

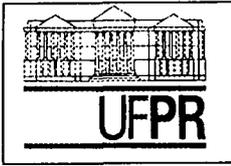
AMIR PISSAIA

**EFICIÊNCIA DE TRÊS FORMAS DE FERTILIZAÇÃO
DO SOLO, A CAMPO E RIZOTRON, SOBRE A
CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de "DOUTOR" em Ciências.
Curso de Pós-Graduação em Agronomia -
Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Edilberto Possamai

CURITIBA
OUTUBRO, 1997



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Primeira Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **AMIR PISSAIA**, sob o título "EFICIÊNCIA DE TRÊS FORMAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO, A CAMPO E EM RIZOTRON, SOBRE A CULTURA DO MILHO", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese com média final: 9,1 (nove vírgula um) correspondente ao conceito: (**A**).

Curitiba, 24 de outubro de 1997.

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen
Primeiro Examinador

Prof. Dr. Jose Antonio Costa
Segundo Examinador

Prof. Dr. Flávio Zanette
Terceiro Examinador

Prof. Dr. Pedro Ronzelli Júnior
Quarto Examinador

Prof. Dr. Edilberto Possamai
Presidente da Banca e Orientador

A minha esposa EUNICE e filhos,
SANDRO, GIAMPAOLO E PRISCILA,
como incentivo de perseverança
à ser trilhada.

Com muito afeto,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradecer, é um ato de reconhecimento, por um benefício, por um favor recebido espontaneamente, sem nada ter sido exigido em troca. Pode ser algo muito simples, um apoio moral, uma boa opinião, um conselho, uma ajuda ou até um gesto de amizade.

Por isso, se torna muito difícil nominar todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para que este trabalho chegasse ao seu final. Pode-se correr o risco de magoar alguém, pelo esquecimento ou falta de observação àqueles que dispensaram suas atenções e que às vezes, no anonimato, deixaram sua contribuição, sem ser percebida. Motivos pelos quais, generalizaremos nossos sentimentos.

A Instituição - UFPR/SCA/Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo e o Curso de Pós Graduação em Produção Vegetal, pela confiança e a oportunidade à realização deste intento;

Aos companheiros do Curso, em especial, àqueles, que juntos, assumiram este desafio, com determinação, ajuda mútua e coleguismo;

Ao CEEEx - Canguiri, pelo apoio ao trabalho experimental e aos recursos materiais e humanos colocados a disposição;

Aos Professores orientadores, pela disposição e ajuda prestadas;

Aos Professores do Curso de Pós Graduação, pelo empenho e denodo ao trilharem com pionerismo o realização deste curso;

Aos Servidores Técnicos Administrativos do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo e da Coordenação do Curso de Pós Graduação, pelo apoio, nos momentos em que se fizeram necessários;

As bibliotecárias e aos demais servidores da biblioteca do SCA, pela disposição ao auxílio e atenção quando solicitados;

Aos Departamentos de Solos e Zootecnia, pela viabilização de análises laboratoriais.

E, àquêles, que no anonimato, colaboraram de alguma forma ou me incentivaram à realização do trabalho e o Curso.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. PESQUISA DE CAMPO	36
3.1.1. Local	36
3.1.2. Solo	36
3.1.3. Clima	38
3.1.4. Delineamento Experimental	38
3.1.5. Condução do Experimento	40
a. semeadura	40
b. adubação	41
c. controle de plantas daninhas	41
d. colheita	41
3.1.6. Avaliações	42
a. estatura de planta	42
b. inserção da primeira espiga	42
c. diâmetro de colmo	43
d. plantas/parcela	43
e. plantas acamadas e quebradas	43
f. espiga/planta	44
g. peso de espiga e grãos/espiga	44
h. rendimento de grãos	44
3.2. PESQUISA EM RIZOTRON	45
3.2.1. Local e caracterização do experimento	45
3.2.2. Solo/substrato	46
3.2.3. Tratamentos	46
3.2.4. Semeadura	46

