

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**MORFO-ANATOMIA DE RAÍZES TUBEROSAS DE MANDIOCA**  
**(*Manihot esculenta* Crantz) cultivar IAC 576-70 EM DIFERENTES**  
**PREPAROS DO SOLO**

**PRISCILA GONZALES FIGUEIREDO**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP  
Fevereiro-2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**MORFO-ANATOMIA DE RAÍZES TUBEROSAS DE MANDIOCA**  
*(Manihot esculenta Crantz) cultivar IAC 576-70 EM DIFERENTES*  
**PREPAROS DO SOLO**

**PRISCILA GONZALES FIGUEIREDO**  
**Engenheira Agrônoma**

**Orientador: Prof. Dr. SILVIO JOSÉ BICUDO**

**CO-Orientadora: Prof. Dr. MARINA APARECIDA DE MORAES DALLAQUA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP  
Fevereiro 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F475m Figueiredo, Priscila Gonzales, 1986-  
Morfo-anatomia de raízes tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivar IAC 576-70 em diferentes preparo do solo / Priscila Gonzales Figueiredo. - Botucatu, [s.n.], 2012  
xi, 73 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Silvio José Bicudo

Co-Orientador: Marina Aparecida de Moraes Dallaqua

Inclui bibliografia

1. Mandioca de mesa. 2. Anatomia quantitativa. 3. Anatomia qualitativa. 4. Sistema radicular. I. Bicudo, Silvio José. II. Dallaqua, Marina Aparecida de Moraes. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MORFO-ANATOMIA DE RAÍZES TUBEROSAS DE MANDIOCA  
(*Manihot esculenta* Crantz) CULTIVAR IAC 576-70 EM  
DIFERENTES PREPAROS DO SOLO

ALUNA: PRISCILA GONZALES FIGUEIREDO

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO JOSE BICUDO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SILVIO JOSE BICUDO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. TERESA LOUSADA VALLE

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARIO TAKAHASHI

-Data da Realização: 24 de fevereiro de 2012.

À Deus pelo dom da vida,

À minha família Luiz, Izabel, Manoela e Anastácio (*in memorin*), Luiz Ernani, Patrícia, Eduardo, Alícia e André, Luiz Figueiredo e Jacy, alicerce de tudo.

À Fábio pelo afeto e amizade.

Às minhas lindas meninas Dedé e Muzi pelo amor e amizade incondicional.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus Orientadores Silvio José Bicudo e Marina Aparecida de Moraes Dallaqua pela valiosa orientação pessoal e profissional.

A todos os mestres que contribuíram com minha formação desde a infância.

Aos meus amigos funcionários da Fazenda experimental da FCA.

Aos funcionários do Departamento de Produção vegetal-Agricultura.

Aos Funcionários e professores do departamento de Botânica do Instituto de Biociências, em especial Kléber, Tatiane, Inara e Maria Elena.

Aos funcionários e alunos do Centro de Raízes e Amidos Tropicais, em especial, Luiz, Juliana, Thaís, Cristiane, Alessandra Luisa, Alessandra e Magali.

Aos funcionários do departamento de engenharia Rural Mauri Torres, Gilberto e Emanuel Spadim.

À Professora Martha Mischan.

À Helena e Mário Tanamati, pelo carinho que dedicam a mim.

Ao Senhor Henrique Monte Ferrante.

Aos meus amigos: Elza, Rubens, Juliane, Kelly, Cristiane, Renata, Sihélio, Felipe, Eduardo, Débora, Camila Braga, Camillo, Carlos Jorge, Adalton, Selma, Aline Matoso, Lucas, Silvia, Aline Sandim, Maurício, Gêssica, Éder, Willian, Murilo, Rodrigo, Caroline, Natália, Amanda, Miriam, Tereza e Ondina.

Aos funcionários da Biblioteca do Lageado pela eficiência, gentileza e bom humor.

A Capes pela concessão de bolsa de estudo.

E a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
4.1 A cultura da mandioca.....	7
4.2 Preparos do solo na cultura da mandioca .....	8
4.3 Crescimento e desenvolvimento radicular em função do preparo do solo.....	10
4.4 Sistema radicular da planta de mandioca .....	11
4.5 Anatomia e produção vegetal .....	13
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental .....	16
5.2 Delineamento experimental.....	18
5.3 Instalação e condução do experimento.....	18
5.4 Cronograma das avaliações .....	19
5.5 Avaliações .....	20
5.5.1 Solo.....	20
5.5.1.1 Porosidade .....	21
5.5.1.2 Teor de água .....	21
5.5.1.3 Resistência a penetração.....	21
5.5.2 Raízes .....	21
5.5.2.1 Número, comprimento e diâmetro.....	21

5.5.2.2 Massa fresca total, massa seca total e porcentagem de massa seca.....	22
5.5.2.3 Características morfológicas.....	22
5.5.3 Anatomia .....	22
5.5.3.1 Estudo anatômico qualitativo .....	22
5.5.3.2 Estudo anatômico quantitativo .....	24
5.5 Análise estatística .....	27
5.5.1 Solo.....	27
5.5.2 Raízes .....	27
5.5.3 Morfologia das raízes .....	27
5.5.4 Anatomia qualitativa.....	27
5.5.5 Anatomia quantitativa.....	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
6.1 Solos .....	29
6.2 Raízes .....	34
6.3 Morfologia das raízes .....	43
6.4 Anatomia qualitativa.....	46
6.5 Anatomia quantitativa.....	56
6.6 Considerações finais .....	63
7 CONCLUSÕES .....	65
8 REFERÊNCIAS .....	66



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1. Atributos químicos do solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m antes da instalação do experimento. ....	17
2. Atributos físicos do solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m antes da instalação do experimento. ....	17
3. Data do início e fim, duração e avaliações realizadas nas fases de desenvolvimento da cultura da mandioca durante a condução do experimento.....	20
4. Coeficientes de correlação linear entre os componentes de produção de raízes tuberosas de <i>M. esculenta</i> Crantz cv. IAC 576-70, cultivadas em três preparos do solo (CM, PC e PD) avaliadas em doze épocas. ....	38
5. Caracteres morfológicos de raízes tuberosas de <i>M. esculenta</i> Crantz cv. IAC 576-70 aos 360 DAP, desenvolvidos em três preparos do solo. ....	44
6. Coeficientes de correlação linear entre os parâmetros da anatomia quantitativa em raízes de <i>M. esculenta</i> Crantz cv. IAC 576-70, nos três tratamentos aos 30, 60 e 90 DAP. ....	62
7. Coeficientes de correlação linear entre os parâmetros da anatomia quantitativa e os principais componentes de produção da raiz tuberosa de <i>M. esculenta</i> Crantz cv. IAC 576-70, cultivadas em três preparos do solo (CM, PC e PD) avaliadas em doze épocas.	63

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Temperaturas máximas, mínimas e precipitações pluviárias mensais observadas de outubro de 2010 a outubro de 2011 em Botucatu, SP.....	17
2. Aspecto das parcelas após a aplicação dos tratamentos, A- CM (cultivo mínimo), B- PD (plantio convencional), C- PD (Plantio direto) e D- Vista dos três tratamentos. ....	19
3. Visão geral de raízes adventícias de <i>M. esculenta</i> Crantz, Cv. IAC 576-70, indicando a região amostrada para a confecção do laminário histológico. A- 30, B- 60, C- 90, D-120 DAP e E- Área da secção transversal utilizada para confecção do laminário histológico.	23
4. Diagrama representativo das regiões da polpa do terço médio da raiz tuberosa de <i>M. esculenta</i> Cv. IAC 576-70, aos 180 DAP.....	24
5. Diagramas representativos de secções transversais do terço médio de raízes de <i>M. esculenta</i> Crantz, Cv. IAC 576-70, aos A-30 DAP, B-60 DAP e C-90 DAP, Barra=500µm.....	26
6. Porcentagem de microporos na composição da porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo .....	30
7. Porcentagem de macroporos na composição da porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.....	30
8. Porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%. ....	31
9. Teor de água no solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%. ....	33
10. Resistência a penetração do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes preparos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.....	34

11. Número de raízes por planta de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. .... 35
12. Comprimento médio de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F..... 36
13. Diâmetro médio de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. .... 37
14. Massa fresca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. .... 38
15. Massa seca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. .... 39
16. Teor de massa seca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. .... 40
17. A- Taxa de acúmulo de massa fresca, B- massa seca e C- porcentagem de massa seca (A) em raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 cultivadas em três preparos do solo (CM, PC, PD), avaliadas em doze épocas. .... 41
18. Raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 com 360 dias, indicando a presença de raízes com pedúnculo (Pe) e sésseis (seta), predominância das raízes tuberosas a partir do calo cicatricial na exterminada da maniva e tendência horizontal. .... 44
19. Caracteres morfológicos de raízes tuberosas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, aos 360 DAP. A- Raízes desenvolvidas em solo preparado minimamente, B- Raízes desenvolvidas em solo com preparo convencional, C- Raízes desenvolvidas em solo sem preparo. D- Detalhe da textura da película, E- Detalhe da cor da polpa, e região onde a casca é destacada da polpa (seta) e F- Coloração da entrecasca (seta). .... 45
20. Plantas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 30 DAP, desenvolvidas em PC (plantio convencional), CM (cultivo mínimo) e PD (plantio direto)..... 46
21. Secções transversais da região mediana de raiz de mandioca IAC 576-70 aos 15 DAP. A- Aspecto geral da raiz em início de crescimento secundário (Ep- epiderme, Co- córtex, Px- protoxilema, Mx- metaxilema, Fp- floema primário) barra=150µm, B- Detalhe da endoderme (EN) barra=100 µm, C- Detalhe da instalação do câmbio vascular (CV) barra=50 µm..... 47

22. Secções transversais do terço médio de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 em três épocas de avaliação. A- Aos 30 DAP, observar: epiderme (Ep), córtex (Co), felogênio (Fe), floema secundário (Fs), câmbio vascular (Cv), xilema secundário (Xs) e xilema primário (Xp) barra = 150  $\mu\text{m}$ . B- Aos 60 DAP, observar a formação da periderme, formada pelo súber (Su), felogênio e feloderme (Fd), câmbio vascular e xilema secundário com maior quantidade de células de parênquima, barra=150  $\mu\text{m}$ , C- Aos 90 DAP, observar raiz com estrutura de raiz tuberosa com elementos de vaso (setas) disperso pelo parênquima do xilema secundário, cordão central (Cc) barra = 500  $\mu\text{m}$ . ..... 49
23. Elementos celulares do xilema secundário de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 5756-70 aos 180 DAP. A- Células de parênquima, B- Fibra presente no cordão central e C- Elementos de vaso presentes em todas as regiões do xilema secundário, barra= 100 $\mu\text{m}$ . ..... 50
24. Secções transversais (A,B,C) e radial (D) do terço médio de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 120 DAP, mostrando células com paredes lignificadas pela reação em vermelho do floroglucinol A- Secção transversal na região da casca, evidenciando células esclerificadas na região do súber (Su), feloderme (Fd) e floema secundário (Fs), barra=50 $\mu\text{m}$ , B- Detalhe do cordão central, evidenciando elementos de vaso e fibras, barra=150 $\mu\text{m}$ , C- Secção longitudinal radial na região do xilema secundário com detalhe do vaso, D- Detalhe dos elementos de vaso barra=150 $\mu\text{m}$ . ..... 51
25. Secções transversais da região mediana de raiz de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 90 (A) e 120 (B,C,B) DAP, evidenciando grãos de amido pela reação do lugol. A- Observar grãos de amido na região do floema secundário (Fs) e do xilema secundário, e células ainda em processo de enchimento na região do xilema próximo ao câmbio vascular, barra- 500  $\mu\text{m}$ , B- Detalhe da região próxima ao câmbio vascular (Cv), onde as células de parênquima encontram-se preenchidas com grãos de amido, barra= 150 $\mu\text{m}$ , C- Observar detalhe da concentração de grãos de amido ao redor dos elementos de vaso (Ev), barra= 150 $\mu\text{m}$ , D- Detalhe de células do parênquima cheias de grãos de amido, barra= 50 $\mu\text{m}$ . ..... 53
26. Proporção de casca em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade..... 57
27. Proporção de câmbio vascular em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. .... 57
28. Proporção de xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP.

- \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. .... 58
29. Proporção de células de parênquima no xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. .... 59
30. Proporção de células de elementos de vaso no xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. .... 60

## 1 RESUMO

Características físicas do solo como porosidade, retenção de água, densidade e resistência a penetração são influenciadas diretamente pelo tipo de preparo do solo. Em resposta a estas modificações ocorrem adaptações morfofisiológicas das raízes. Verifica-se na literatura relatos sobre a influência de diferentes tipos de preparos do solo na produção e na qualidade culinária de raízes de mandioca cultivadas em diferentes tipos de solo, entretanto são desconhecidos os fatores, pertinentes às raízes, que determinam essas diferenças, o que leva a hipótese de que estes fatores possam ser de ordem morfo-anatômica. Diante disso, objetivou-se através deste trabalho de pesquisa estudar a influência de três tipos de preparo do solo (cultivo mínimo, plantio convencional e plantio direto) nas características físicas do solo, produção, morfologia e anatomia de raízes tuberosas de *Manihot esculenta* Crantz cultivar IAC 576-70. Para isso foi conduzido um experimento a campo em delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e seis repetições. Foram consideradas as causas de variação os tratamentos, preparos do solo, a saber: cultivo mínimo (CM), preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) e a idade da planta, em dias após o plantio (DAP). No delineamento experimental os preparos do solo foram considerados parcelas e as idades da planta ou épocas de amostragens as subparcelas, neste experimento foram avaliados a micro, macro e porosidade total, teor de água e resistência a penetração do solo, número, comprimento, diâmetro, massas fresca e seca, porcentagem de massa seca, características morfológicas e anatômicas e a proporção dos tecidos que compõe a raiz tuberosa de mandioca em diferentes

idades. A partir dos resultados destas avaliações foi possível concluir que: a ordem de fixação dos componentes de produção de raízes de mandioca de mesa, cv. IAC 576-70 independem do preparo do solo, e são definidos na seguinte ordem: número de raiz, comprimento, diâmetro, massa fresca, massa seca e teor de massa seca; as características morfológicas das raízes, de interesse comercial para o consumo *in natura*, bem como a seqüência de formação e estabelecimento dos tecidos que compõe as raízes tuberosas não são influenciadas pelo preparo do solo e que, a proporção dos tecidos da raiz tuberosa formados durante o início do processo de tuberização é influenciada pelos preparos do solo até os 90 DAP, entretanto esta diferença não implica em reduções significativas na produção de raízes, neste período.

**Palavras-chave:** mandioca de mesa, anatomia quantitativa, anatomia qualitativa, sistema radicular.

MORPHOLOGY AND ANATOMY OF CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) CULTIVAR IAC 576-70 TUBEROUS ROOTS UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS. Botucatu, 2012. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PRISCILA GONZALES FIGUEIREDO

Adviser: SILVIO JOSÉ BICUDO

Co-Adviser: MARINA APARECIDA DE MORAES DALLAQUA

## 2 SUMMARY

Soil physical characteristics such as porosity, soil water content, bulk density and penetration resistance are directly affected by tillage. In response to these changes occur roots' morpho-physiological adaptations. In the literature there are reports about the influence of different tillage on the cassava root yields and culinary qualities affected by soil types. However the factors inner roots which determine these differences are unknown, which leads to the hypothesis that these factors may be morphological or anatomical. So the objective of this work was to study the influence of three tillage types (minimum tillage, conventional tillage and no tillage) on soil physical properties, yield, morphology and anatomy of *Manihot esculenta* Crantz, cultivar IAC 576-70 roots. For those was conducted a field experiment, which experimental design was randomized block in split-plot with six replications. That were considered variation causes, the treatments: minimum tillage (MT), conventional tillage (CT) and no tillage (NT) and plant age, in days after planting (DAP). In the experiment the treatments, tillages, were considered the plots and the subplots were established by plant ages or times of sampling (DAP). In this experiment were evaluated micro, macro and total porosity, soil water content and soil penetration resistance, number, length, diameter, fresh and dry weight, percentage of dry mass, morphological and anatomical characteristics and the proportion of tissues that make up the cassava tuberous roots at different ages of the plant. From the results of these evaluations there was possible to conclude that the order of setting of yield components of sweet cassava cv. IAC 576-70 are independent of tillage, and are defined in the following order: number of root, length, diameter, fresh weight, dry weight and dry matter content. The root morphological traits of commercial



interest for fresh consumption and the sequence of formation and establishment of the tissues that make up the roots are not influenced by tillage. The proportion of the tuberous root's tissue formed during early tuberization process is influenced by tillage until 90 DAP, however this difference does not imply into significant reductions in root yield in this period.

**Keywords:** Sweet cassava, quantitative anatomy, qualitative anatomy, root system.

### 3 INTRODUÇÃO

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, é uma planta da família Euphorbiaceae que apresenta raízes tuberosas com grande quantidade de amido. A produção das raízes tuberosas desta planta destina-se, em função de suas características químicas e físicas, à indústria ou ao consumo *in natura*.

A mandioca para consumo *in natura*, conhecida também por mandioca mansa, aipim ou macaxeira, é assim denominada em função do baixo teor de compostos cianogênicos em sua polpa. Estas raízes devem apresentar alto acúmulo de massas fresca e superfície livre de reentrâncias e deformações garantindo assim, as características desejáveis ao uso culinário como, facilidade no descascamento, baixos teores de cianeto e fibra, menor tempo de cocção (CONCEIÇÃO, 1987; BORGES et al., 2002) e sabor característico agradável.

A produção de raízes com estas características é obtida a partir do genótipo e da interação entre o genótipo da planta, condições ambientais e o solo onde as raízes se desenvolvem. Assim, os preparos do solo podem contribuir para a produção de raízes com alta qualidade uma vez que, influenciam as características físicas do solo como, porosidade, densidade, retenção de água e resistência a penetração, que são fundamentais para o bom desenvolvimento radicular (OHIRI e EZUMAH, 1990; GÓMEZ et al., 1999; FERRERAS et al., 2000; FASINMIRIN e REICHERT, 2011).

Em resposta às características físicas do solo existem relatos sobre distribuição de raízes fibrosas de mandioca (MADUAKOR, 1993), adaptações fisiológicas de raízes (BENGOUGH et al., 2006; THOMAS, 1993) e alterações anatômicas em raízes de milho (BERGAMIM et al., 2010) e de soja (BALIGAR et al., 1975).

Para raízes tuberosas de mandioca encontra-se na literatura relatos da influência dos preparos do solo na produção (OLIVEIRA et al., 2001) e na qualidade culinária de raízes cultivadas em diferentes tipos de solo (MAIEVES et al., 2011). Entretanto são desconhecidos os fatores, pertinentes às raízes, que determinam essas diferenças, o que leva a hipótese de que estes fatores possam ser de ordem morfológica e/ou anatômica.

Diante disso, objetivou-se através deste trabalho estudar a influência de três tipos de preparo do solo (cultivo mínimo, plantio convencional e plantio direto) nas características físicas do solo, na produção, morfologia e anatomia de raízes tuberosas de *Manihot esculenta* Crantz cultivar IAC 576-70.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 A cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) apresenta importância socioeconômica devido às suas raízes, ricas em amido, o que a torna a principal fonte de carboidratos e de subsistência para populações carentes em todo o mundo (SOUZA et al., 2006; JANSSEN e WHEATLEY, 1985). Além das raízes, a planta pode ser utilizada integralmente na alimentação animal (PHUC et al., 2000) e produção de energia (SRIROTH et al., 2010).

O Brasil é o terceiro maior produtor de mandioca no mundo (FAO, 2009), sendo que na safra 2011 a produção teve um aumento de 8%, comparado a safra anterior, correspondendo a mais de dois milhões de toneladas, com rendimento médio de 14 t ha<sup>-1</sup>. A mandioca é cultivada em todo território brasileiro, decrescendo em termos produtivos nas regiões norte, nordeste, sudeste, sul e centro oeste (INSTITUTO BRASILEIRO ..., 2011).

