarcane, root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agricola**, n. 68, p. 94-101, 2011.
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant ratoon crop of sugar cane. **Plant Soil**, v. 142, p. 297-305, 1992.
- BARBIERI, J.L.; ALLEONI, L.R.; DONZELLI, J.L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n.1, p. 89-98, 1997.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 48, n.1, p.75-92, 2002.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 155-163, 2004.
- BEUTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, jun. 2004.
- BOLONHEZI, D.; FERREIRA NETO, L.A.; PEIXOTO, W.M.; CASABONA, L.P.; CASALETI, R.V.; BRAZ, G.H.R.; BRANCALIÃO, S.R.; DE MARIA, I.C. Biomassa de raiz e parte aérea da cana-de-açúcar em diferentes doses de calcário no manejo de solo convencional e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento: **Legislação**: inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. Brasília. 1998.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, T.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JÚNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**. v. 26, n. 3, p. 738-747. 2006.

CARVALHO, J.G.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 10, n. 3, p. 765-771, 2006.

CARVALHO, L.A.; SILVA JUNIOR, C.A.; MEURER, I.; CENTURION, J.F. Soil Physical attributes and yield of sugar-cane implanted under no tillage system. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION, 16<sup>th</sup>, 2010, Chile. v. 11, issue 1, p. 407-411.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CHOPART, J.L.; RODRIGUES, S.R.; AZEVEDO, M.C.B.; MEDINA, C.C. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. **Plant and Soil**, n. 313, p. 101-112, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, maio / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2011.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 289-298, 1999.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p.1503-1514, 2007.

CUNHA, J.P.A.R., CASCAÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31 n. 3, p. 371-375, 2009.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.703-709, 1999.

DEMATTE, J.L.I. Manejo e conservação de solos na cultura da cana. *Visão Agrícola*, Piracicaba, ano 1, n.1, p.8-17, 2004.

DIAS, F.L.L.; MAZZA, J.A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 23, p. 627-634,199.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. rev. e ampliada. Brasília, DF: **Embrapa informação tecnológica**, 2009. 627 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. 2. ed. **Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, n. 5, p. 51-52, 1985.

FONTES, P.C.R.; FERNANDES, H.C.; ARAÚJO, E.F. Características físicas do solo e produtividade da batata dependendo de sistemas de preparo do solo. **Horticultura Brasileira**, n. 25, p. 355-359. 2007.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, jan./abr. 2006.

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 72- 79, 2006.

GONÇALVES, N.H. Manejo do solo para a implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A DE S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. de. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p.93-103.

GRANGE, I.; PRAMMANEE, P.; PRASERTSAK, P. Comparative analysis of different tillage systems used in sugarcane (Thailand). **Australian Farm Business Management Conference**. Sydney, 2004.

HELFGOTT, S. **El cultivo de la caña de azucar em la costa peruana**. Lima: UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), 1997. 495 p.

IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 523-530,2006.

INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 290, em solo tipo terra-roxa-legítima. **Bragantia**, Piracicaba. v. 16, n.1, p.1-13, 1957.

KOCHIAN. L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Molecular Biology**., n. 46, p. 237-260, 1995.

LANDELL, M.G. de A.; PRADI, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, M.A.; XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agrícola**, v. 60, p. 741 – 745, 2003.

MARTINS, M.V.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.147-154, 2009.

MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. **International Review Cytology**, San Diego, v. 200, p. 1-46, 2000.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento da culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, p. 1197-1206, 2011.

MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B.; TORRETI, A.F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.

MELLO IVO, W.M.P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 273, p. 135-143, 1999.

MORAES, E.R. **Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2011.

OLIVEIRA, S.A. Análise Foliar. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2004.

PAULINO, A.F.; MEDINA, C.C.; AZEVEDO, M.C.B.; SILVEIRA, K.R.P.; TREVISAN, A.A.; MURATA, I.M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28. p. 911-917, 2004.

PRADO, H.; PÁDUA JUNIOR, A.L.; GARCIA, J.C.; MORAES, J.F.L.; CARVALHO, J.P.; DONZELI, P.L. Solos e ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.

PRADO, R.M.; CENTURION, J.F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n.1, p.197-203, 2001.

REIS, G. N.; BIZZI, A. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; GROTTA, D. C. C. G. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p. 1827-1835, 2008.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; CAVALCANTI, F.J.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. III: conteúdo de nutrientes e distribuição radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 425-431, 1987.

SANZONOWICZ, C. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_14\\_911200585231.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_14_911200585231.html)>. Acesso em: 11 jan. 2012.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 765-769, 2001.

SCHROEDER, N.; SOUZA, K.G.; MACHADO, M.; ROMEIRO, E.; SCHLINDWEIN, J.A.; PEREIRA, E.C.F.; MARCOLAN, A.L. Rendimento da cultura do milho cultivado em diferentes sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., Guarapari, 2010. **Anais....** Guarapari: FERTBIO, 2010.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21. p. 677-684, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p.311-317, 1998.

SMITH, D.M.; INMAN-BARBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, p. 169-183, 2005.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Emprapa Informação Tecnológica. 2004. 416 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 15, n.3, p. 229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.

STORINO, M.; PECHE FILHO, A.; KURACHI, S.A.H. Aspectos operacionais do preparo de solo. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

VASCONCELOS, A.C.M. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 f. **Tese** (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. Fisiologia do sistema radicular. In: (Eds.) DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.

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

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. Desenvolvimento radicular da can-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. **Encarte técnico POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n. 110, 2005. 32p.