3.2.5. Avaliações	48
a. análise nutricional e química de raízes	48
b. massa fresca (MF) e massa seca (MS)	48
c. rendimento biológico (RB), econômico (RE) e índice de colheita (IC) .	49
d. medida de crescimento de raízes	49
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EXPERIMENTOS	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1. EFEITO DAS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO A CAMPO	51
4.1.1. Efeito sobre as características morfológicas dos cultivares	51
4.1.2. Efeito sobre os componentes do rendimento de grãos	54
4.2. INTERAÇÃO: CULTIVARES X TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO	59
4.3. EFEITO DAS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO/SUBSTRATO EM RIZOTRON	63
4.3.1. Efeito sobre os componentes do rendimento de grãos	64
4.3.2. Efeito sobre a massa fresca (MF) e massa seca (MS)	71
a. na MF e MS da estrutura aérea	71
b. na MF e MS de raízes	73
c. na morfologia aérea	75
d. na morfologia radicial	76
d.1. nas épocas de leitura de crescimento	77
d.1.a. primeira época de leitura	77
d.1.b. segunda época de leitura	77
d.1.c. terceira época de leitura	80
d.1.d. quarta época de leitura	82
d.1.e. quinta época de leitura	82
d.1.f. sexta época de leitura	85
d.1.g. sétima época de leitura	87
d.1.h. oitava época de leitura	87
d.1.i. nona época de leitura	90
d.1.j. décima época de leitura	92
d.1.l. décima primeira época de leitura	94
d.1.m. décima segunda época de leitura	96
d.1.n. décima terceira época de leitura	96
d.1.o. décima quarta época de leitura	99
d.1.p. décima quinta época de leitura	101
d.1.q. décima sexta época de leitura	103

d.2. medida total do crescimento de raízes por estrato do perfil do solo/substrato	105
d.3. medida do cresciment de raízes na profundidade total do perfil	110
e. considerações finais	112
5. CONCLUSÕES	115
5.1. A CAMPO	115
5.2. EM RIZOTRON	116
5.3. GERAIS	117
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
7. APÊNDICES	125

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

01. POSIÇÃO GEOGRÁFICA DE CURITIBA, EM RELAÇÃO AO PARANÁ, BRASIL E AMÉRICA DO SUL	37
02. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL, EXCEDENTE E DÉFICIT HÍDRICO EM MILÍMETROS DE ÁGUA, DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL. CEEEx - CANGUIRI, PINHAIS. SCA/UFPR, OUTUBRO/1993 A ABRIL/1994.....	39
03. CROQUI EXPERIMENTAL DE CAMPO COM AS RESPECTIVAS DISTRIBUIÇÕES DOS TRATAMENTOS	40
04. DESENHO ESQUEMÁTICO DO RIZOTRON. SCA/UFPR. 1995.	46
05. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA PRIMEIRA ÉPOCA DE LEITURA (EMERGÊNCIA PLENA DAS PLANTAS), SEIS DIAS APÓS A SEMEADURA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR.1995.....	78
06.. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, ,DE, SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO, PERFIL DO SOLO/ SUBSTRATO, NA SEGUNDA ÉPOCA DE LEITURA, SETE DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR.1995.....	79
07. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm ,DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA TERCEIRA ÉPOCA DE LEITURA, QUATORZE DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR.1995.	81
08. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/ SUBSTRATO, NA QUARTA ÉPOCA DE LEITURA, VINTE E UM DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR. 1995.	83
09. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA QUINTA ÉPOCA DE LEITURA, VINTE E OITO DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR.1995.	84

10. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA SEXTA ÉPOCA DE LEITURA, TRINTA E CINCO DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR. 1995.	86
11. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA SÉTIMA ÉPOCA DE LEITURA, QUARENTA E DOIS DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO SCA/UFPR. 1995.	88
12. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA OITAVA ÉPOCA DE LEITURA, CINQUENTA E UM DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	99
13. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA NONA ÉPOCA DE LEITURA, CINQUENTA E OITO DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR. 1995.	91
14. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA ÉPOCA DE LEITURA, SSESSENTA E CINCO DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO SCA/ UFPR. 1995.	93
15. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA PRIMEIRA ÉPOCA DE LEITURA, SETENTA E DOIS DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	95
16. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/ SUBSTRATO, NA DÉCIMA SEGUNDA ÉPOCA DE LEITURA, SETENTA E NOVE DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	97
17. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA TERCEIRA ÉPOCA DE LEITURA, OITENTA E SEIS DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	98

18. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA QUARTA ÉPOCA DE LEITURA, NOVENTA E DOIS DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	100
19. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA QUINTA ÉPOCA DE LEITURA, CENTO E UM DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	102
20. DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICIAL, EM cm, DE SEIS PLANTAS DE MILHO EM RIZOTRON, EM ESTRATOS DE 10 cm DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, NA DÉCIMA SEXTA ÉPOCA DE LEITURA, CENTO E VINTE E DOIS DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/ UFPR. 1995.	104
21. CRESCIMENTO RADICIAL TOTAL MÉDIO/PLANTA DE MILHO EM ESTRATOS DE 10 cm DE PROFUNDIDADE DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO, EM RIZOTRON, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR. 1995.	106
22. DISTRIBUIÇÃO MÉDIA/PLANTA/PROFUNDIDADE TOTAL, EM 16 ÉPOCAS DE LEITURA DE CRESCIMENTO DE RAÍZES DE MILHO EM 207 cm DE PROFUNDIDADE DO PERFIL DO SOLO/ SUBSTRATO EM RIZOTRON, EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO. SCA/UFPR.1995.	111

LISTA DE TABELAS

PÁGINA

01. TESTE DE CLASSIFICAÇÃO DE MÉDIAS DE SEIS VARIÁVEIS, EM QUATRO CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDAS A TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO. CEEEx - CANGUIRI, PINHAIS. SCA/UFPR. 1994.	53
02. TESTE DE CLASSIFICAÇÃO DE MÉDIAS DE SEIS VARIÁVEIS EM TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO, NA MÉDIA DE QUATRO CULTIVARES DE MILHO. CEEEx - CANGUIRI, PINHAIS. SCA/UFPR. 1994.	53
03. TESTE DE CLASSIFICAÇÃO DE MÉDIAS, DA INTERAÇÃO ENTRE QUATRO CULTIVARES DE MILHO E TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO E DAS RESPECTIVAS MÉDIAS, SOBRE RENDIMENTO DE GRÃOS. CEEEx - CANGUIRI, PINHAIS. SCA/UFPR. 1994.	60
04. ANÁLISE DOS COMPONENTES DO RENDIMENTO, RENDIMENTO BIOLÓGICO E ECONÔMICO, ÍNDICE DE COLHEITA E DO RENDIMENTO DE GRÃOS ESTIMADO, DE UM CULTIVAR DE MILHO SUBMETIDO A TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO/SUBSTRATO EM RIZOTRON SCA/UFPR. 1995.	67
05. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS RADICIAIS DE UM CULTIVAR DE MILHO, SUBMETIDO A TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO/SUBSTRATO EM RIZOTRON. SCA/UFPR. 1995.	73
06. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE UM CULTIVAR DE MILHO, SUBMETIDO A TRÊS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO SUBSTRATO EM RIZOTRON. SCA/UFPR. 1995.	75