A mandioca é uma planta da família Euphorbiaceae, e constitui a única espécie cultivada do gênero *Manihot* (CARVALHO e GUERRA, 2002). Sua origem botânica é controversa (OLSEN, 2004; LÉOTARD et al., 2009), sendo a hipótese mais aceitável, aquela que propõe que a espécie resulta da hibridação entre duas espécies no estado selvagem, nativas da Amazônia (ALLEM et al., 2001).

A planta de mandioca é perene, embora, comercialmente seja cultivada por um a dois anos, visando a produção de raízes ricas em amido. Segundo Souza et al. (2006) o armazenamento de amido nas raízes de mandioca, mesmo em condições adversas é explicada pela rusticidade da planta, que apresenta ciclo longo, sem picos de demanda por água e nutrientes, sistema radicular profundo e período de repouso vegetativo, em épocas com baixas temperaturas e/ou déficit hídrico.

Em função dos fatores citados acima, o cultivo da mandioca ocorre principalmente em pequenas propriedades, com baixo emprego de tecnologia e, em solos química e fisicamente degradados (DALTON et al., 2011), onde culturas mais exigentes como soja e milho, por exemplo, não produziram satisfatoriamente.

Apesar da rusticidade da planta, vale ressaltar que a mandioca, a mamona e o feijão são as culturas responsáveis pela maior quantidade de perda do solo (MARQUES et al., 1961). A perda de solo causada pelo cultivo da mandioca é justificada por quatro fatores principais: crescimento inicial lento, deixando o solo descoberto por até quatro meses (GABRIEL FILHO et al., 2000), necessidade de capina e revolvimento do solo no plantio e na colheita (OTSUBO et al., 2002), além da exportação de solo aderido às raízes na colheita (ISABIRYE et al., 2007).

Na tentativa de garantir a sustentabilidade da cultura, pesquisas sobre práticas de manejos que visam a conservação do solo e aumento da produção de raízes têm sido desenvolvidas para fortalecer a viabilidade e ampliar adoção destas práticas pelos agricultores (DALTON et al., 2011).

#### **4.2 Preparos do solo na cultura da mandioca**

As práticas de preparo do solo são realizadas para criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. Entretanto, as condições de umidade durante o preparo, o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem levar a modificações da estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (DE MARIA et al., 1999).

Segundo Fasinmirin e Reichert (2011) existem vários tipos de preparo do solo, entre os quais, o preparo convencional e preparos conservacionistas como cultivo

mínimo, plantio direto e plantio em curvas de nível. Estes autores relatam ainda que o plantio convencional é o mais empregado para o cultivo da mandioca, seguido pelo cultivo mínimo e plantio direto.

O preparo convencional é caracterizado pela seqüência de operações, que inclui a inversão do solo e incorporação de resíduo vegetal (FASINMIRIN e REICHERT, 2011), sendo praticado com a combinação de dois ou mais implementos, tracionado por animais ou mecanizado, e é classificado como o mais intensivo entre os preparos do solo (STRUDLEY et al., 2008). A prática do plantio convencional justifica-se pelo aumento da densidade e resistência a penetração do solo, principalmente nas camadas subsuperficiais (FERNÁNDEZ-UGALDE et al., 2009).

Segundo Davies e Finney (2002) os preparos conservacionistas, cultivo mínimo e plantio direto, consistem na não inversão, menor ou nenhuma perturbação do solo, de forma a manter a maior quantidade possível de resíduos vegetais na superfície do solo.

Entre os preparos conservacionistas, o cultivo mínimo, tem causado algumas contradições em virtude da sua real definição, uma vez que sua execução pode variar desde zero até duas operações no solo, que será determinado em função do tipo de solo e da cultura a ser implantada (FASINMIRIN e REICHERT, 2011).

Alguns pesquisadores consideraram o cultivo mínimo a combinação do escarificador e grade (OLIVEIRA et al., 2001; HAO et al., 2001; PEQUENO et al., 2007), outros, a combinação entre arado e grade (CRUZ et al., 2008), podendo ainda ser o preparo do solo apenas na linha do plantio com a utilização do sulcador (GABRIEL FILHO et al., 2000).

Assim, para o cultivo mínimo, observa-se um consenso apenas quanto ao número de implementos ou operações, que não excede a dois, e a profundidade da movimentação do solo, que não ultrapassa 0,10 m (MORRIS et al., 2010), o que não chega a ser uma inversão do solo, como ocorre no plantio convencional.

A principal vantagem do cultivo mínimo é a combinação dos benefícios proporcionados pelo plantio convencional e o plantio direto, uma vez que o revolvimento superficial reduz a densidade superficial e mantém alguma cobertura vegetal na superfície do solo (KORSCHING et al., 1983).

O plantio direto é definido como o plantio sobre a palhada, sem nenhum revolvimento do solo desde a colheita da cultura antecessora (SCHERTZ, 1988). Neste tipo de

preparo é permitido a utilização de maquinários apenas na linha de cultivo, proporcionando condições favoráveis à germinação e estabelecimento das plantas (MORRIS et al., 2010).

O principal benefício deste preparo é a manutenção da cobertura do solo, protegendo o solo contra erosão, perda de água e radiação solar, promovendo indiretamente melhores condições químicas, físicas e biológicas do solo, além da redução do custo de produção, devido à menor utilização de implementos (PHILLIPS et al., 1980). No entanto este preparo é limitado para a cultura da mandioca pelos resultados controversos sobre a produtividade (OLIVEIRA et al., 2001; HULUGALLE e NDI, 1993), assim como plantadoras não adaptadas ao referido preparo (TAKAHASHI, 2002).

No que diz respeito à produtividade, Yusuf et al. (1999) e Ohiri e Ezumah (1990) atribuíram esse resultado ao padrão de crescimento e desenvolvimento inicial da cultura e ao tipo de solo onde o preparo é aplicado. Oliveira et al. (2001) observaram redução na produtividade de mandioca em áreas de plantio direto, enquanto Hulugalle e Ndi (1993) observaram produções semelhantes às áreas de preparo convencional, quando praticadas em solos com alto teor de matéria orgânica e textura franco-arenosa.

De acordo com Conceição (1987) a produção satisfatória de raízes de mandioca é determinada pelo máximo acúmulo de massas fresca e seca; produção de raízes com comprimento inferior a 1 m e superfície livre de reentrâncias, deformações como tortuosidades, estrangulamento e ramificações.

A produção de raízes com estas características é obtida a partir da interação entre as condições ambientais e o solo onde as raízes se desenvolverão. Os preparos do solo podem contribuir, melhorar ou manter as características físicas do solo como, porosidade, densidade, resistência a penetração e retenção de água, que determinam a qualidade das raízes (OHIRI e EZUMAH, 1990; FASINMIRIN e REICHERT, 2011).

#### **4.3 Crescimento e desenvolvimento radicular em função do preparo do solo**

O solo serve como meio de fixação e fonte de nutrientes para as plantas. A interação do solo com os fatores bióticos e abióticos determinam suas propriedades, as quais algumas podem ser consideradas adequadas ou não para determinada cultura (SOUZA et al., 2006). O solo é composto pela fração sólida, representada pelas partículas de areia, silte e

argila, e pela fração líquida e gasosa, representada pela água e ar, contidos nos micro e macroporos, respectivamente (RESENDE et al., 2002).

A porosidade total do solo resulta da soma dos macro e microporos, sendo os macroporos responsáveis pela aeração do solo, em maior grau do que os microporos, enquanto os microporos respondem pela retenção de água (HORN et al., 1994). A partir da porosidade é possível determinar a densidade, resistência a penetração e retenção de água no solo (TORMENA et al., 2002).

Segundo Schaefer et al. (2001) a distribuição da porosidade no perfil do solo é influenciada pelo preparo do solo. Desta forma a aeração decresce, em função dos preparos, na seguinte ordem, plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto (TORMENA et al., 2002). Estes mesmos autores verificaram os maiores valores de resistência a penetração no solo sob plantio direto, comparados ao plantio convencional e cultivo mínimo, e maior teor de água no solo no cultivo mínimo.

A profundidade efetiva do solo ideal para a cultura da mandioca é de 0,30 m, é nesta profundidade onde se desenvolvem 98% das raízes tuberosas (CAMPOS e SENA, 1975). Em pesquisas sobre preparos do solo com aveia Ehlers et al. (1981) verificaram que o crescimento em profundidade das raízes pode ocorrer por alguns estímulos no ambiente radicular como baixa umidade superficial, causada pela exposição do solo, grande quantidade de macroporos na superfície e longos períodos de deficiência hídrica.

Através da compreensão da dinâmica do solo infere-se que o preparo do solo pode favorecer crescimento e desenvolvimento das raízes (TAVARES FILHO et al., 2001), através das modificações que, influenciam diretamente a porosidade, infiltração e retenção da água (DE MARIA et al., 1999), e conseqüentemente a distribuição e morfologia radicular (PEREIRA et al., 2008; BERGAMIN et al., 2010), impedindo assim, que estes fatores sejam limitantes para produção da cultura.

#### **4.4 Sistema radicular da planta de mandioca**

A planta de mandioca apresenta dois tipos de raízes, as fibrosas que, desempenham função de fixação e absorção de água e nutrientes, e as tuberosas que, resultam do processo de tuberização e armazenam fotoassimilados na forma de amido (VIÉGAS, 1976).



A mandioca pode ser propagada através da semente ou agamicamente, por meio das “manivas-sementes”, que são segmentos do caule e apresentam gemas caulinares, localizada nos nós. Em função do tipo de propagação, a planta desenvolverá sistemas radiculares distintos, quanto tempo de desenvolvimento e origem da raiz (CONCEIÇÃO, 1987).

A mandioca quando propagada via semente, emite a raiz primária, a qual se origina a partir da radícula do embrião, logo após a abertura do tegumento da semente, (VIÉGAS, 1976) a partir da qual são emitidas várias raízes laterais (ESAÚ, 1974), das quais algumas se diferenciarão em raízes tuberosas, constituindo o sistema radicular classificado como axial tuberoso (CONCEIÇÃO, 1987).

A mandioca é preferencialmente propagada agamicamente, uma vez que apresenta uniformidade das plantas, redução do ciclo de desenvolvimento e arquitetura do sistema radicular. A partir da “maniva-semente”, na fase de brotação, surgem raízes a partir do calo, formado nas extremidades das manivas, ou das gemas axilares (VIÉGAS, 1976). Entre essas raízes algumas se diferenciarão para armazenar carboidratos na forma de amido, constituindo um sistema radicular classificado como adventício fibroso tuberoso (MORAES-DALLAQUA, 2011<sup>1</sup>).

A morfologia da raiz tuberosa da mandioca foi descrita por (CONCEIÇÃO, 1987), onde o autor citou que os caracteres morfológicos da raiz tuberosa resultam da cultivar, sendo que dentro de uma mesma cultivar pode ocorrer deformações como estrangulamento e ramificações laterais resultante de algum estresse sofrido pela planta.

A mandioca apresenta diversidade genética e grande quantidade de descritores morfológicos, e em função disto Fukuda e Guevara (1998) criaram a classificação brasileira de descritores morfológicos de mandioca, classificando as raízes tuberosas segundo quatro classes de descritores, sendo: - mínimos: presença de pedúnculo nas raízes, cor externa da raiz, cor do córtex e da polpa da raiz, textura da epiderme da raiz; -Principal: constrições da raiz; -Secundário: forma da raiz; - Agronômicos preliminares: comprimento e diâmetro médio da raiz, destaque da película da raiz, destaque do córtex da raiz, posição das raízes, número de

---

<sup>1</sup> Classificação elaborada por Marina Aparecida de Moraes-Dallaqua, em Botucatu-SP, em fevereiro de 2011.

raízes par planta, peso médio de raízes por planta, rendimento de raízes comerciais e não comerciais, número de raízes podres par planta e porcentagem de matéria seca nas raízes.

Os autores ressaltam ainda que os descritores decrescem na seguinte ordem em termos de herdabilidade: mínimo, principal, secundário e agronômicos preliminares.

Anatomicamente a formação das raízes tuberosas ocorre durante o crescimento secundário das raízes e resultam da atividade de dois tecidos meristemáticos, o câmbio vascular, que produz floema e xilema secundário e o felogênio, que produz a periderme (LOWE et al., 1982).

Cronologicamente é possível distinguir uma raiz fibrosa da que vai se tuberizar a partir do 28º dia após o plantio, devido à quantidade de grânulos de amido encontrados no parênquima do xilema (COCK, 1984). Moraes-Dallaqua e Coral (2002) relataram que o início de crescimento secundário na cultivar IAC 576-70 ocorre aos 37 dias após o plantio, sendo determinado pela formação de arcos cambiais internamente aos pólos floemáticos, a partir de células procambiais remanescentes. Estes mesmos autores verificaram que a estrutura secundária é estabelecida de fato aos 51 dias após o plantio, onde felogênio e o câmbio vascular formam um cilindro contínuo.

#### **4.5 Anatomia e produção vegetal**

De acordo com Silva et al. (2005) o corpo vegetal está dinamicamente relacionado com as práticas de manejo utilizadas na agricultura uma vez que, em função do seu genótipo a planta apresenta comportamento diferenciado frente aos fatores extrínsecos (ambiente) refletindo na produção e na qualidade das plantas cultivadas.

Para as raízes de mandioca, principalmente a mandioca de mesa, existem muitas lacunas no conhecimento que não permitem entender a resposta sobre a desuniformidade no processo de cozimento. Feniman (2004) citou que esta característica de cozimento pode estar associada ao tipo de solo onde a planta se desenvolve, idade da planta e a composição da parede celular, bem como a dos grãos de amido presentes nas raízes tuberosas de mandioca.

A diferença promovida nas raízes pelo solo, de acordo com Resende et al. (2002) pode estar relacionada às suas propriedades químicas e físicas, que são determinados em função da sua origem, clima, biota e utilização (plantas cultivadas, manejos: adubação, preparo do solo, etc).

O corpo vegetal de uma angiosperma constitui-se de órgãos vegetativos como, a folha, o caule e a raiz, formados por tecidos constituídos por células que diferem entre si. Desta forma ao avaliar a composição química do vegetal deve-se considerar que esta composição é determinada, de fato, pela unidade formadora do corpo vegetal, ou seja, a célula.

Ao considerar as raízes tuberosas de mandioca Feniman (2004) observou na composição química deste órgão a presença de água, amido, carboidratos redutores, fibras totais, fibras insolúveis e solúveis, cinzas, proteínas e lipídeos. Entretanto, o teor destes compostos pode variar de acordo com a necessidade fisiológica da planta (LORENZI, 1994) e com o envelhecimento da planta ou do órgão em questão.

O envelhecimento celular vegetal em alguns casos está associado ao espessamento e/ou lignificação da parede celular (SCOTT, 1950) e mudança no conteúdo celular, como ocorre nos grãos de amido em raízes tuberosas de mandioca (MOORTHY e RAMANUJAN, 1986; DAIUTO et al., 2002).

De acordo com Feniman (2004) o teor de carboidratos redutores, amido, e fibras totais aumentam em raízes com 15 meses comparados às raízes com 12 meses. O aumento no teor de carboidratos redutores, segundo Conceição (1987) ocorre pela necessidade de translocação de açúcar solúveis para os tecidos meristemáticos encontrados na parte aérea, para a formação de novos ramos e folhas, no início do segundo ciclo vegetativo.

Posteriormente à formação de nova parte aérea, ocorre um novo período de armazenamento de carboidratos na forma de amido nas raízes o que explicaria o aumento no teor de amido em raízes com 15 meses (TERNES, 2002). Os resultados obtidos por Feniman (2004) mostraram que durante o envelhecimento das raízes não ocorreram diferenças no teor de fibras insolúveis e solúveis, entretanto o somatório destes componentes mostrou-se significativamente diferente.

De acordo com Pourchet-Campos (1990) o conceito de fibra alimentar está relacionado com a composição química da parede celular vegetal que é constituída por uma fração não digestível ou insolúvel (celulose e lignina) e outra digestível ou solúvel

(polissacarídeos não celulósicos: hemicelulose, substâncias pécnicas, gomas e mucilagens). Segundo esta mesma autora a composição e a quantidade de fibras é amplamente variável de acordo com a espécie, parte morfológica e idade vegetal, sendo estes fatores influenciados ainda pelas condições de ambiente.

Em termos anatômicos fibra é um tipo de célula esclerenquimática longa com paredes secundárias, lignificadas, mais ou menos espessas, que normalmente apresenta função de sustentação em partes da planta que não mais se alongam, sendo encontradas também, nas formas de cordões ou feixes em diferentes partes do corpo primário da planta e nos tecidos vasculares, xilema e floema, em eudicotiledôneas. Quando fazem parte do xilema ou do floema, desenvolvem-se a partir do procâmbio ou do câmbio, e são denominadas fibras xilemáticas ou floemáticas (APEZZATO-DA-GLÓRIA e CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Esaú (1974) citou que comercialmente termo “fibra” é também aplicado a materiais que incluem, no sentido botânico, outros tipos de células além das fibras e também a estruturas que não são fibras. Com efeito, as “fibras” das folhas de monocotiledôneas incluem comumente elementos vasculares. As de algodão são pêlos epidérmicos de sementes de *Gossypiu*; a ráfia se constitui de segmentos foliares da palmeira *Raphia* e a rota (junco), de caule da palmeira *Calamus*.

A partir da análise do termo “fibra” e considerando que uma das hipóteses aceitáveis, atualmente, para a desuniformidade de cozimento da mandioca, é fundamentada no aumento no teor de fibras nas raízes a medida que estas tornam-se mais velhas (CARVALHO et al., 2011) o estudo histológico tanto de caracterização como de quantificação podem contribuir para com um estudo detalhado da seqüência de formação e desenvolvimento celular, bem como da composição das células que formam os tecidos da raiz tuberosa.

O estudo histológico quantitativo de acordo com Brito et al. (2004) é um método complementar aos estudos de avaliação da qualidade vegetal em função de permitir a comparação entre cultivares e proporção dos tecidos em função da maturidade da planta, demonstrando possíveis diferenças não perceptíveis através apenas da observação.

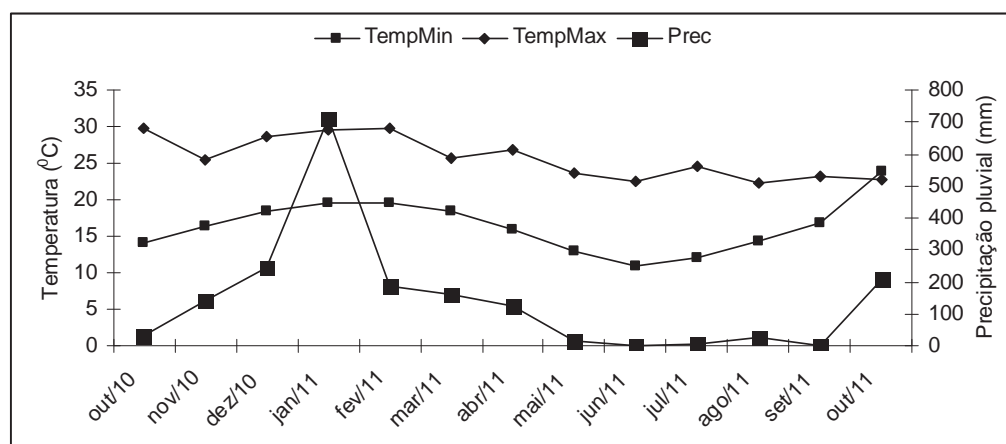
## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental**

O experimento foi conduzido em condições de campo no ano agrícola 2010/2011 na Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP/Botucatu (22° 49' 31" S Gr. e 48° 25' 37" O), altitude média de 770 metros e declividade de 3%.

O clima da região de Botucatu é do tipo Cfa, clima temperado quente (mesotérmico) úmido, segundo a classificação de Köppen, e B2rB'3a', clima úmido com pequena deficiência hídrica em abril, julho e agosto segundo a classificação de Thornthwaite (CUNHA e MARTINS, 2009). Os dados climáticos referentes ao período de condução do experimento, outubro de 2010 a outubro de 2011, foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Recursos Naturais e Ciências Ambientais da FCA/UNESP, Campus de Botucatu (Figura 1).

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distrófico estruturado de textura argilosa (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do experimento foram determinadas nas profundidades 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m do solo da área experimental as características químicas (RAIJ et al., 2001), granulométricas e físicas do solo (Tabelas 1 e 2), (EMBRAPA, 1997). As caracterizações, química e granulométrica, foram determinadas em uma única amostra composta por 18 pontos de coleta, e as médias das características físicas resultam de 18 avaliações em pontos distintos.



**FIGURA 1.** Temperaturas máximas, mínimas e precipitações pluviométricas mensais observadas de outubro de 2010 a outubro de 2011 em Botucatu, SP.

**TABELA 1.** Atributos químicos do solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m antes da instalação do experimento.

Profundidade m	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Al -----mmolc	H+Al dm <sup>-3</sup> -----	K dm <sup>-3</sup> -----	Ca -----	Mg %	SB	CTC	V
0-0,10	4,8	33	36	2	48	2,7	36	16	55	103	53
0,10-0,20	4,6	27	16	2	52	1,0	26	11	37	89	42
0,20-0,30	4,8	30	8	2	44	0,6	22	8	31	75	41

Profundidade m	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Areia	Argila	Silte
			-----mg dm <sup>-3</sup> -----					----g dm <sup>-3</sup> ----	
0-0,10	16	25	12,2	80,3	2,84	0,4	113	630	258
0,10-0,20	21	23	11,9	81,8	1,82	0,4	109	605	287
0,20-0,30	21	26	10,5	56,2	1,04	0,26	110	630	260

**TABELA 2.** Atributos físicos do solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m antes da instalação do experimento.

Profundidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo	Resistência Penetração
		-----%		g cm <sup>-3</sup>	kg cm <sup>-2</sup>
<b>0,0-0,10</b>	9,82	40,02	49,83	1,32	25,67
<b>0,10-0,20</b>	8,51	40,92	49,43	1,32	27,00
<b>0,20-0,30</b>	8,53	40,30	48,83	1,38	29,50

## 5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e seis repetições. Foram consideradas as causas de variação os tratamentos, preparos do solo, a saber: cultivo mínimo (CM), preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) e as idades da planta, em dias após o plantio (DAP): 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 DAP. No delineamento experimental os preparos do solo foram considerados parcelas e as idades da planta ou épocas de amostragens as subparcelas.

As parcelas foram constituídas por nove linhas, com nove metros de comprimento. O espaçamento adotado foi de 0,9 m entre linhas e de 1 m entre plantas na linha, assim a parcela apresentou 86,4 m<sup>2</sup> com 81 plantas.

As subparcelas foram constituídas por quatro plantas, respeitando a condição de bordadura em todas as amostragens.

## 5.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi implantado em área com resteva de aveia preta, dessecada com 2 kg ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Dez dias após a dessecação da aveia foram realizados os preparos do solo da seguinte maneira:

- CM (cultivo mínimo) - duas passadas de enxada rotativa (Figura 2A);
- PC (plantio convencional) - uma passada arado de disco e duas gradagens niveladora (Figura 2B);
- PD (plantio direto) - sem utilização de implementos (Figura 2C).

O sulcamento e adubação de plantio foram realizados com plantadora de mandioca, modelo Bazuca II, Plantcenter<sup>®</sup>. A profundidade de plantio foi de 0,10 m, e a adubação foi de 200 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 02-20-20.

O material vegetal utilizado foram ramas, provenientes do terço médio de plantas da cultivar de mesa IAC 576-70, com 12 meses de idade e diâmetro médio de 0,02 m. As ramas foram seccionadas produzindo manivas-sementes de 0,20 m de comprimento

com cinco gemas axilares. O plantio foi realizado em 15 de outubro, sendo manualmente, com auxílio de régua espaçada de 1 m, e em seguida foram cobertas com solo utilizando-se enxada.

Durante os quatro primeiros meses de desenvolvimento da cultura foram feitas quatro capinas manuais, representando o único tratamento fitossanitário aplicado durante a condução do experimento.



**FIGURA 2.** Aspecto das parcelas após a aplicação dos tratamentos, **A-** CM (cultivo mínimo), **B-** PD (plantio convencional), **C-** PD (Plantio direto) e **D-** Vista dos três tratamentos.

#### 5.4 Cronograma das avaliações

Durante a condução do experimento as avaliações obedeceram ao seguinte cronograma (Tabela 3).



**TABELA 3.** Data do início e fim, duração e avaliações realizadas nas fases de desenvolvimento da planta de mandioca durante a condução do experimento.

	Fase do Ciclo	Início	Fim	Duração	Avaliações Raízes	Avaliações Solo
1	Brotação	15/10/10	30/10/10	15	15	-
2	Formação sistema radicular	31/10/10	09/01/11	70	30 e 60	70
3	Desenvolvimento parte aérea	01/12/10	01/03/11	90	90 e 120	120
4	Engrossamento das raízes	02/02/11	03/05/11	90	150 e 180	
5	Repouso fisiológico	03/05/11	10/09/11	130	210, 240, 270 e 300	230 e 300
6	Início novo período vegetativo	11/09/11	15/10/11	35	330 e 360	350

As fases de desenvolvimento bem como a duração de cada fase, foram adaptadas às condições do experimento (Tabela 3) e obedeceram ao esquema proposto por Viégas (1976), Conceição (1987) e Ternes (2002).

## 5.5 Avaliações

### 5.5.1 Solo

As avaliações das características físicas do solo foram realizadas aos 70, 120, 170, 230, 300 e 350 DAP. Estes resultados foram agrupados, representando assim a condição geral do solo durante o experimento.

Em cada época foram feitas três amostragens/avaliações por parcela, totalizando 18 por tratamento. As avaliações foram determinadas nas profundidades de 0-0,10; 0-10-0,20; 0,20-0,30 m.

### **5.5.1.1 Porosidade**

A porosidade do solo foi determinada em amostras indeformadas com anéis volumétricos de 100 cm<sup>3</sup>, adotou-se a metodologia descrita em Embrapa (1997) para determinação da microporosidade (mesa de tensão), macroporosidade e porosidade total.

### **5.5.1.2 Teor de água**

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico que consiste na pesagem anterior e posterior à secagem em estufa a 105°C por 24 horas em amostras deformadas acondicionados em cápsulas de alumínio (EMBRAPA, 1997).

### **5.5.1.3 Resistência a penetração**

A resistência à penetração foi determinada com auxílio de um penetrógrafo mecânico semi-automático, marca Soil control®, modelo SC-60, até a profundidade de 0,30 m, aplicando-se a pressão de até 50 kgf cm<sup>-2</sup>.

## **5.5.2 Raízes**

Os componentes de produção de raízes foram avaliados aos 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360 DAP, em quatro plantas por parcela, respeitando as bordaduras.

### **5.5.2.1 Número, comprimento e diâmetro**

O número médio de raízes por planta foi obtido pela divisão do número total de raízes pelo número de plantas colhidas em cada parcela.

O comprimento e o diâmetro foram determinados em três raízes, mais uniformes de cada uma das quatro plantas, totalizando 12 raízes.

O comprimento foi determinado de uma extremidade a outra com auxílio de uma trena graduada e o diâmetro foi aferido no terço médio das raízes, com auxílio de um paquímetro digital.

### **5.5.2.2 Massa fresca total, massa seca total e porcentagem de massa seca**

A massa fresca total foi determinada pela pesagem de raízes por planta, cuja média foi utilizada para o cálculo da produtividade de massa fresca de raízes em  $\text{kg ha}^{-1}$ . A massa seca foi determinada em sub-amostras de raízes por planta, secas em estufa a  $65^\circ \text{C}$ , por 72 horas, e em seguida pesadas em balança de precisão, sendo, os resultados extrapolados para massa seca de raízes em  $\text{kg ha}^{-1}$ . A massa seca e a porcentagem de massa seca foram determinadas pela relação entre massa fresca total e massa seca total.

### **5.5.2.3 Características morfológicas**

Aos 360 DAP foram avaliadas as características morfológicas das raízes: presença de pedúnculo, cor da película, cor da entrecasca, cor da polpa, textura da película, presença de constrictões, forma, destaque da película, destaque da entrecasca e posição das raízes, conforme a metodologia proposta por Fukuda e Guevara (1998).

Cada tratamento foi representado por três raízes de quatro plantas e analisadas por três avaliadores, sendo estes resultados apenas descritivos e não estatísticos.

## **5.5.3 Anatomia**

O material utilizado para o estudo anatômico foi preparado no Laboratório de Morfologia Vegetal Departamento de Botânica, Instituto de Biociências - UNESP/Botucatu. Foram amostradas seis raízes de plantas distintas por tratamento aos 15, 30, 60, 90, 120 e 180 DAP

### **5.5.3.1 Estudo anatômico qualitativo**

Para elaboração do laminário histológico foram utilizadas raízes adventícias originadas no calo cicatricial na extremidade da maniva, sendo retirada uma raiz de uma única planta por repetição, totalizando seis amostras por tratamento, em cada época de amostragem. Padronizou-se a secção a ser coletada como sendo aquela do terço médio, livre de deformações ou tortuosidades (Figuras 3) e que anatomicamente representa a região de

maturação celular, ou seja, região onde a maioria dos tecidos primários completam seu desenvolvimento (APPEZZATO-DA-GLORIA e CARMELLO-GUERREIRO, 2003).

Após a coleta, o material foi lavado com água corrente, com auxílio de pincéis para eliminação de resíduos de terra, em seguida foi fixado em FAA 50, levados a uma bomba a vácuo para retirada do ar contido nos tecidos e posteriormente estocados em etanol 70% (JOHANSEN, 1940). A seguir o material foi desidratado em série etílica crescente e incluído em resina glicol-metacrilato Leica® (GERRITS, 1964).

Após a inclusão do material em resina foram realizadas secções transversais com auxílio de micrótomo de rotação semi-automático, com 8 µm de espessura. Os cortes obtidos foram corados com azul de toluidina 0,05%, pH 4,7 (O'BRIEN et al. 1965) e montados entre lâmina e lamínula com entenlan.

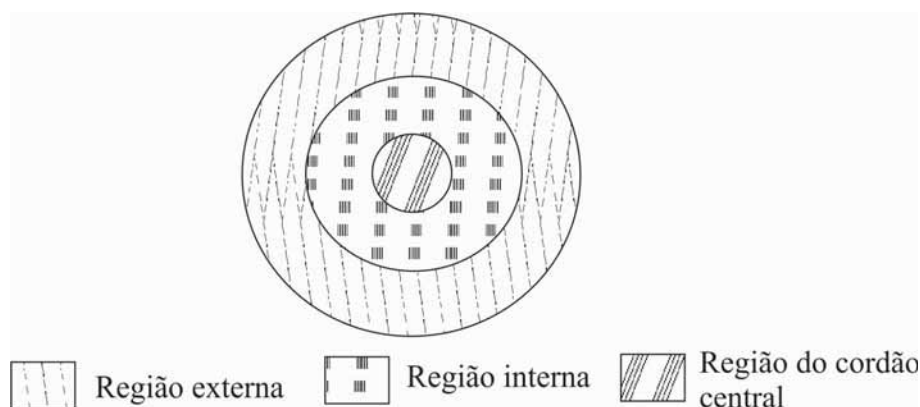


**FIGURA 3.** Visão geral de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz, Cv. IAC 576-70, indicando a região amostrada para a confecção do laminário histológico. **A-** 30, **B-** 60, **C-** 90, **D-**120 DAP e **E-** Área da secção transversal utilizada para confecção do laminário histológico.

Para realização dos testes histoquímicos, foram feitas secções transversais e longitudinais com auxílio do micrótomo de Ranvier, a partir do material estocado em etanol 70%. Os cortes foram tratados com floroglucina acidificada para detecção de lignina (SASS, 1951) e lugol para evidenciar grãos de amido (JOHANSEN, 1940).

As lâminas foram analisadas ao microscópio de luz e os aspectos relevantes foram documentados em fotomicroscópio.

Para observação dos elementos celulares dissociados presentes na polpa utilizou-se o método de Franklin (1945). Para isso foram utilizadas amostras de raízes coletadas somente aos 180 DAP, e após a remoção da casca, a polpa foi dividida em três regiões: externa, interna e cordão central (Figura 4).



**FIGURA 4.** Diagrama representativo das regiões da polpa do terço médio da raiz tuberosa de *M. esculenta* Cv. IAC 576-70, aos 180 DAP.

Os resultados foram documentados em fotomicrografias obtidas a partir de um fotomicroscópio Zeiss®.

### 5.5.3.2 Estudo anatômico quantitativo

Para o estudo anatômico quantitativo foram utilizadas lâminas com secções transversais de raízes (Figura 3 E): amostradas aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. Os resultados obtidos resultam da medição dos seguintes parâmetros (Figura 5).

- Espessura da casca: Região externa da raiz, composta por: “película” (súber) e “entrecasca” (felogênio, feloderme e floema secundário). Aos 30 DAP esse parâmetro incluiu também a epiderme e o córtex colapsados.
- Espessura do câmbio vascular: Região entre floema e xilema secundário.
- Espessura do xilema secundário: Região interna, composto por células de parênquima e elementos de vaso, constituindo a “polpa”.

- Área do parênquima do xilema secundário: Os valores obtidos para este parâmetro resultou da seguinte equação:

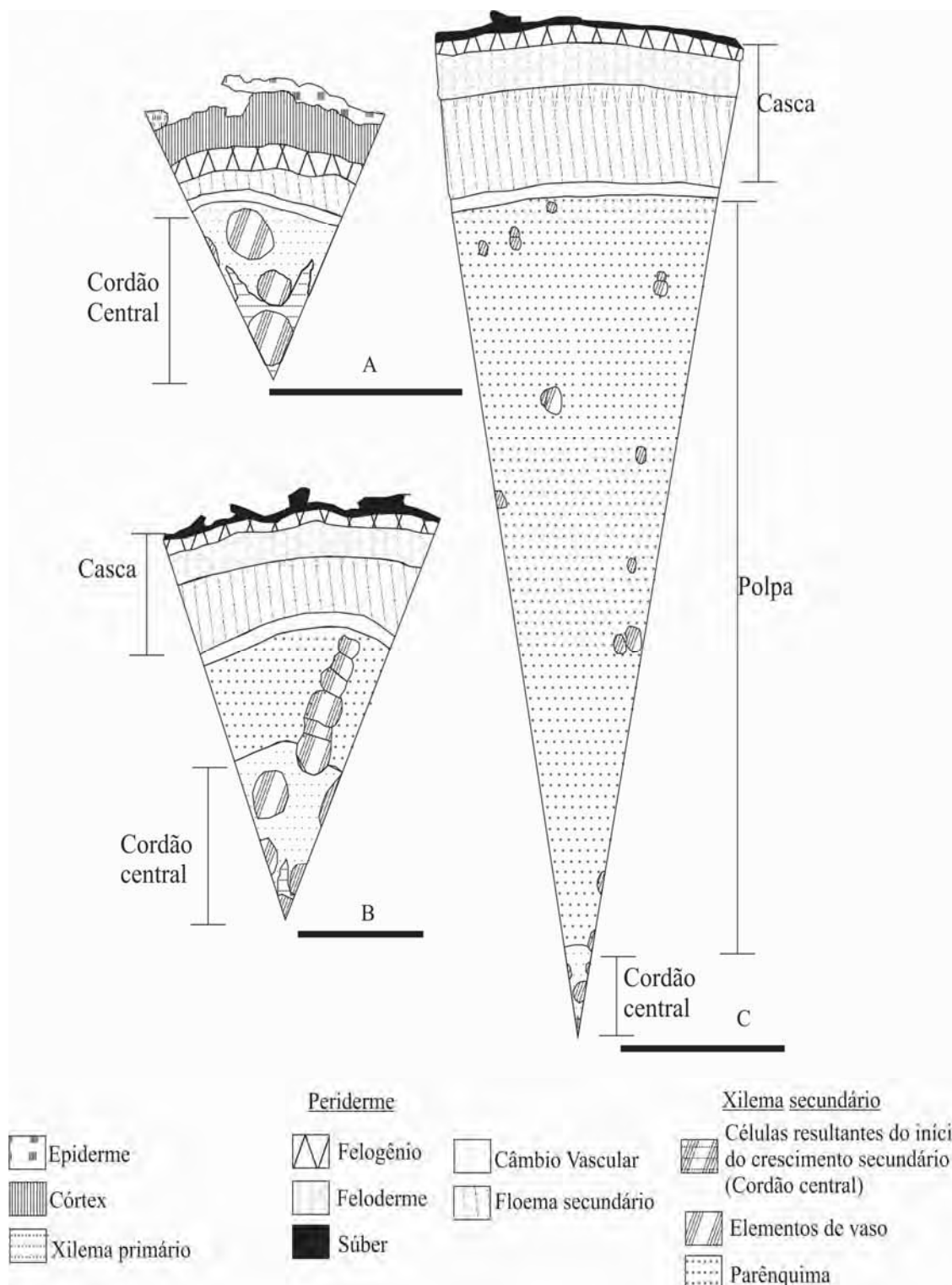
$$*Área\ do\ parênquima = área\ do\ xilema\ secundário - área\ dos\ elementos\ de\ vaso$$

- Área dos elementos de vaso do xilema secundário: Os valores obtidos para este parâmetro resultou da seguinte equação:

$$*Área\ dos\ elementos\ de\ vaso = área\ do\ xilema\ secundário - área\ do\ parênquima$$

Os parâmetros de espessura foram mensurados cinco vezes em um raio da secção transversal considerado (Figuras 3E e 5) e, as áreas do parênquima e dos elementos de vaso, uma única vez. Os resultados foram apresentados em porcentagem em função da sua representatividade na secção observada.

As mensurações foram feitas em fotomicrografia obtidas com o auxílio de uma câmera digital acoplada a um microscópio óptico binocular Zeiss® e com o analisador de imagem Cell^B.



**FIGURA 5.** Diagramas representativos de secções transversais do terço médio de raízes de *M. esculenta* Crantz, Cv. IAC 576-70, aos **A-30 DAP**, **B-60 DAP** e **C-90 DAP**, Barra=500µm.

## **5.5 Análise estatística**

Todos os resultados submetidos à testes estatísticos foram analisados através do teste de Shapiro-Wilk verificando a normalidade e pelo teste de Levene para homogeneidade.

### **5.5.1 Solo**

Os resultados das características físicas do solo foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, sendo os tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

### **5.5.2 Raízes**

Os dados dos componentes de produção da raiz foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, sendo os tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e as idades da planta (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360 DAP) por regressão. Adicionalmente, as variáveis foram correlacionadas duas a duas através do coeficiente de correlação de Pearson.

### **5.5.3 Morfologia das raízes**

Os resultados sobre a morfologia das raízes foram apenas descritivos e, portanto não foram submetidos a testes estatísticos.

### **5.5.4 Anatomia qualitativa**

Os resultados sobre a anatomia qualitativa das raízes foram apenas descritivos e, portanto não foram submetidos a testes estatísticos.

### **5.5.5 Anatomia quantitativa**

Os dados sobre a anatomia quantitativa das raízes foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, sendo os tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e as idades da planta (30, 60, 90, 120,



150 e 180 DAP) por regressão. Adicionalmente, as variáveis foram correlacionadas duas a duas através do coeficiente de correlação de Pearson.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Solos**

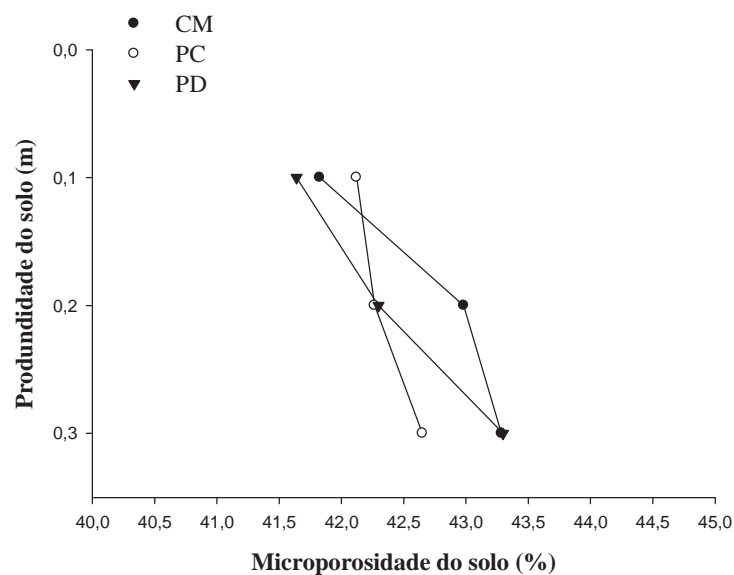
As características físicas macroporosidade, porosidade total, resistência a penetração e teor de água do solo apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes profundidades do solo (Figuras 6 a 11), indicando que ao longo de um ano os preparos do solo promoveram diferentes influências nas partículas do solo.