RESUMO

A fertilização das lavouras de milho é praticada pelos produtores, de diferentes modos, de acordo com o nível tecnológico e tamanho das áreas de cultivo. É comum, os mais esclarecidos, empregarem quantidade de fertilizante e proporção entre os elementos (N:P:K), mais ou menos adequadas. No entanto, pelo desconhecimento de conceitos básicos e simplicidade de aplicação, não a executam com critérios, para posicionar o fertilizante onde as raízes possam aproveitá-lo com maior eficiência. Este trabalho teve como objetivo, comprovar a eficiência de três técnicas de fertilização: A₁ - a lanço na superfície do solo e incorporação com arado de aivecas a profundidade média de 26 cm; A₂ - em covas, a 13 cm de profundidade e, A₃ - em sulcos, a 7 cm de profundidade. A técnica A₁ é pouco utilizada, apesar de possível, em qualquer nível tecnológico usado no sistema convencional e é largamente empregada para incorporação de corretivos; a técnica A₂ é empregada por pequenos produtores, que utilizam tração animal no preparo do solo e não dispõem de máquinas para a semeadura, e a técnica A₃ é utilizada pela maioria dos produtores, que fazem uso de semeadoras-adubadoras, tração animal ou tratorizada. Foi testada a eficiência dos métodos em experimento de campo, em quatro cultivares de milho, com espaçamento de 0,90 m entre-linhas, estande de cinco a seis plantas por metro, 300 kg.ha⁻¹ (N:P:K) e adição de 60 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, em todos os tratamentos. A melhor eficiência foi verificada no tratamento A₁, que produziu 6.537 kg.ha⁻¹ de grãos, significativamente superior aos tratamentos A₂, (5.667 kg.ha⁻¹) e A₃ (5.558 kg.ha⁻¹), pelo teste de DUNCAN (P < 5%). Verificou-se diferentes respostas entre cultivares, onde o AG 303 (7.131 kg.ha⁻¹) e o P 3207 (6.989 kg.ha⁻¹) apresentaram diferenças significativas, comparativamente ao DINA170 (5.767 kg.ha⁻¹) e P 3230 (4.454 kg.ha⁻¹). As melhores interações ocorreram com o tratamento A₁ e as piores com o A₃. Complementarmente, em Rizotron, foi testado o cultivar AG 303, nas três técnicas de fertilização, com o objetivo de comprovar os resultados obtidos a campo e avaliar as características de desenvolvimento aéreo e subterrâneo das plantas. Comprovou-se, também em Rizotron, a maior eficácia da técnica A₁, em todas as variáveis analisadas, comparativamente aos outros tratamentos. Para o Rendimento Econômico (RE) estimado, o tratamento A₁ produziu 8.250 kg.ha⁻¹ de grãos; o tratamento A₂, 7.350 kg.ha⁻¹ e o tratamento A₃, 5.400 kg.ha⁻¹, os quais foram acompanhados pelo Rendimento Biológico (RB), Índice de Colheita (IC), Massa Fresca (MF) e Massa Seca (MS), além do maior crescimento radicial (cm), MF e MS de raízes. Em relação ao comprimento do sistema radicial, o tratamento A₁ apresentou na maturação fisiológica, média por planta de 6.863,50 cm, o tratamento A₂, 4.765,50 cm (69%) e o tratamento A₃, 4.439,00 cm (65 %). A MS de raízes era, em média, 39,5 g por planta; 17,8 g por planta (45%) e 14,8 g por planta (37%) respectivamente, para os tratamentos A₁, A₂ e A₃. Concluiu-se que o tratamento A₁ foi mais eficiente ao rendimento de grãos, independentemente das características genéticas dos cultivares e propiciou melhor crescimento radicial quantitativo em comprimento e massa. Atribuiu-se a melhor resposta das plantas à maior profundidade e homogeneidade de distribuição do fertilizante, induzindo o crescimento harmônico das raízes no perfil com melhor aproveitamento de água e nutrientes disponíveis no solo, proporcionando maior eficiência na conversão da energia luminosa fotossinteticamente ativa, com reflexo no aumento do rendimento da cultura.