A microporosidade não foi influenciada pelos preparos do solo. Na figura 6 observa-se que este parâmetro é crescente em função da profundidade do solo o que indiretamente mostra que, quanto maior a profundidade maior a capacidade de retenção de água no solo.

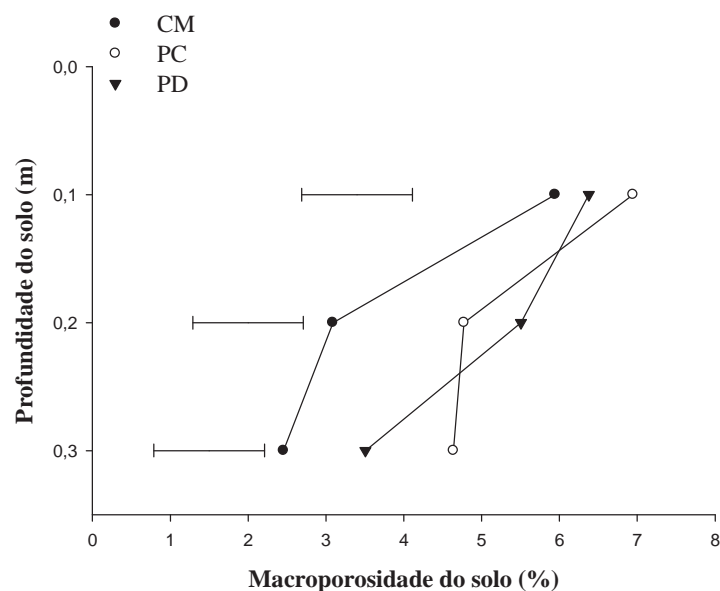
O parâmetro macroporosidade apresentou diferenças significativas entre os tratamentos nas profundidades 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Observou-se no PC a maior quantidade de macroporos na profundidade 0-0,10 e 0,20-0,30 e, na profundidade 0,10-0,20 m o PD apresentou maior macroporosidade, sendo estes dois tratamentos superiores ao CM em todas as profundidades avaliadas (Figura 7).

Nas figuras 6, 7 e 8 observa-se que a porosidade total durante a condução do experimento foi constituída por maior e menor quantidade de micro e macroporos, respectivamente. E que as diferenças entre os tratamentos observadas na

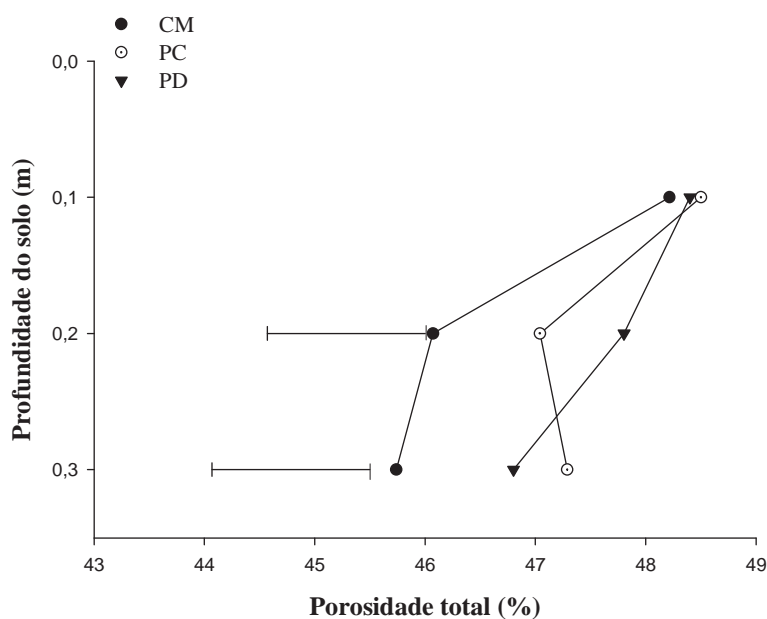
porosidade total (Figura 8) foi determinada em função da quantidade de macroporos, já que não houve diferenças entre os tratamentos na quantidade de microporos.



**FIGURA 6.** Porcentagem de microporos na composição da porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo



**FIGURA 7.** Porcentagem de macroporos na composição da porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.



**FIGURA 8.** Porosidade total do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.

A porosidade total do solo foi influenciada pelos preparos do solo apenas nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Na profundidade 0,10-0,20 m o PD apresentou maior porosidade total seguida pelos PC e CM. Na profundidade de 0,20-0,30 m o PC apresentou maior porosidade total seguida pelo PD e CM.

Genericamente os microporos estão relacionados com a retenção de água e os macroporos com a aeração do solo e, desta forma determinam a densidade do solo. Assim, a composição da porosidade total interfere as relações hídricas entre o solo e a planta, absorção de nutrientes pelas raízes, penetração das raízes, aeração e temperatura do solo (REZENDE, 1997).

A não diferença entre os tratamentos verificada na porosidade total na profundidade 0-0,10 m indica que o PD apresenta maior estabilidade dos agregados na superfície, possivelmente pela cobertura vegetal presente no solo durante os quatro primeiros

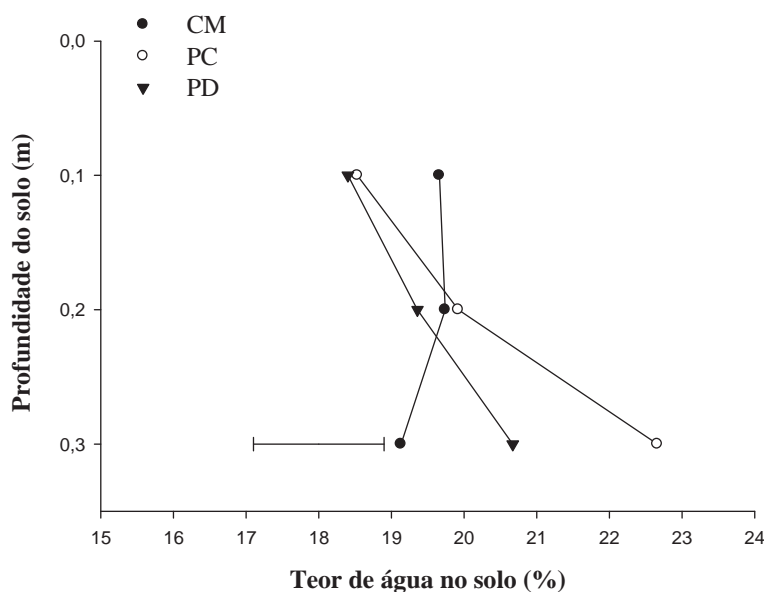
meses de desenvolvimento da cultura e pelo menor tráfego de máquinas no momento do preparo do solo para o plantio.

Na profundidade de 0,10-0,20 m o PD apresentou maior quantidade de macroporos e porosidade total, segundo Derpsch et al. (1991) e Merten e Mielniczuk (1991) esse comportamento é atribuído ao não-revolvimento do solo, tráfego de máquinas e a formação de canais biológicos criados por animais do solo e por raízes.

Nesta mesma profundidade a menor porosidade total verificada no CM pode estar associada com a densidade do solo. Assim em função das operações realizadas no CM não ultrapassarem 0,10 m, o tráfego de máquinas durante o preparo do solo, as chuvas ocorridas durante os quatro primeiros meses e a incorporação dos resíduos vegetais, que aumenta a atividade microbiana e, conseqüentemente, acelera a decomposição e mineralização da matéria orgânica (ANDRADE e COLOZZI FILHO, 1991) contribuíram com a redução da porosidade neste tratamento.

De maneira geral os resultados de pesquisas mostram que o PD ocasiona o aumento da densidade do solo em função da redução da macroporosidade e que o plantio convencional apresenta os menores valores para esta característica do solo (STONE e SILVEIRA, 2001; TORMENA et al., 2002). Entretanto, a maior porosidade verificada no PC na profundidade 0,20-0,30 m mostra que apesar do preparo contribuir com o aumento da porosidade total a estabilidade deste parâmetro, nestas condições é menor do que aquela observada no PD, uma vez que o PD não diferiu significativamente do PC.

O teor de água no solo foi significativamente diferente entre os tratamentos apenas nas profundidades 0,20-0,30 m, onde o maior teor de água foi verificado no PC seguido pelo PD e CM (Figura 9).

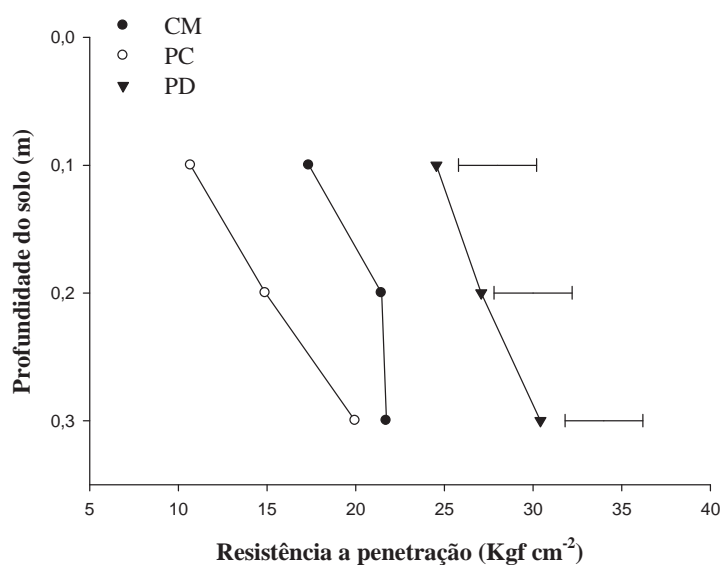


**FIGURA 9.** Teor de água no solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes tratamentos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.

A resistência a penetração foi diferente entre os tratamentos em todas as profundidades do solo. Na profundidade 0-0,10 m o PD apresentou maior resistência a penetração do solo, seguido pelo CM e PC. Esta mesma tendência foi verificada na profundidade 0,10-0,20 m sendo que na profundidade 0,20-0,30 m apenas o PD foi significativamente maior do que os demais tratamentos (Figura 10).

A resistência à penetração do solo em todas as profundidades foi maior no PD, entretanto observa-se na curva representativa deste tratamento que o aumento deste parâmetro nas camadas mais profundas apresenta crescimento pouco acentuado. Já no PC o aumento deste parâmetro em função da profundidade do solo é maior, e o CM apresentou estabilidade a partir da profundidade 0,20-0,30 m.

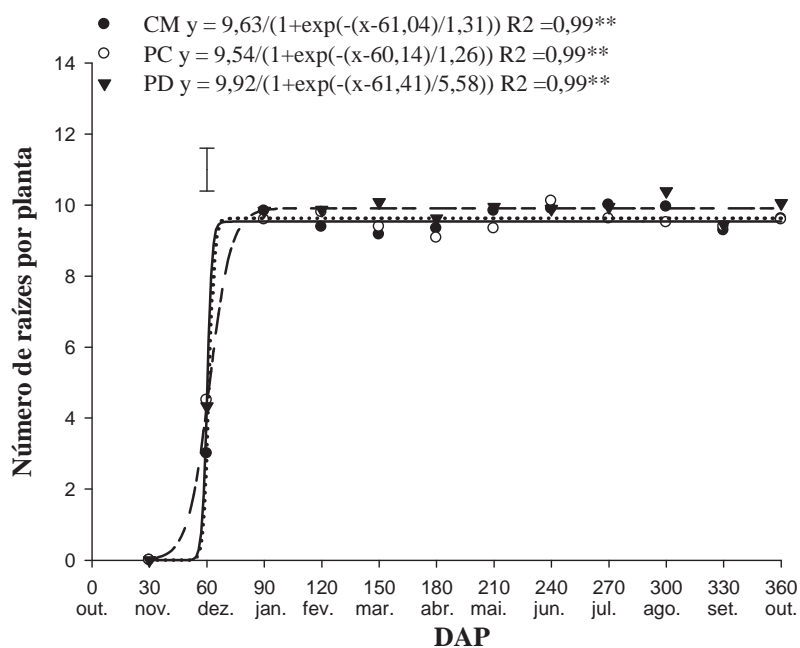
Apesar da maior resistência a penetração do solo verifica no tratamento PD, não é possível afirmar que estes valores sejam críticos ao desenvolvimento das raízes tuberosas de mandioca.



**FIGURA 10.** Resistência a penetração do solo durante a condução do experimento. Média de seis avaliações amostradas nos diferentes preparos e profundidades do solo. Barras horizontais comparam tratamentos (CM, PC, PD) pelo teste de Tukey a 5%.

## 6.2 Raízes

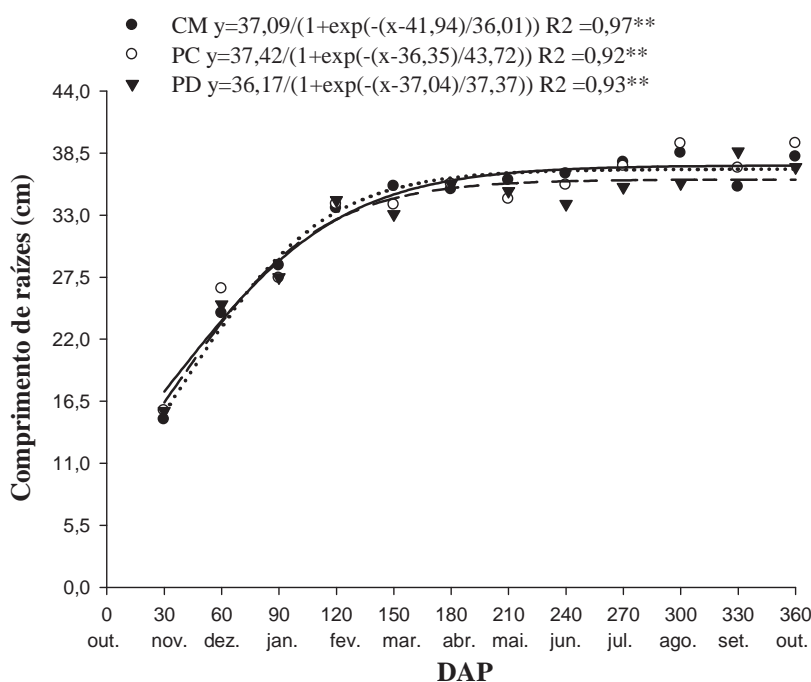
O número de raízes por planta (Figura 11) foi estabelecido aos 90 DAP, com uma diferença significativa observada aos 60 DAP, onde o PC e o PD apresentaram maior número de raízes. Aos 90 DAP essa diferença foi superada pelas plantas desenvolvidas no CM. A partir do estabelecimento do número de raiz observou-se que a média de produção de raízes tuberosas por planta de mandioca da cultivar IAC 576-70 situa-se entre 9 e 10.



**FIGURA 11.** Número de raízes por planta de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.  $^{**}$ significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento de raízes (Figura 12) não foi influenciado pelos tratamentos em nenhuma das épocas avaliadas, indicando que nem mesmo a maior resistência a penetração do solo observada no PD (Figura 8), foi suficiente para provocar diferenças entre os tratamentos. O crescimento em comprimento das raízes iniciou-se na época da brotação estendendo-se até o final da formação da parte aérea, 120 DAP (Tabela 3).



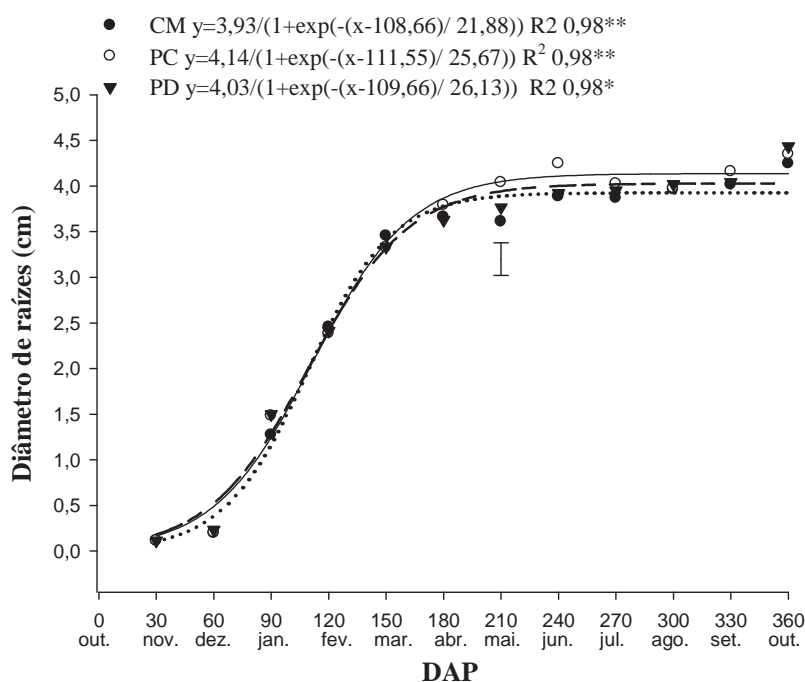


**FIGURA 12.** Comprimento médio de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado. **\*\***significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Aos 30 DAP as plantas de mandioca apresentavam raízes com 0,11 cm de diâmetro, sendo visivelmente impossível distinguir a presença de raízes tuberosas ou em início de tuberização. Aos 60 DAP foram consideradas raízes tuberosas aquelas que se apresentavam ligeiramente espessadas e aos 90 DAP as raízes tuberosas já estavam totalmente perceptíveis, e apresentavam diâmetro médio de 1,50 cm (Figura 13).

Observou-se o incremento do diâmetro das raízes a partir dos 60 DAP estabilizando-se aos 180 DAP. Durante esse período não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos, no entanto uma diferença foi verificada aos 210 DAP, onde o PC apresentou raízes com maior diâmetro, seguido pelo PD e CM.

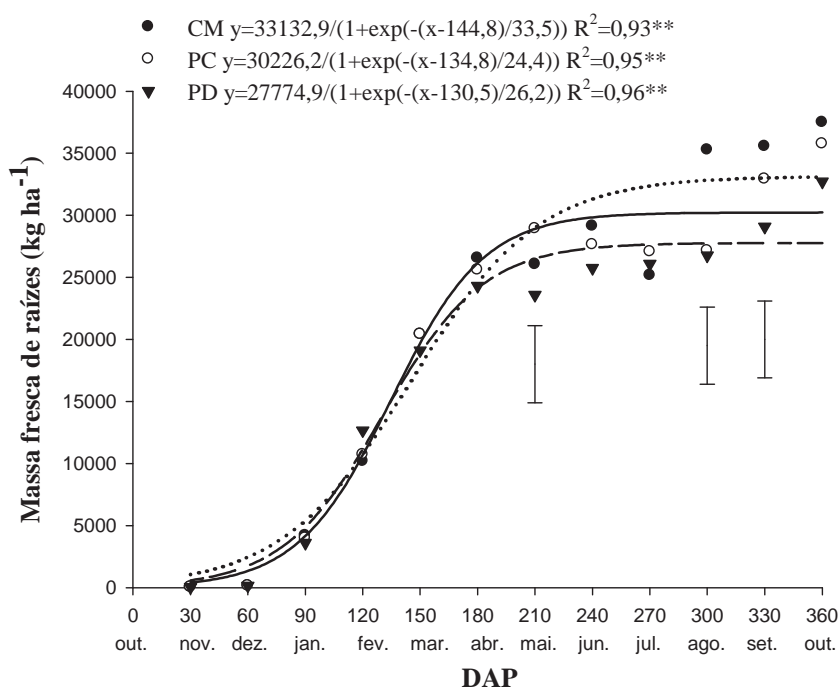
Na figura 13 é possível observar que aos 360 DAP ocorre um novo período de incremento em diâmetro das raízes em todos os tratamentos, indicando simultaneidade entre as plantas nos diferentes ambientes de desenvolvimento, no início do segundo ciclo de armazenamento (Tabela 3) que coincide com início do aumento da temperatura e precipitação pluvial (Figura 1).