ABSTRACT

The corn culture fertilization is practiced with different ways by producers, according to the technological levels and cultivated area size. It is common, to the more informed producers, to use fertilizers quantity and proportion of the elements (N:P:K), more or less adequate. However, because the unknown basic concepts and by the application simplicity, they do not execute with criteria, to put the fertilizer where the roots can use it with efficiency. This research had the general objective of proving the efficiency of three fertilization technique: A₁ - casting on the soil surface and incorporated with moldboard plow at 26 cm medium depth; A₂ - in holes, at 13 cm depth and A₃ - in furrows, at 7 cm depth. The technique A₁ is less used although being possible in whatever technological level in the conventional system and being largely used to incorporate the lime; the technique A₂ is applied by smaller areas producers that uses animal traction for soil preparation and do not have machines for sowing; and the technique A₃ is used by all others producers which uses seeding-fertilizing machines, animal traction or tractors. It was tested the methods efficiency in field experiment, with four corn cultivars, with 0,90 cm spacing, stand of 5-6 plants.m⁻¹, 300 kg.ha⁻¹ (N:P:K) and addition of 60 kg.ha⁻¹ of covering N, in all treatments. The best efficiency was observed in the treatment A₁, which produced 6,537 kg.ha⁻¹ of grains, significantly superior to the treatment A₂ (5,667 kg.ha⁻¹), by Duncan test (P < 5%). Different responses between cultivars was verified where AG 303 (7,131 kg.ha⁻¹) and P 3207 (6,989 kg.ha⁻¹) showed significant differences compared to DINA 170 (5,767 kg.ha⁻¹) and P 3230 (4,454 kg.ha⁻¹). The best association occurred with treatment A₁ and worst with treatment A₃. Complementary, in Rizotron, was test the AG 303 cultivar, in the three field fertilization techniques, with the objective of proving the results obtained and to evaluate the characteristics of area and underground plant development. For the estimated Economical Yielding (EY), the treatment A₁ offered 8,250 kg.ha⁻¹ of grains; the treatment A₂, 7,350 kg.ha⁻¹ and the treatment A₃, 5,400 kg.ha⁻¹, which where accompanied by the Biological Yielding (BY). Harvest Index (HI), Wet Matter (WM) and Dry Matter (DM), beyond the higher roots growth (cm), WM and DM of roots. In relation to the radical system length, the treatment A₁ showed (mean by plant) 6,863.50 cm, the treatment A₂, 4,765.50 cm (69%) and the treatment A₃, 4,439.00 cm (65%) until plant physiological maturity. The DM was as mean, 39.5 g per plant; 17.8 g per plant (45%) and 14.8 g per plant (37%) respectively for the treatments A₁, A₂ and A₃. It was concluded that the treatment A₁ offered best efficiency to the grain yielding beyond of offering best quantitative radical growth in length and matter. It was assigned to the greater depth and homogeneity of fertilization distribution the best response to the plants inducing a harmonical growth of root in the soil and best utilization of water and nutrients available in the soil, offering greater efficiency in the conversion of active photosynthetic light energy with reflex in culture productived potential growing.

1 - INTRODUÇÃO

A cultura do milho é de fundamental importância para o Estado do Paraná em razão de ter a primazia de ser o maior produtor brasileiro desse cereal, com participação aproximada em 25% da produção. Além disso, o Paraná apresenta condições de cultivo, em todos os municípios, sem necessidade de irrigação, nas épocas normais de semeadura, podendo ser cultivado, duas vezes ao ano, em algumas regiões do Estado. Pela grande importância à agropecuária paranaense e brasileira, essa cultura vem apresentando tendência de aumento da área cultivada, ano a ano. Contudo, as lavouras de milho, com algumas exceções, tem apresentado produtividade muito aquém do potencial de rendimento da cultura. As causas, tidas como limitantes para que os produtores não atinjam melhores produtividades, são inúmeras, iniciando com a escolha da semente de material genético pouco adaptado às condições ambientais da região onde estão inseridas as propriedades, passando por operações de manejo não adequadas às lavouras.

Para melhorar o rendimento das lavouras, seria necessário encontrar modelos ideais de exploração para a cultura na propriedade, de acordo com o sistema de cultivo adotado. Deveriam pressupor a forma correta de utilização dos recursos ambientais, em combinação com as diversas técnicas culturais e de manejo, empregadas na lavoura. Atualmente, a agricultura brasileira atravessa uma

fase, na qual torna-se justificável todo e qualquer esforço, objetivando atingir ganhos de produtividade para aumentar a rentabilidade das lavouras, permitindo assim, que os produtores continuem em suas atividades.

Entre os fatores de produção, a fertilização do solo pode ser manipulada e executada de modo mais eficiente, para maximizar o retorno financeiro sobre o investimento. Na prática, muitas vezes pelo desconhecimento de conceitos básicos ou devido a simplicidade de execução, não há critérios na aplicação do fertilizante nas lavouras, levando aos baixos níveis de eficiência.

Nesta pesquisa, procurou-se encontrar resposta aos resultados obtidos a campo, com as diferentes técnicas de fertilização, utilizadas pelos produtores que empregam o sistema convencional de preparo do solo, em suas lavouras. Estes diversificam a forma de aplicação dos fertilizantes nas lavouras de milho, de acordo com o tamanho da área cultivada e nível tecnológico. É usual o pequeno produtor adotar técnica menos sofisticada, pois o preparo do solo, muitas vezes, é efetuado com tração animal, o milho semeado em covas abertas com enxada e o fertilizante colocado no fundo das mesmas, a uma profundidade aproximada de 15 cm. Nas semeaduras convencionais, efetuadas com semeadora-adubadora, o fertilizante é distribuído em sulcos, nas linhas de cultivo, ao lado e abaixo das sementes, aproximadamente, 7 cm de profundidade. No entanto, é rara a distribuição do fertilizante a lanço, manual ou mecanicamente, para incorporá-lo com as práticas de preparo do solo, apesar de possível para qualquer nível tecnológico adotado pelos produtores que empregam o sistema convencional. Esta última técnica, possibilita a incorporação do fertilizante a maior profundidade e homogeneamente no perfil do solo, aumentando a disponibilidade dos nutrientes às plantas, principalmente, daqueles com menor solubilidade, devido o maior número de sítios de troca, além