**FIGURA 13.** Diâmetro médio de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os crescimentos em diâmetro e em comprimento apresentaram a mesma duração, ou seja, 120 dias. Entretanto, o crescimento em comprimento inicia e estabiliza-se 30 dias antes do período de crescimento em diâmetro, sendo o crescimento destes dois parâmetros simultâneo durante 60 dias. Segundo Alves (2002) o crescimento em comprimento das raízes, ocorre antes do crescimento em espessura em função da facilidade que as raízes mais finas têm em penetrar o solo.

O acúmulo de massa fresca (Figura 14) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos aos 210, 300 e 330 DAP. Aos 210 DAP o PC apresentou maior acúmulo de massa fresca seguido por CM e PD, aos 300 e 330 DAP o maior acúmulo foi verificado no CM seguido pelo PC e PD. Ao avaliar as figuras 13 e 14 observa-se que o período de maior acúmulo de massa fresca nas raízes coincide com o máximo crescimento e estabilização do diâmetro das raízes, em função da alta correlação entre estes parâmetros (Tabela 4).



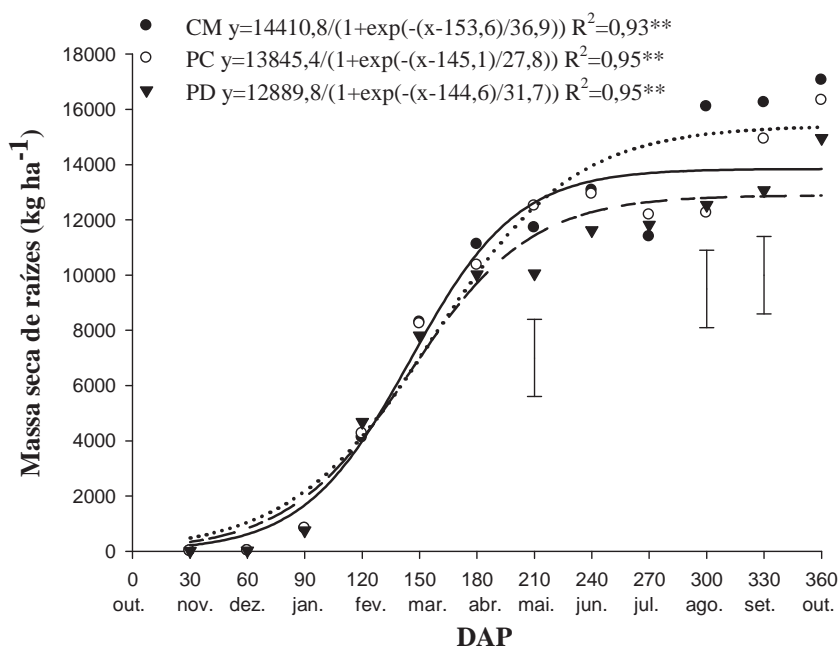
**FIGURA 14.** Massa fresca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de massa seca nas raízes (Figura 15) foi significativamente diferente entre os tratamentos aos 210, 300 e 330 DAP, seguindo a mesma tendência do acúmulo de massa fresca, o que é explicada pela alta correlação positiva entre estes parâmetros (Tabela 4).

**TABELA 4.** Coeficientes de correlação linear entre os componentes de produção de raízes tuberosas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, cultivadas em três preparos do solo (CM, PC e PD) avaliadas em doze épocas.

	Comprimento	Número de raiz	Massa fresca	Massa seca	% massa seca
Diâmetro	.8570**	.7665**	.9176**	.9059**	.9166**
Comprimento		.7997**	.7818**	.7655**	.8249**
Número de raiz			.6385**	.6028**	.7109**
Massa fresca				.9905**	.8521**
Massa seca					.8688**

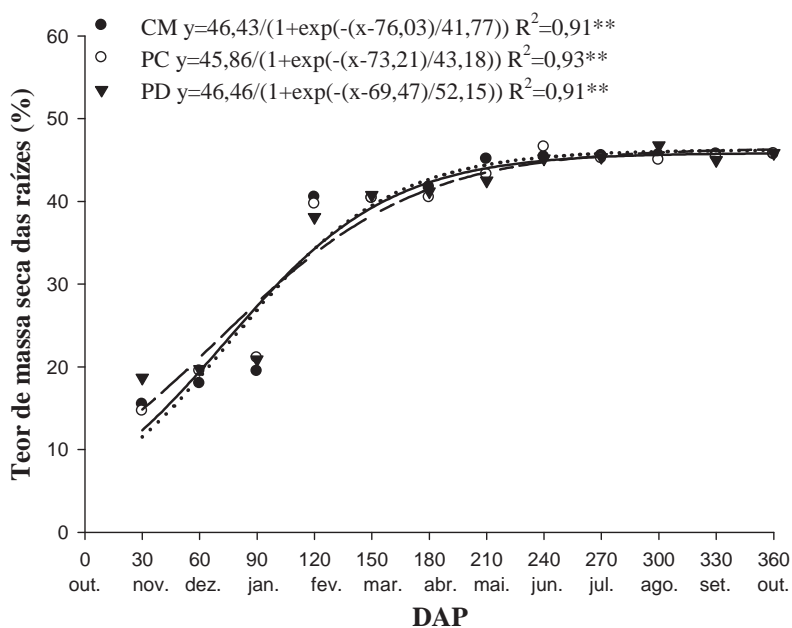
\*\* significativos a 1% pelo teste t



**FIGURA 15.** Massa seca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado. \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS, entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em todos os tratamentos o teor de massa seca das raízes (Figura 16) atingiu a máxima velocidade de acúmulo em apenas 30 dias, iniciando aos 90 e estabilizando aos 120 DAP. Este parâmetro não foi alterado aos 210, 300 e 330 DAP como observado no acúmulo de massa fresca e seca, indicando que correlação positiva entre estes parâmetros não é tão determinante quanto aquela correlação observada entre massa fresca e seca que chega a ser quase 100% (Tabela 4).

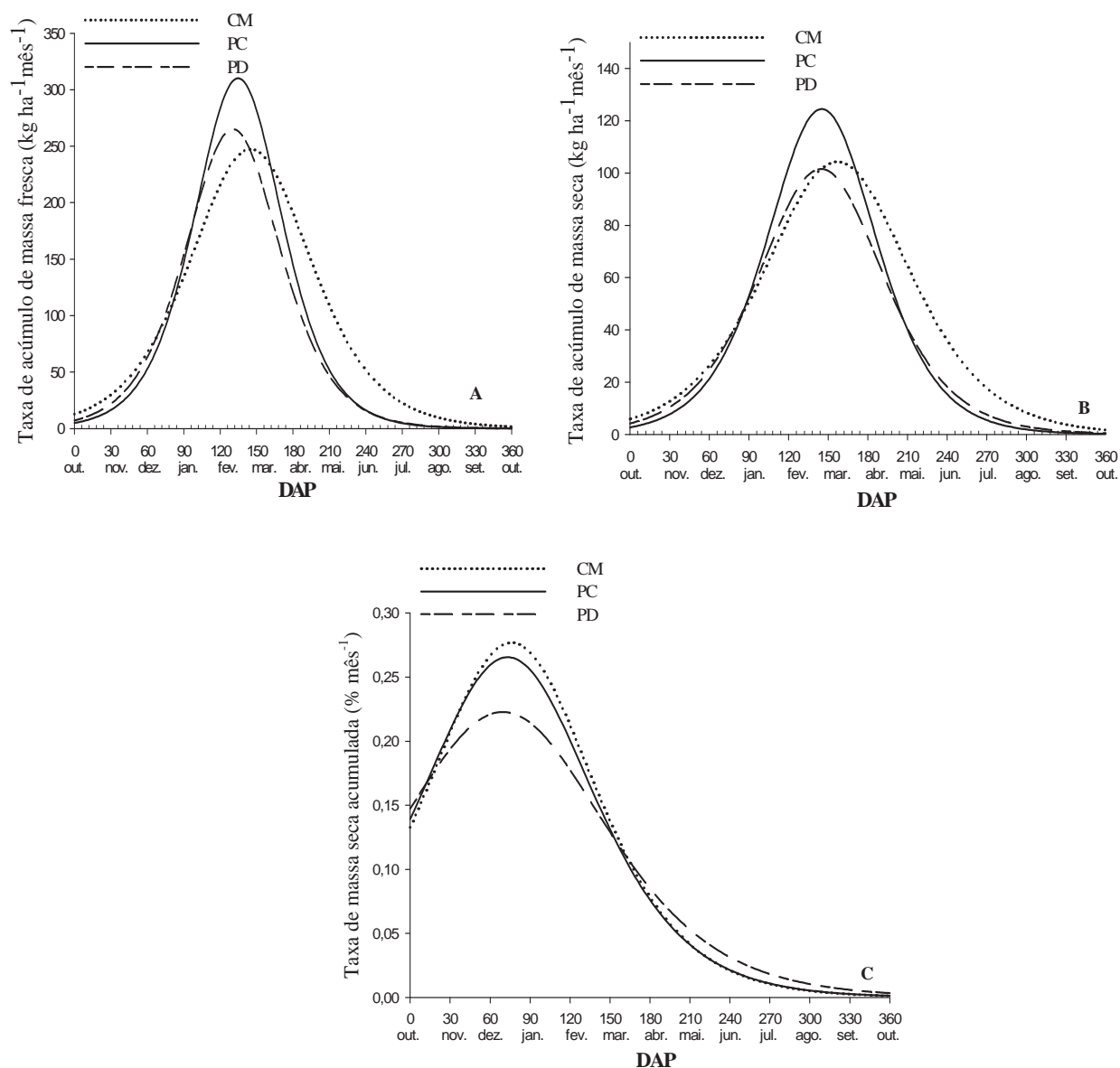
No período de 60 a 180 DAP, observou-se que o comportamento do acúmulo de massa fresca e seca foram semelhantes (Figuras 14 e 15), entretanto, a taxa de acúmulo destes parâmetros foram diferentes entre os tratamentos (Figuras 17 A e B). As raízes desenvolvidas no PC apresentaram maior taxa de acúmulo de massa fresca com início e fim semelhantes ao PD, sendo atingida aos 135 e 132 DAP, respectivamente. As raízes desenvolvidas no CM iniciaram o período de maior acúmulo de massa fresca posteriormente, tendo a máxima taxa observada aos 146 DAP (Figura 17 A).



**FIGURA 16.** Teor de massa seca de raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, ao longo do ciclo avaliado.  $^{**}$ significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos no período onde ocorreu o maior acúmulo de massa fresca nas raízes, 90 a 180 DAP (Figura 14) é explicado pela duração do período de máxima taxa de acúmulo, posto que apesar do acúmulo ter sido maior nas raízes do PC e PD, a duração no CM foi maior, indicando que as plantas nas condições do CM tiveram um incremento na massa fresca e diâmetro das raízes até os 210 DAP (Figura 17 A), o que justificaria a diferença significativa entre os tratamentos observada nesta época.

A máxima taxa de acúmulo de massa seca ocorreu aos 144 dias para o PC e PD, onde as raízes nestes tratamentos apresentaram 120 e 100 kg ha mês<sup>-1</sup>, respectivamente, e o cultivo mínimo aos 160 DAP com 112 kg ha mês<sup>-1</sup> (Figura 17 B).



**FIGURA 17. A-** Taxa de acúmulo de massa fresca, **B-** massa seca e **C-** porcentagem de massa seca (A) em raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 cultivadas em três preparos do solo (CM, PC, PD), avaliadas em doze épocas.

A curva da taxa de acúmulo de massa seca foi semelhante entre o PC e PD quanto ao início, fim e duração, já em termos de quantidade o CM assemelhou-se à curva do PD, sendo a duração do CM diferente das curvas do PC e PD.

Na figura 17 C observou-se que no período onde ocorreu a maior taxa de teor de massa seca nas raízes o CM apresentou maior porcentagem de massa seca, seguido pelo PC e PD.

A partir destes dados pode-se compreender que apesar de diferentes curvas de taxa de acúmulo entre os tratamentos (Figuras 17 A, B e C), em determinado momento os componentes de produção, massa fresca, massa seca e porcentagem de massa seca nas raízes se igualam ou assemelham-se, eliminando possíveis diferenças na produção das raízes durante o período de máximo acúmulo.

Entre os componentes de produção de raízes avaliados neste trabalho, observou-se que todos eles contribuem para o acúmulo de massa seca, entretanto a capacidade de acumular massa fresca e o aumento em diâmetro são os componentes, que determinam de fato, o maior acúmulo de massa seca, correlação acima de 90% (Tabela 4). Estes resultados contribuem com a análise, sobre componentes de produção da raiz de mandioca feita por Vine e Ahmed (1987).

Segundo Sagrilo et al. (2002) o ideal é que a colheita da mandioca de mesa ocorra entre 6 a 13 meses após o plantio para a preservação das características culinárias. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, neste período as plantas desenvolvidas nos três tratamentos já estariam no ponto de colheita ideal, já que o máximo acúmulo de massas fresca e seca foi atingido entre 180 e 210 DAP (Figuras 14 e 15).

Entretanto aos 210 e 300 DAP, por ocasião da colheita, as raízes desenvolvidas no PC e PD apresentariam significativamente menor acúmulo de massas fresca e seca, sendo que, aos 330 apenas as raízes desenvolvidas no PD apresentar-se-iam em significativa desvantagem quanto ao acúmulo de massas fresca e seca.

Na literatura existe o relato de que a época de colheita, relacionada às condições ambientais e não à idade da planta, podem influenciar a qualidade culinária das raízes (OLIVEIRA e MORAES, 2009; FRANCK et al., 2011), desta forma apesar de o acúmulo de massa fresca e seca ter sido atingido a partir dos 180 DAP, é interessante que estas informações sejam consideradas no momento da colheita.

Durante o início do novo período de atividade de armazenamento, 330-360 DAP (Tabela 3), não observou-se entre os tratamentos, declínio no acúmulo na porcentagem de massa seca nas raízes. De acordo com Conceição (1987), durante a retomada

de um novo período vegetativo ocorre a demanda por energia para a formação de novas folhas e ramos na parte aérea, que provem das reservas acumuladas durante o primeiro ciclo de armazenamento nas raízes.

Aos 300 DAP o início antecipado do acúmulo de massa fresca e seca nas raízes desenvolvidas no CM, seguido pela PC e PD, indica que neste tratamento as plantas podem ter respondido mais ao estímulo de temperatura, que começou a aumentar a partir de agosto (Figura 1), do que as condições físicas do solo (Figuras 6 a 10). Aos 330 as raízes desenvolvidas no PC já acumulavam de forma semelhante às aquelas desenvolvidas no CM, sendo que apenas as raízes desenvolvidas no PD apresentaram o início de acúmulo de massas fresca e seca mais tardios.

Aos 360 DAP estas diferenças não foram mais verificadas entre os tratamentos, é um indicativo da capacidade das plantas de mandioca em se desenvolverem em ambientes distintos, e que os diferentes preparos do solo considerados nesta pesquisa são favoráveis ao cultivo da mandioca e podem ser adotados pelo produtor.

### **6.3 Morfologia das raízes**

Os caracteres morfológicos das raízes da cultivar IAC 576-70 aos 360 DAP não foram influenciados pelas características físicas do solo onde se desenvolveram (Tabela 5).

Aos 360 DAP as raízes apresentam as seguintes características morfológicas: padrão de crescimento misto apresentando raízes sésseis e pedunculadas (Figura 18), sendo a maior parte das raízes tuberosas oriundas a partir do calo cicatricial, ou seja, na extremidade da maniva-semente (Figura 18).

As características de cor de polpa branca-creme, facilidade de retirada da película e da entrecasca e médias tortuosidades são características desejáveis para o consumo de raízes de mesa *in natura*. Estes dados complementam aqueles descritos por Lorenzi e Dias (1993) para cultivar IAC 576-70, que segundo Lorenzi e Valle (2002) é a cultivar que atende praticamente a 100% dos mercados de comercialização *in natura* e de congelados na região de São Paulo.



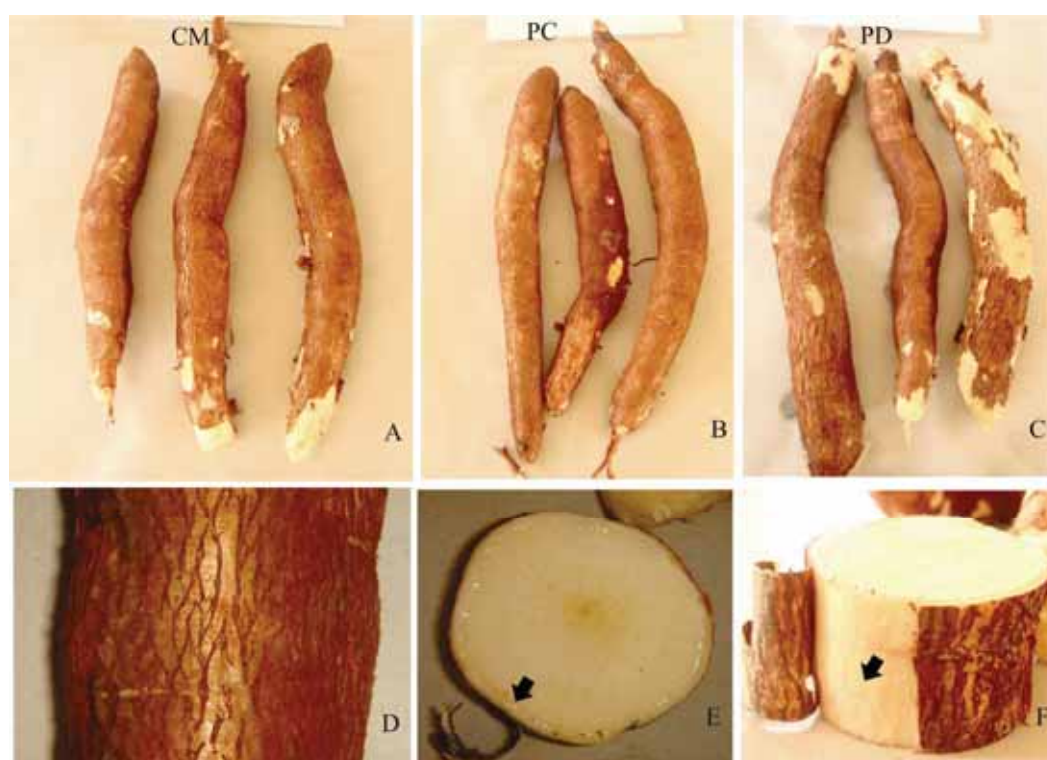
**TABELA 5.** Caracteres morfológicos de raízes tuberosas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 360 DAP, desenvolvidos em três preparos do solo.

	CM	PC	PD
<b>Presença de pedúnculo</b>	Misto	Misto	Misto
<b>Cor da película</b>	Marrom clara	Marrom clara	Marrom clara
<b>Cor da entrecasca</b>	Branca ou creme	Branca ou creme	Branca ou creme
<b>Cor da polpa</b>	Branca a creme	Branca a creme	Branca a creme
<b>Textura da película</b>	Rugosa	Rugosa	Rugosa
<b>Constrições</b>	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
<b>Forma</b>	Cilíndrica	Cilíndrica	Cilíndrica
<b>Destaque da película</b>	Fácil	Fácil	Fácil
<b>Destaque da entrecasca</b>	Fácil	Fácil	Fácil
<b>Posição das raízes</b>	Tendência Horizontal	Tendência Horizontal	Tendência Horizontal



**FIGURA 18.** Raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 com 360 dias, indicando a presença de raízes com pedúnculo (Pe) e sésseis (seta), predominância das raízes tuberosas a partir do calo cicatricial na exterminada da maniva e tendência horizontal.

As raízes apresentam tendência horizontal, ou seja, crescem perpendicular ao caule (Figura 18) e são predominantemente cilíndricas (Figuras 19 A, B, C) com constrictões médias. Em função do comprimento médio, 0,35 m e do diâmetro médio, entre 0,045 a 0,05 m (Figuras 12 e 13), as raízes da cultivar IAC 576-70 são classificadas como curtas e finas.



**FIGURA 19.** Caracteres morfológicos de raízes tuberosas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, aos 360 DAP. **A-** Raízes desenvolvidas em solo preparado minimamente, **B-** Raízes desenvolvidas em solo com preparo convencional, **C-** Raízes desenvolvidas em solo sem preparo. **D-** Detalhe da textura da película, **E-** Detalhe da cor da polpa, e região onde a casca é destacada da polpa (seta) e **F-** Coloração da entrecasca (seta).

Na Figura 19 observa-se que as raízes apresentaram poucas tortuosidades mesmo quando desenvolvida nas condições de PD onde observou-se maior resistência penetração do solo (Figura 10). É interessante ressaltar que o valor de resistência a penetração verificada no PD não pode ser generalizado para todas as condições de plantio direto, uma vez que este foi avaliado em apenas um tipo de solo e que não existem resultados

de pesquisa que demonstrem um valor crítico que promova prejuízos de ordem morfológica e produtiva em raízes tuberosas de mandioca.

Os preparos do solo não promoveram diferenças entre os caracteres morfológicos das raízes tuberosas de mandioca, indicando que estes parâmetros são determinados pelo genótipo da planta e por isso sofrem pouca ou nenhuma influência do ambiente onde se desenvolvem.

Segundo Fukuda e Guevara (1998) os caracteres morfológicos avaliados neste trabalho, são classificados nas categorias de descritores mínimos (presença de pedúnculo, cor da película, cor da entrecasca, cor da polpa, textura da película), principais (constrições nas raízes) e descritores secundários (forma da raiz, destaque da película e da entrecasca e posição das raízes), e nesta seqüência decrescem em termos de herdabilidade, sendo por isso compreensível a não influência do ambiente nestas características.

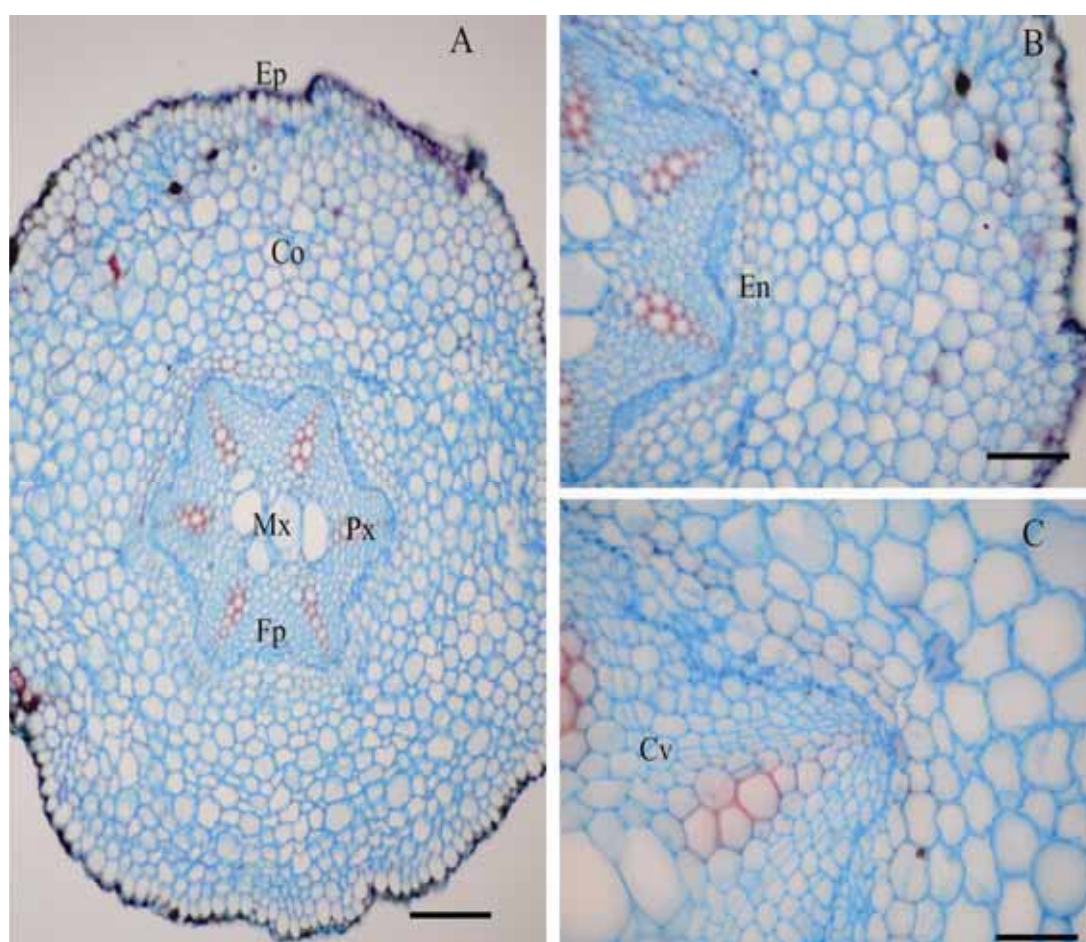
#### 6.4 Anatomia qualitativa

Aos 30 DAP as plantas de mandioca apresentavam a maior parte das raízes adventícias a partir do calo cicatricial em uma das extremidades da maniva, e poucas originadas a partir dos nós caulinares (Figura 20). Segundo Lowe et al. (1982) as plantas de mandioca na fase de formação do sistema radicular apresentam, em função do lugar de origem, dois tipos de raízes adventícias, sendo aquelas oriundas a partir do calo cicatricial classificadas como raízes basais e, aquelas oriundas a partir das gemas presentes nos nós classificadas como raízes nodais.



**FIGURA 20.** Plantas de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 30 DAP, desenvolvidas em PC (plantio convencional), CM (cultivo mínimo) e PD (plantio direto).

De acordo com a figura 20 observa-se a impossibilidade de identificar a olho nu as raízes que iriam se tuberizar, entretanto, anatomicamente, já aos 15 DAP, as raízes apresentavam início de crescimento secundário, marcado pela formação do câmbio vascular entre o floema e xilema primário (Figura 21 C). De acordo com Lowe et al. (1982) durante o crescimento primário não existem diferenças anatômicas entre as raízes basais e nodais e são as raízes basais que, em sua maioria se diferenciam em raízes tuberosas, para armazenar carboidratos na forma de amido.



**FIGURA 21.** Secções transversais da região mediana de raiz de mandioca IAC 576-70 aos 15 DAP. **A-** Aspecto geral da raiz em início de crescimento secundário (Ep-epiderme, Co- córtex, Px- protoxilema, Mx- metaxilema, Fp- floema primário) barra=150µm, **B-** Detalhe da endoderme (EN) barra=100 µm, **C-** Detalhe da instalação do câmbio vascular (CV) barra=50 µm.

O crescimento primário em raízes adventícias de mandioca, cultivar IAC 576-70 foi descrito por Moraes-Dallaqua e Coral (2002). Segundo estes autores nesta fase as secções transversais da região mediana de raiz de mandioca apresentam epiderme unisseriada, com células de paredes delgadas, exoderme com células de parede lignificadas e córtex constituído por 7 a 8 camadas de células parenquimáticas, de paredes celulósicas delgadas, com espaços intercelulares conspícuos e algumas com conteúdo celular. No cilindro vascular o periciclo apresenta células menores, formando um cilindro único. O xilema tem arranjo hexarco com protoxilema diferenciando-se de fora para dentro, e alternando-se com as arestas de xilema ocorrem grupos de floema, sendo o centro da raiz preenchido por células parenquimáticas.

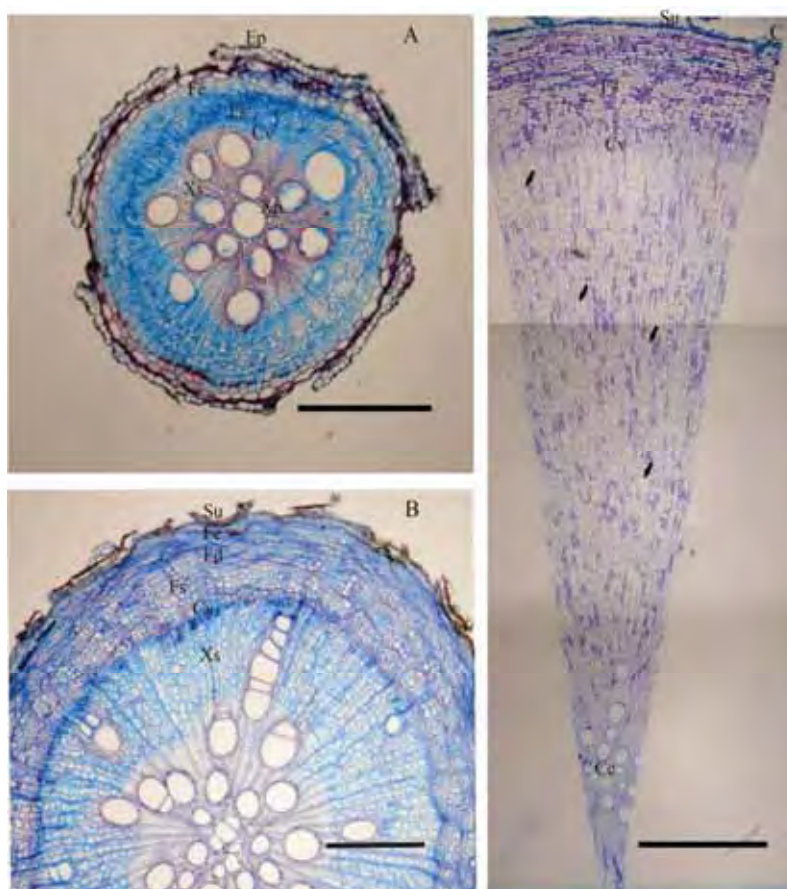
Aos 15 DAP as secções transversais da região mediana de raízes adventícias basais de mandioca IAC 576-70 mostram epiderme unisseriada recoberta com cutícula, várias camadas de células parenquimáticas constituindo o córtex, cuja ultima camada é a endoderme (Figuras 21 A e B). Internamente à endoderme ocorre o periciclo, que constitui a primeira camada de células do cilindro vascular, o qual apresenta seis pólos de protoxilema alternados com grupos de floema primário, sendo por isso classificada como poliarca corroborando com os resultados obtidos por Esaú (1974) e Moraes-Dallaqua e Coral (2002).

Aos 30 DAP, as plantas encontravam-se na fase de formação do sistema radicular (Tabela 3), e em um período simultâneo de crescimento e diferenciação celular, que posteriormente implicaria em mudança na forma e função de algumas raízes.

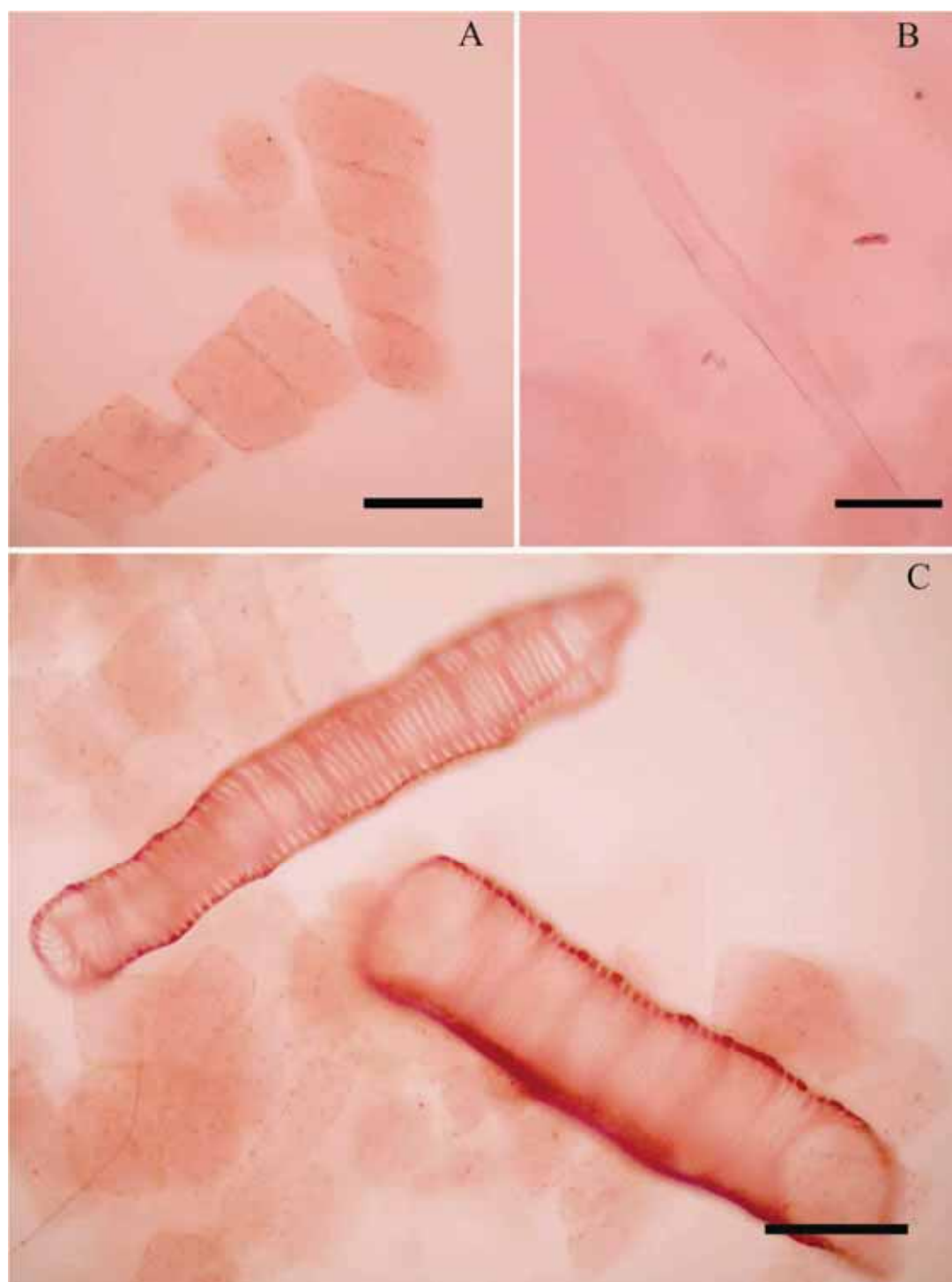
Anatomicamente, as raízes aos 30 DAP apresentam início do crescimento secundário marcado por uma sucessão de eventos que incluem a diferenciação de células em novos tecidos da raiz. A secção transversal de raízes aos 30 DAP (Figura 22 A) mostra a epiderme colapsada ao longo da circunferência da raiz e camadas de córtex sendo comprimidas para a extremidade do órgão devido à formação e atividade do felogênio e do câmbio vascular.

A atividade do felogênio é percebida pela produção de súber, indicada pela região com coloração mais escura logo abaixo da camada de epiderme e córtex (Figura 22 A). Já a atividade do câmbio vascular é marcada pela produção de floema e xilema secundário (Figura 22 A).

O xilema secundário produzido nesta fase é composto por células de elementos de vaso, fibra e parênquima (Figura 23 B e C). Estas células, resultantes do início do crescimento secundário, futuramente constituirão a parte mais velha da raiz formando o cordão central (Figura 5 e 24 B), onde em volta serão acrescentados, por atividade do câmbio vascular, camadas de xilema secundário com muitas células de parênquima (Figura 23 A), poucos elementos de vaso e ausência de fibras (Figura 24 C), evidenciadas pela floroglucina acidificada em raízes aos 120 DAP.



**FIGURA 22.** Secções transversais do terço médio de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 em três épocas de avaliação. **A-** Aos 30 DAP, observar: epiderme (Ep), córtex (Co), felogênio (Fe), floema secundário (Fs), câmbio vascular (Cv), xilema secundário (Xs) e xilema primário (Xp) barra = 150  $\mu$ m. **B-** Aos 60 DAP, observar a formação da periderme, formada pelo súber (Su), felogênio e feloderme (Fd), câmbio vascular e xilema secundário com maior quantidade de células de parênquima, barra=150  $\mu$ m, **C-** Aos 90 DAP, observar raiz com estrutura de raiz tuberosa com elementos de vaso (setas) disperso pelo parênquima do xilema secundário, cordão central (Cc) barra = 500  $\mu$ m.



**FIGURA 23.** Elementos celulares do xilema secundário de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 5756-70 aos 180 DAP. **A-** Células de parênquima, **B-** Fibra presente no cordão central e **C-** Elementos de vaso presentes em todas as regiões do xilema secundário, barra= 100 $\mu$ m.



**FIGURA 24.** Secções transversais (A,B,C) e radial (D) do terço médio de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 120 DAP, mostrando células com paredes lignificadas pela reação em vermelho do floroglucinol **A-** Secção transversal na região da casca, evidenciando células esclerificadas na região do súber (Su), feloderme (Fd) e floema secundário (Fs), barra=50 $\mu$ m, **B-** Detalhe do cordão central, evidenciando elementos de vaso e fibras, barra=150 $\mu$ m, **C-** Secção longitudinal radial na região do xilema secundário com detalhe do vaso, **D-** Detalhe dos elementos de vaso barra=150 $\mu$ m.



Aos 60 DAP algumas raízes adventícias já apresentavam espessamento em diâmetro, sendo possível a distinção das raízes que iriam se tuberizar. A secção transversal da região do terço médio destas raízes (Figura 22 B) mostra estrutura secundária estabelecida constituindo-se de periderme formada por súber, felogênio e feloderme, floema secundário, câmbio vascular e xilema secundário.

Nesta fase, a periderme constitui o novo tecido de revestimento das raízes. E, o xilema secundário produzido é composto por maior quantidade de células parênquimáticas, poucos elementos de vaso e nenhuma fibra (Figura 22 B).

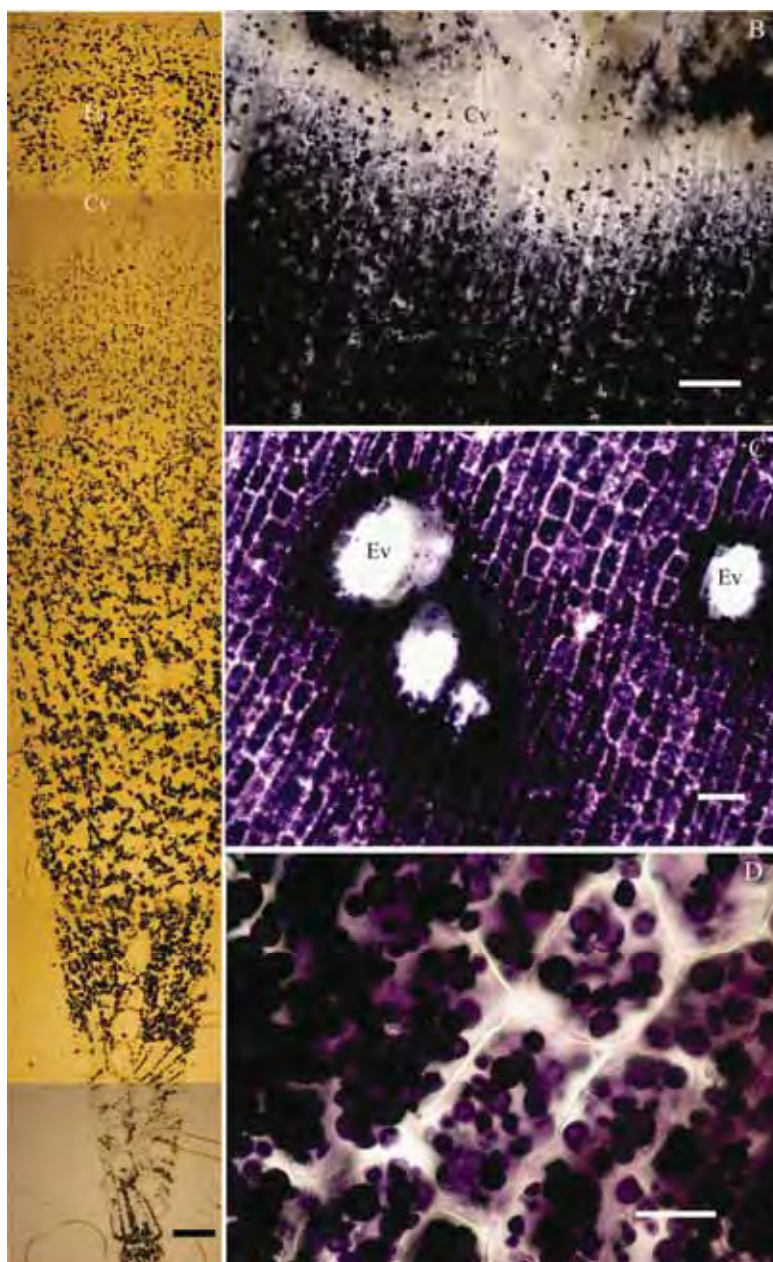
Aos 90 DAP, o número de raízes tuberosas por planta já está definido (Figura 11), assim a secção transversal do terço médio destas raízes mostram a estrutura típica de raiz de armazenamento, com xilema secundário abundante em células de parênquima de reserva e elementos de vaso dispersos (Figura 22 C).

Os elementos de vaso que constituem o xilema secundário das raízes adventícias tuberosas de mandioca apresentam contorno arredondado, parede celular pontuadas, com placa de perfuração simples e extremidade oblíqua (Figura 23 C) e apresentam-se em orientação longitudinal e radial (Figura 24 C e D).

As células do parênquima do xilema secundário aos 90 DAP apresentam forma isodiamétrica (Figura 23 A) e já são especializadas para o armazenamento de açúcares na forma de grãos de amido, evidenciados pela reação do lugol (Figura 25 A). Nessa figura verifica-se também a presença de amido nas células que compõe o floema secundário.

O processo de tuberização inicia-se entre 60 e 90 DAP, onde observa-se o comportamento crescente do diâmetro da raiz (Figuras 13). Nas figuras 25 A e B é possível observar que o processo de tuberização resulta da multiplicação das células de parênquima para armazenamento de amido.

Aos 90 DAP a síntese de amido nas células parênquimáticas é menor do que a proporção de células que se diferenciam a partir do câmbio vascular para armazenar amido. Esse resultado é verificado em função da pouca evidência de amido pela reação do lugol na região do xilema secundário próximo ao câmbio vascular (Figura 25 A).



**FIGURA 25.** Secções transversais da região mediana de raiz de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70 aos 90 (A) e 120 (B,C,B) DAP, evidenciando grãos de amido pela reação do lugol. **A-** Observar grãos de amido na região do floema secundário (Fs) e do xilema secundário, e células ainda em processo de enchimento na região do xilema próximo ao câmbio vascular, barra- 500  $\mu$ m, **B-** Detalhe da região próxima ao câmbio vascular (Cv), onde as células de parênquima encontram-se preenchidas com grãos de amido, barra= 150 $\mu$ m, **C-** Observar detalhe da concentração de grãos de amido ao redor dos elementos de vaso (Ev), barra= 150 $\mu$ m, **D-** Detalhe de células do parênquima cheias de grãos de amido, barra= 50 $\mu$ m.

Aos 120 DAP as células parenquimáticas do xilema secundário, próximas ao câmbio vascular já estão repletas de grãos de amido (Figura 25 B), indicando a simultaneidade entre a diferenciação destas células, a partir do câmbio vascular, e enchimento destas por grãos de amido, o que ocorre em função da fotossíntese líquida positiva (CONCEIÇÃO, 1987).

Nas raízes adventícias tuberosas aos 90 DAP, é possível observar ainda, a presença da “película” e da “entrecasca”. A película é constituída por súber, e a entrecasca é constituída pelo felogênio, feloderme e floema secundário. O conjunto destes tecidos formam a “casca” da raiz de mandioca (Figura 22 C).

Em síntese a casca da raiz de mandioca é composta por película (súber) e entrecasca (felogênio, feloderme e floema secundário), a qual é destacável da polpa (xilema secundário) na região do câmbio vascular (Figuras 5 e 19 E/F).

As raízes adventícias tuberosas de mandioca com 120, 150 e 180 DAP, apresentam estrutura anatômica semelhante àquela observada aos 90 DAP, com a diferença na quantidade de camadas de xilema secundário produzido, apresentando grande quantidade de células parenquimáticas cheias de grãos de amido (Figura 25 B, C, D) e ausência de fibras, evidenciado pelo teste de floroglucina (Figura 24).

A ausência de fibras observada no xilema secundário das raízes tuberosas de mandioca indica que a porção “fibrosa” destas é composta principalmente por substâncias de paredes celulares, como a celulose a hemicelulos e a pectina corroborando com os dados de Raupp et al. (1999) que relataram que estas substâncias compõem a “fibra” presente em farinhas de mandioca, e que segundo Pereira e Beléia (2004) a quantidade destas substâncias varia de acordo com a idade da raiz.

O processo de armazenamento nas raízes de mandioca ocorre de forma semelhante às raízes de cenoura (*Daucus carota*), resultando da atividade cambial normal, ou seja, o câmbio é formado entre o xilema e floema, e a região de armazenamento consiste de tecido vascular secundário com grande proporção de células de parênquima como o descrito por Esaú (1940) e Moraes-Dallaqua e Coral (2002) para cenoura e mandioca respectivamente.

Segundo Alves (2002) no momento em que uma raiz fibrosa se diferencia em tuberosa sua capacidade de absorver água e nutrientes é reduzida consideravelmente. Entretanto, de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho a

quantidade de grãos de amido ao redor dos elementos de vaso (Figura 25 C) pode ter alguma relação com a movimentação de água nestas raízes.

De acordo com Larcher (2006) macromoléculas (amido) não alteram o potencial osmótico da água na mesma intensidade das micromoléculas (açúcares solúveis), entretanto a hidrólise destas macromoléculas altera rapidamente o potencial osmótico controlando o efluxo e influxo da água na célula vegetal.

O controle do fluxo da água nos tecidos da raiz tuberosa é de fato importante uma vez que a planta de mandioca apresenta períodos de repouso vegetativo e que suas raízes apresentam alta perecibilidade em função da deterioração fisiológica, que segundo Hirose (1986) consiste em uma série de reações bioquímicas na região da polpa.

O período de repouso vegetativo em mandioca ocorre segundo Conceição (1987) em função da ocorrência de baixas temperaturas e déficit hídrico. Desta forma a água, presente nos elementos de vaso é necessária para hidratação das células das raízes de armazenamento, neste período, uma vez que segundo Souza (2006) estas raízes desenvolvem-se até 0,30 m de profundidade e que, durante o déficit hídrico apenas as raízes fibrosas, que encontram-se em camadas mais profundas do solo, conseguem absorver água.

Noon e Booth (1977) classificaram a deterioração, em função da origem causal, em primária e secundária, sendo comumente a ocorrência da deterioração primária, que é percebida pela presença de estrias e pontuações pretas a azuladas, cuja ocorrência é acelerada em função da exposição da polpa ao oxigênio e água (BOOTH, 1976).

Ao observar uma raiz com sintomas da deterioração fisiológica primária, Hirose (1986) identificou uma pigmentação preto-azulada no interior dos elementos de vaso do xilema. Segundo este mesmo autor as reações de deterioração fisiológica ocorrem, entre outros fatores, pelo aumento do processo de respiração nas células das raízes, o que implica na degradação do amido em açúcares solúvel.

Loescher et al. (1990) consideraram que a seiva transportada pelos vasos do xilema é a principal via de transporte de açúcares dos tecidos de reserva para as gemas, na fase de superação da dormência em macieira, e é, o que possivelmente ocorre também, em plantas de mandioca durante o início da segunda fase de atividade de armazenamento, já que há demanda por energia para formação de nova parte aérea.

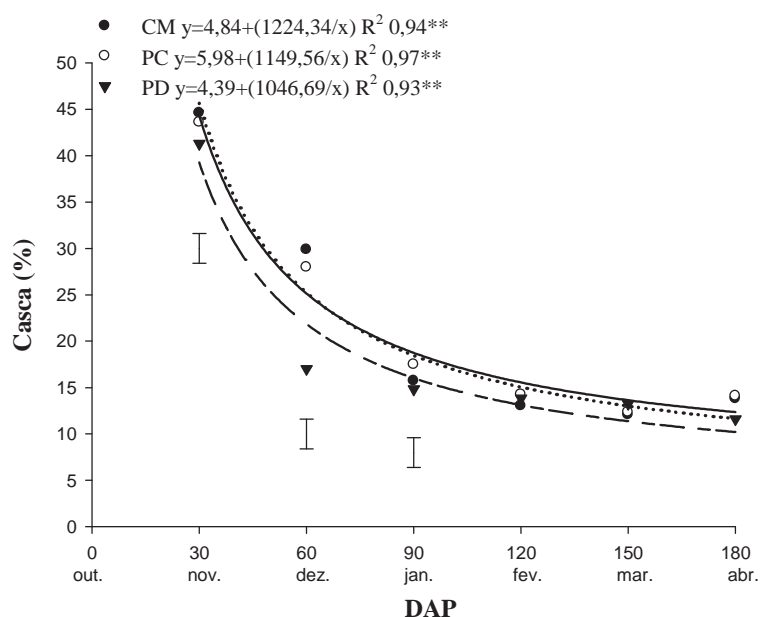
Desta forma ao considerar que a planta de mandioca, assim como a macieira é uma planta perene com fase de “dormência” e que os elementos de vaso do xilema encontram-se mais próximos à região de armazenamento (células parenquimáticas do xilema secundário) do que os tubos crivado do floema, é possível que a concentração de amido ao redor dos elementos de vaso (Figura 25 C) ocorra em função da possível necessidade de serem translocados na forma de açúcares solúveis para outras partes da planta.

Assim ao ser submetida a algum estresse (agentes abióticos causadores da deterioração) o processo de quebra de amido ocorreria da mesma forma, em função do aumento da demanda por energia para respiração das células das raízes, entretanto a exposição deste tecido ao oxigênio juntamente com a água do ambiente e àquela existente no próprio tecido, possivelmente levariam à ocorrência dos sintomas da deterioração fisiológica.

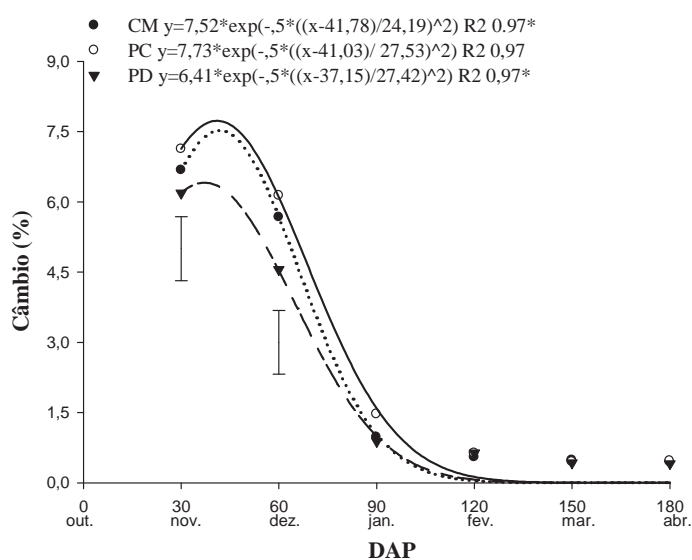
## **6.5 Anatomia quantitativa**

Para todos os parâmetros avaliados na anatomia quantitativa observou-se diferenças significativas entre os tratamentos até os 90 DAP.

Aos 30, 60 e 90 DAP as raízes desenvolvidas no CM e PC apresentaram significativamente maior quantidade de casca comparadas às raízes desenvolvidas no PD (Figura 26).



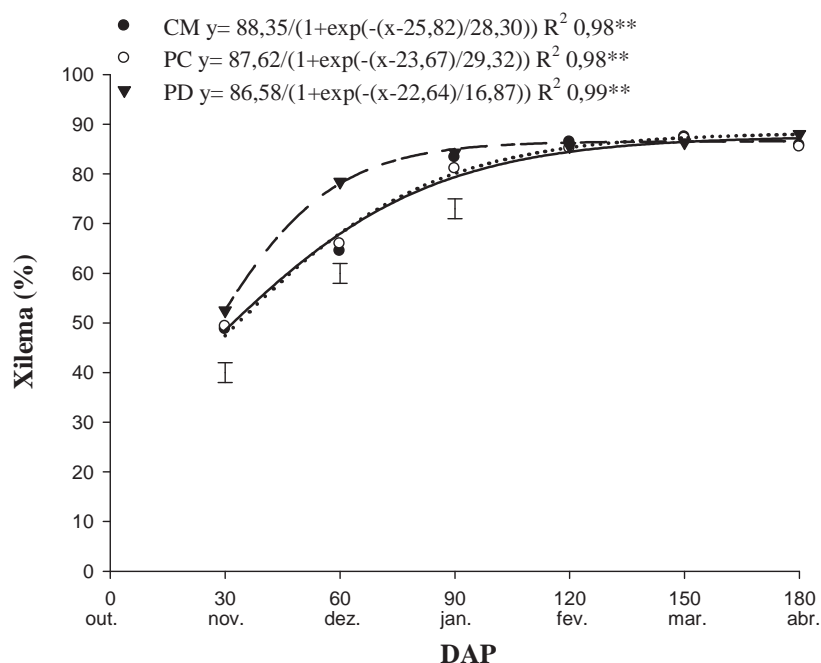
**FIGURA 26.** Proporção de casca em uma seção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.



**FIGURA 27.** Proporção de câmbio vascular em uma seção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A proporção do câmbio vascular nas raízes desenvolvidas no PD foi significativamente menor aos 30 e 60 DAP, sem diferença entre os tratamentos aos 90 DAP (Figura 27).

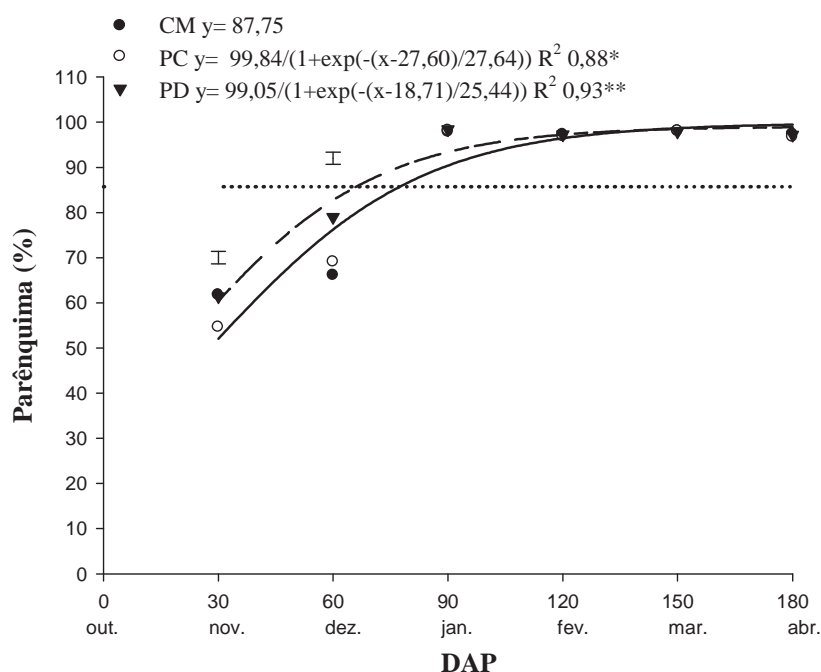
Aos 30, 60 e 90 DAP a proporção do xilema secundário foi maior nas raízes desenvolvidas no PD comparadas ao CM e PC (Figura 28). Este resultado pode estar relacionado com a capacidade de expansão ou multiplicação celular destas raízes, já que nas épocas de avaliação, todas as raízes apresentavam os mesmos tecidos, sendo por isso impossível atribuir este resultado à antecipação do início da formação do xilema secundário.



**FIGURA 28.** Proporção de xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A influência do ambiente que pode ter contribuído para a ocorrência desta diferença na quantidade de xilema nas raízes no PD, é a maior resistência a penetração do solo (Figura 10) aliada à condição favorável em termos de porosidade total, quando comparado aos demais tratamentos (Figura 8).

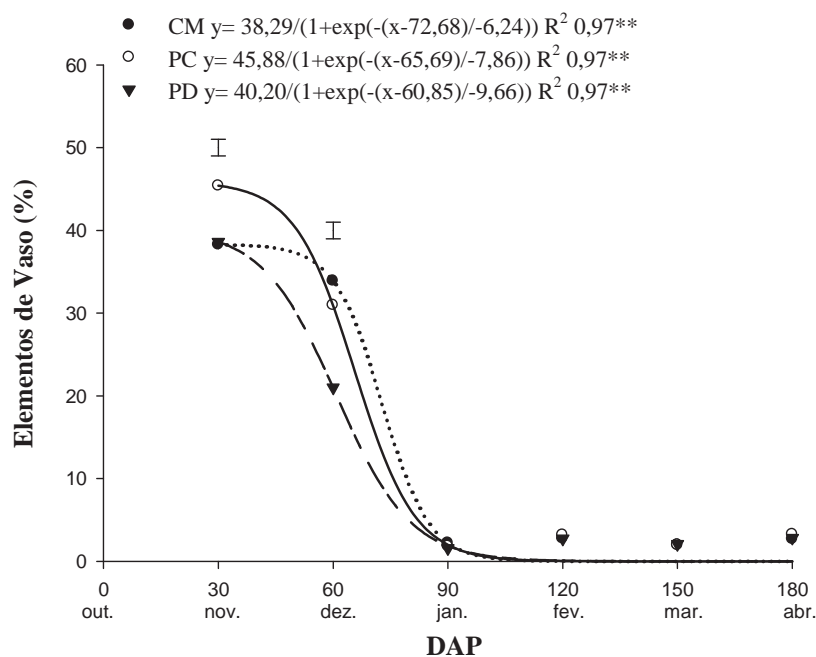
Aos 30 DAP a proporção de parênquima no xilema secundário de raízes desenvolvidas em PC e PD foram significativamente maiores, comparado ao CM. Aos 60 DAP a área do xilema secundário ocupada por células de parênquima mantém-se superior apenas nas raízes desenvolvidas no PD, igualando entre as raízes desenvolvidas no CM e PC (Figura 29).



**FIGURA 29.** Proporção de células de parênquima no xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A composição do xilema secundário das raízes desenvolvidas no CM e PD, aos 30 DAP apresentaram significativamente menor quantidade de elementos de vaso comparado ao PC, entretanto aos 60 DAP a menor quantidade de elementos de vaso foi verificada apenas nas raízes desenvolvidas no PD, diferindo das raízes desenvolvidas no CM e PC, sendo estas diferenças não mais verificadas aos 90 DAP (Figura 30).





**FIGURA 30.** Proporção de células de elementos de vaso no xilema secundário em uma secção transversal da região mediana de raízes adventícias de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576 70 aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 DAP. \*\* significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. Barras verticais indicam valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A análise das figuras 26 a 30 indica que de forma geral, os tecidos que compõe as raízes de mandioca apresentam comportamento semelhante ao longo do desenvolvimento das raízes, ou seja, as proporções de casca, câmbio vascular e elementos de vaso são reduzidos ao contrário do xilema secundário e das células parenquimáticas de reserva.

No que diz respeito às “fibras”, é importante compreender que no xilema secundário da raiz de mandioca, os elementos de vaso assim como as fibras são as únicas células que apresentam parede celular secundária, lignificada. Assim a partir dos resultados obtidos tem-se que, a proporção das células parenquimáticas e de elementos de vaso que compõem o xilema secundário da polpa de raiz de mandioca tende a ser constante a partir dos 90 DAP (Figura 30), fortalecendo a hipótese de que o termo “fibroso” comumente utilizado para justificar o cozimento desuniforme em mandioca relaciona-se com a

composição da parede celular das células que apresentam-se em predominância na polpa de mandioca, ou seja, as células parenquimáticas de reserva.

A análise da Tabela 6 mostra que os resultados dos parâmetros da anatomia quantitativa podem ser explicados pelos coeficientes de correlação existentes entre eles. Aos 30, 60 e 90 DAP observa-se a correlação negativa entre casca e xilema, indicando que a redução da proporção da casca implica no aumento da proporção do xilema para as raízes desenvolvidas no CM, PC e PD.

Adicionalmente a estas correlações, aos 30 e 60 DAP as raízes desenvolvidas no PD apresentaram correlação positiva entre casca e câmbio vascular, indicando que a redução na proporção do câmbio vascular implica na redução da proporção da casca, e a correlação negativa entre câmbio vascular e xilema, indica que a redução na proporção do câmbio vascular implica no aumento da proporção do xilema secundário.

Aos 90 DAP as raízes desenvolvidas no PD apresentaram a correlação positiva entre a proporção de casca e elemento de vaso e correlação negativa entre casca e parênquima. Esta correlação explica que quando houve um aumento da proporção de casca ocorreu o aumento na proporção de elementos de vaso e diminuição da proporção de células de parênquima do xilema secundário.

Assim os coeficientes de correlação explicam o desenvolvimento diferenciado em termos de quantidade de células de parênquima nas raízes desenvolvidas no PD, até os 90 DAP e o porquê a partir dos 90 DAP esta diferença não foi mais verificada.

Até os 90 DAP não houve a influência dos tratamentos no diâmetro, massa fresca e seca nas raízes (Figuras 13 a 15), este resultado mostra que a proporção dos tecidos durante o desenvolvimento inicial das raízes é compensatório, ou seja, a soma da casca, câmbio vascular e xilema secundário, equivalem a diâmetros e acúmulo de massas fresca e seca estatisticamente igual.

**TABELA 6.** Coeficientes de correlação linear entre os parâmetros da anatomia quantitativa em raízes de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, nos três tratamentos aos 30, 60 e 90 DAP.

	<b>Câmbio</b>	<b>Xilema</b>	<b>Elementos de vaso</b>	<b>Parênquima</b>
-----30 DAP-----				
<b>CM</b>				
<b>Casca</b>	ns	-.9648**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----PC-----				
<b>Casca</b>	ns	-.9626**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----PD-----				
<b>Casca</b>	.8374*	-.9830**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		-.9236**	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----60 DAP-----				
<b>CM</b>				
<b>Casca</b>	ns	-.9559**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----PC-----				
<b>Casca</b>	ns	-.9626**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----PD-----				
<b>Casca</b>	.8374*	-.9830**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		-.9236**	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----90 DAP-----				
<b>CM</b>				
<b>Casca</b>	ns	-.9969**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000**
-----PC-----				
<b>Casca</b>	ns	-.9936**	ns	ns
<b>Câmbio</b>		ns	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>				-1.000**
-----PD-----				
<b>Casca</b>	.9396**	-.9962**	.8389*	-.8389*
<b>Câmbio</b>		-.9658**	ns	ns
<b>Elementos de vaso</b>		ns		-1.000*

\*, \*\* significativos a 5%, 1%, respectivamente pelo teste t.

Ao analisar a correlação existente entre os parâmetros da anatomia quantitativa com os principais componentes de produção de raízes (Tabela 7), observa-se que o aumento em diâmetro, massa seca e teor de massa seca das raízes ocorrem em função do aumento do xilema secundário, mais especificamente pelas células do parênquima e diminuição na proporção dos tecidos que compõem a casca, bem como o câmbio vascular.

**TABELA 7.** Coeficientes de correlação linear entre os parâmetros da anatomia quantitativa e os principais componentes de produção da raiz tuberosa de *M. esculenta* Crantz cv. IAC 576-70, cultivadas em três preparos do solo (CM, PC e PD) avaliadas em doze épocas.

	<b>Câmbio</b>	<b>Casca</b>	<b>Xilema</b>	<b>Elementos de vaso</b>	<b>Parênquima</b>
<b>Diâmetro</b>	-.7619**	-.8554*	.7907**	-.8066**	.8066**
<b>Massa seca</b>	-.6037**	-.6812**	.6271**	-.6148**	.6148**
<b>Teor massa seca</b>	-.6923**	-.7697**	.7170**	-.7042**	.7042**

\*, \*\* significativos a 5%, 1%, respectivamente pelo teste t.

## 6.6 Considerações finais

Os valores obtidos para a caracterização física do solo, nas diferentes profundidades, resultante do CM, PC e PD não devem servir como referência para todas as condições onde estes preparos do solo forem aplicados uma vez que, não existem pesquisas que indiquem níveis críticos a partir dos quais passem a ocorrer reduções na produção e mudanças morfo-anatômicas significativas nas raízes tuberosas de mandioca.

Em função das diferenças nas características físicas do solo promovidas pela aplicação dos tratamentos, ocorrem as seguintes diferenças nos componentes de produção: número de raízes aos 60 DAP, onde o CM apresentou menor número, diâmetro de raízes aos 210 DAP onde o PC apresentou maior diâmetro, acúmulo de massas fresca e seca aos 210, 300 e 330 DAP. Aos 210 DAP as raízes desenvolvidas nas condições de PC apresentaram maiores produções (teor de massas fresca e seca), aos 300 DAP a melhor produção foi obtida pelas plantas cultivadas sob CM e aos 330 o CM e o PC não diferiram estatisticamente quanto a produção.

Durante o período de maior velocidade de acúmulo de massas fresca e seca em raízes tuberosas de mandioca (90-180 DAP) desenvolvidas em condições físicas do

solo distintas, a não diferença entre os tratamentos pode ser explicada pela dinâmica das curvas de taxa de acúmulo de massas fresca e seca e teor de massa seca.

Nas condições onde se desenvolveu o experimento a colheita poderia iniciar-se aos 180 DAP, independente do preparo do solo, visto que neste período todos os componentes de produção atingiram valores máximos.

O cultivo da mandioca objetiva principalmente a produção da raiz tuberosa, anatomicamente esta raiz resulta do crescimento secundário e na maturidade é composta por casca (periderme + floema secundário) e polpa (xilema secundário). O xilema secundário, destas raízes diferencia-se para armazenar carboidratos na forma de amido, constituindo-se predominantemente de células parenquimáticas, poucos elementos de vaso e fibras. As fibras são produzidas durante o início do crescimento secundário pela atividade do câmbio vascular e na maturidade da raiz tuberosa estas células são encontradas apenas na região do cordão central.

O termo fibra utilizado para caracterizar a desuniformidade no processo de cozimento das raízes de mandioca está relacionado à “fibra” alimentar ou seja, refere-se a composição química da parede celular das células parenquimáticas, uma vez que células com paredes lignificadas são representadas pelas fibras, presentes apenas no cordão central e, pelos elementos de vaso, que representam na maturidade da raiz menos de 10% da polpa.

A concentração de grãos de amido ao redor dos elementos de vaso pode estar associado à translocação de solutos via vasos do xilema, controle do fluxo de água e com os sintomas da deterioração fisiológica.

A produção de raízes tuberosas de mandioca é determinada, principalmente, pelo aumento do diâmetro e de massas fresca e seca. O aumento do diâmetro dessas raízes é explicado pela dinâmica dos tecidos que constituem a raiz tuberosa, onde ocorre a redução dos tecidos que compõe a casca (periderme+floema secundário) e o câmbio vascular e aumento da proporção do xilema secundário, que na maturidade é composto por células parenquimáticas de reserva (90-95%) e elementos de vaso (10-5%).

## 7 CONCLUSÕES

A ordem de fixação dos componentes de produção de raízes de mandioca de mesa, cv. IAC 576-70 independem do preparo do solo, e são definidos na seguinte ordem: número de raiz, comprimento, diâmetro, massa fresca, massa seca e teor de massa seca.

As características morfológicas das raízes, de interesse comercial para o consumo *in natura*, bem como a seqüência de formação e estabelecimento dos tecidos que compõe as raízes tuberosas não são influenciadas pelo preparo do solo.

A proporção dos tecidos da raiz tuberosa formados durante o início do processo de tuberização é influenciada pelos preparos do solo até os 90 DAP, entretanto esta diferença não implica em reduções significativas na produção de raízes, neste período.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALLEM, A. C. The primary gene pool of cassava (*Manihot esculenta* Crantz subspecies *esculenta*, Euphorbiaceae). **Euphytica**, Wageningen, v. 120, n. 1, p. 127-132, 2001.
- ALVES, A. A. C. Cassava: botany and physiology. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (Ed.). **Cassava: biology, production and utilization**. Wallingford: CABI, 2002. p. 67-89.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. Decomposição microbiana de resíduos vegetais em sistemas de plantio convencional e direto. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 3., Cascavel, 1991. **Resumos...** Cascavel: OCEPAR, 1991. p. 150.
- APPEZZATO DA GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2003. 438 p.
- BALIGAR, V. C. et al. Soybean root anatomy as influenced by soil bulk density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, n. 6, p. 842-844, 1975.
- BENGOUGH, A. G. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 57, n. 2, p. 437-447, 2006.
- BERGAMIN, A. C. et al. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 3, p. 299-305, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n3/v45n3a10.pdf> >. Acesso em: 13 out. 2011.
- BOOTH, R. H. Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*). I. Post-harvest deterioration and its control. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 12, p. 103-111, 1976.

BORGES, M. F. et al. Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 11, p. 1559-1565, 2002.

BRITO, C. J. F. A.; RODELLA, R. A.; DESCHAMPS, F. C. Anatomia quantitativa da folha e do colmo de *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf e *B. humidicola* (Rendle) Schweick. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 519-528, 2004.

CAMPOS, H. R.; SENA, Z. F. **Profundidade do sistema radicular do aipim maragogipe (*Manihot esculenta* Crantz) aos sete e aos doze meses do ciclo**. Cruz das Almas: UFB, 1975. v. 2, p. 65-70.

CARVALHO, R.; GUERRA, M. Cytogenetics of *Manihot esculenta* Crantz (cassava) and eight related species. **Hereditas**, Kund, v. 136, n. 2, p. 159-168, 2002.

CARVALHO, P. C.; FUKUDA, W. M. G.; CARDOSO, S. C. Coleção de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo “*in natura*”. Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro, 2011. 9 p. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livroorg/macaxeira.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2011.

COCK, J. H. Cassava. In: GOLDSWORTHY, P. R.; FISHER, N. M. (Ed.). **The physiology of tropical field crops**. Chichester: John Wiley, 1984. p. 529-549.

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1987. 382 p.

CRUZ, S. C. S. et al. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* em cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 733-739, 2008.

CUNHA, A. R. da; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DAIUTO, E. R. et al. características e propriedades do amido extraído de camadas do tecido da raiz de mandioca cv. mico (*Manihot esculenta* Crantz). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 5, p. 217-223, 2002.

DALTON, T. J. et al. Farmer participatory research and soil conservation in southeast asian cassava systems. **World Development**, Oxford, v. 39, n. 12, p. 2176-2186, 2011.

DAVIES, B.; FINNEY, B. Reduced cultivations for cereals: research, development and advisory needs under changing economic circumstances. Home Grown Cereals Authority, London, n. 48, 2002. 59 p. Disponível em: <[http://www.hgca.com/publications/documents/cropresearch/RR48\\_complete\\_final\\_report.pdf](http://www.hgca.com/publications/documents/cropresearch/RR48_complete_final_report.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2011.



- DE MARIA, I. C.; CASYTO, 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, MG, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.
- DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: IAPAR/GTZ, 1991. 272 p.
- EHLERS, W. et al. Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p.19-34, 1981.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.
- ESAU, K. **Anatomia vegetal das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293 p.
- ESAU, K. Developmental anatomy of fleshy store organ of *Daucus carota*. **Hilgardia**, Berkeley, v. 13, n. 5, p. 175-226, 1940.
- FASINMIRIN, J. T.; REICHERT, J. M. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the tropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 1, p. 1-10, 2011.
- FENIMAN, C. M. Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde.../cristiane.pdf> >. Acesso em: 15 jan. 2012.
- FERNÁNDEZ-UGALDE, O. et al. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 29-35, 2009.
- FERRERAS, L. A. et al. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 31-33, 2000.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Food and agricultural commodities production. 2010. Disponível em:< <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 23 out. 2011.

- FRANCK, H. et al. Effects of cultivar and harvesting conditions (age, season) on the texture and taste of boiled cassava root. **Food Chemistry**, London, v. 126, n. 1, p. 127-133, 2011.
- FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 51, p. 3924-3951, 1945.
- FUKUDA, W. M. G.; GUEVARA, C. L. **Descritores morfológicos e agronômicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cruz das Almas: Embrapa, 1998.
- GABRIEL FILHO, A. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.
- GERRITS, P. O. **The application of glycol metacrylate in histotechnology: some fundamental principles**. Groningen: Leica GmbH, 1964. 80 p.
- HAO, X. et al. Effect of minimum tillage and crop sequence on crop yield and quality under irrigation in a Southern Alberta Clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1-2, p. 45-55, 2001.
- HIROSE, G. Physiological studies on postharvest deterioration of cassava roots. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 19, n. 4, p. 241-252, 1986.
- HORN, R. et al. Soil physical properties related to soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, n. 2-4, p. 187-216, 1994.
- HULUGALLE, N. R.; NDI, J. N. Effects of no-tillage and alley cropping on soil properties and crop yields in a typic Kandiudult of Southern Cameroon. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 22, n. 3, p. 207-220, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro, v. 24, n. 10, p. 1-80, 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201110.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201110.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2011.
- ISABIRYE, M. et al. Soil losses due to cassava and sweet potato harvesting: a case study from low input traditional agriculture. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 96-103, 2007.
- JANSSEN, W.; WHEATLEY, C. C. Urban cassava markets. The impact of fresh root storage. **Food Policy**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 265-277, 1985.
- JOHANSEN, D. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

- KORSCHING, P. F. et al. Adopter characteristics and adoption patterns of minimum tillage: Implications for soil conservation programs. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 38, n. 5, p. 428-431, 1983.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 532 p.
- LÉOTARD, G. et al. Phylogeography and the origin of cassava: new insights from the northern rim of the Amazonian basin. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, Orlando, v. 53, n. 1, p. 329-334, 2009.
- LOESCHER, W. H.; MCCAMANT, T.; KELLER, J. D. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 3, p. 274-281, 1990.
- LORENZI, J. O. Variação na qualidade culinária das raízes de mandioca. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 237-245, 1994.
- LORENZI, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca**. Campinas: CATI, 1993. 41 p.
- LORENZI, J. O.; VALLE, T. L. **IAC 576 - A variedade de mandioca de mesa mais cultivada no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2002. 4 p. (Folder).
- LOWE, S. B.; MAHON, J. D.; HUNT, L. A. Early development of cassava. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 60, n. 12, p. 3040-3048, 1982.
- MADUAKOR, H. O. Effect of soil compaction on leaf, stem and fibrous root growth of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 69-78, 1993.
- MAIEVES, H. P. et al. Microscopy and texture of raw and cooked cassava (*Manihot esculenta* crantz) roots. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 2, n. 6, p. 1-10, 2011.
- MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; BARRETO, G. B. Perdas por erosão no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 20, n. 47, p. 1143-1182, 1961.
- MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, n. 3, p. 369-374, 1991.
- MOORTHY, S. N.; RAMANUJAN, T. Varietion in properties of starch in cassava varieties in relation to age of the crop. **Starch**, Weinheim, v. 38, n. 2, p. 58-61, 1986.
- MORAES-DALLAQUA, M. A.; CORAL, D. J. Morfo-anatomia. In: CEREDA, M. P. **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 48-65.

- MORRIS, N. L. et al. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment: a review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 1-15, 2010.
- NOON, R. A.; BOOTH, R. H. Nature of post-harvest deterioration of cassava roots. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v. 69, n. 2, p. 287-290, 1977.
- O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MC CULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. **Protoplasma**, New York, v. 59, n. 2, p. 368-373, 1964.
- OHIRI, A. C.; EZUMAH, H. C. Tillage effects on cassava (*Manihot esculenta*) production and some soil properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 17, n. 3-4, p. 221-229, 1990.
- OLIVEIRA, J. O. A. P. et al. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 443-450, 2001.
- OLIVEIRA, M. A.; MORAES, P. S. B. Características físico-químicas, cozimento e produtividade de mandioca cultivar IAC 576-70 em diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 837-843, 2009.
- OLSEN, K. M. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 56, n. 4, p. 517-526, 2004.
- PEQUENO, M. G. et al. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agronômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 476-481, 2007.
- PEREIRA, F. J. et al. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, 2008.
- PEREIRA, L. F.; BELÉIA, A. P. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 59-63, 2004.
- PHILLIPS, R. E. et al. No-tillage agriculture. **Science**, v. 208, n. 6, p. 1108-1113, 1980.
- PHUC, B. H. N.; OGLEB, B.; LINDBERG, J. E. Effect of replacing soybean protein with cassava leaf protein in cassava root meal based diets for growing pigs on digestibility and N retention. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 83, n. 3, p. 223-235, 2000.
- POURCHET-CAMPOS, M. A. Fibra: a fração alimentar que desafia os estudiosos. **Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 2, p. 53-63, 1990.

RAIJ, B. van, et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAUPP, D. S., et al., . Composição e propriedades fisiológico-nutritivas de uma farinha rica em fibra insolúvel obtida do resíduo fibroso de fecularia de mandioca. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, v. 19, n. 2, p.205-210, 1999.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 338 p.

REZENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. P. Épocas de colheita de parte aérea e de raízes tuberosas de mandioca. In: CEREDA, M. P. **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas** São Paulo: Fundação Cargill, 2002. p. 384-412.

SASS, J. E. **Botanical microtechnique**. 3 ed. Iowa: State University Press, 1951. 228 p.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p.765-769, 2001.

SCHERTZ, D. L. Conservation tillage: an analysis of acreage projections in the United States. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 43, n. 3, p. 256-258, 1988.

SCOTT, F. M. Internal suberization of tissues. **Botanical gazette**, Chicago, v.111, n. 4, p.378-394, 1950.

SILVA, L. M. ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 183-194, 2005.

SOUZA, L. S. et al. **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 817 p.

SRIROTH, K. et al. The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: from thai practice to the world practice. **Fuel**, London, v. 89, n. 7, p. 1333-1338, 2010.

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 do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p.765-769, 2001.

STRUDLEY, M. K.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 4-48, 2008.

TAKAHASHI, M. Implantação da cultura. In: TAKAHASHI, M.; FONSECA JUNIOR, N. S.; TORRECILLAS, S. M. (Org.). **Mandioca no Paraná: antes agora e sempre**. Curitiba: IAPAR, 2002. p. 59-89. (Circular Técnica, 123).

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 725-730, 2001.

TERNES, M. Fisiologia da planta. In: CEREDA, M. P. **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, p.66-82.

THOMAS, T. H. Effects of root restriction and growth regulator treatments on the growth of carrot (*Daucus carota* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 95-101, 1993.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

VIÉGAS, A. P. **Estudos sobre a mandioca**. Campinas: IAC/BRASCAN NORDESTE, 1976. 214 p.

VINE, P. N.; AHMAD, N. Yield development in cassava under different soil physical conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 17, n. 3-4, p.175-198, 1987.

YUSUF, R. I.; SIEMENS, J. C.; BULLOCK, D. G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, n. 6, p. 928-933, 1999.