de induzir maior desenvolvimento radicial e, indiretamente, proporcionar maior absorção dos nutrientes e água das camadas inferiores do solo, com conseqüente aumento do rendimento nas lavouras.

Tendo em vista essas considerações, este trabalho teve como objetivo geral: **“comparar a eficiência de três técnicas de fertilização do solo”** e como objetivos específicos: **“ mensurar a resposta de quatro cultivares de milho, a campo, em relação ao rendimento de grãos e ao desenvolvimento morfológico aéreo das plantas”** e **“avaliar, em Rizotron, o rendimento de grãos de um cultivar de milho e as características morfológicas aéreas e subterrâneas das plantas”**.

Para avaliação dos objetivos propostos, foi testada a hipótese de **“que não há influência das técnicas de fertilização do solo sobre rendimento de grãos e características morfológicas aéreas das plantas de milho”**. Como houve rejeição da hipótese, em pesquisa de campo, no ano agrícola de 1993/1994, foi formulada uma segunda hipótese, para consecução dos objetivos, **“que, não há diferenças tanto no rendimento de grãos quanto no desenvolvimento aéreo e radicial das plantas, que sejam influenciados pelas diferentes técnicas de fertilização do solo”**. Com o desenvolvimento da pesquisa em Rizotron, em 1994/1995, também, rejeitou-se a segunda hipótese formulada. Comprovou-se assim os resultados de campo, bem como, algumas explicações sobre as diferenças encontradas entre a eficiência das técnicas de fertilização do solo.

Com os resultados obtidos nesse trabalho, espera-se auxiliar os produtores agrícolas e aqueles que trabalham na agricultura em todos os níveis, alertando sobre a importância do emprego de técnicas corretas, em particular, da fertilização, para aumento do potencial produtivo das lavouras de milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Pesquisas sobre a influência das técnicas de fertilização do solo sobre o rendimento de grãos de milho, apesar de serem feitos por meio de experimentos simples de realizar a campo, são encontradas em pequeno número na literatura técnica ou acadêmica.

Em publicação da ANDA (1971), encontra-se a citação de que, infelizmente, até o presente, pouca atenção tem sido dada, pelos especialistas em adubação, ao modo de distribuição e localização do adubo em relação às sementes ou plantas em desenvolvimento, embora o assunto tenha sido ventilado nos últimos 50 anos. No Brasil, poucos trabalhos tem sido publicados a esse respeito. De acordo com revisão bibliográfica efetuada, pouco mudou até hoje. Quando esta prática é associada às respostas das características morfológicas radiciais das plantas, são poucos os trabalhos encontrados, e, quando associada com a morfologia aérea ou sobre os componentes do rendimento, são irrisórios.

Por estes motivos, procurou-se apoio bibliográfico nas áreas de fisiologia vegetal e nutrição de plantas, para discussão dos resultados. Muitos trabalhos foram realizados em laboratórios, com solução nutritiva, e em ambientes controlados e, na maioria das vezes, avaliados com o desenvolvimento parcial das plantas ou com técnicas de fertilização diferentes das empregadas nessa pesquisa.

COLLINGS (1955), relata, que muitos agricultores empregam fertilizantes contendo N, P e K com relação aproximadamente correta entre os nutrientes e em quantidade conveniente, mas não obtém os resultados esperados, porque o método de localização do adubo no solo, não o coloca onde as raízes das plantas possam aproveitá-lo.

Há várias maneiras de se localizar o adubo em relação às sementes ou plantas, sendo que, o melhor processo, depende da espécie e do fertilizante. A melhor localização é aquela que acarreta maiores proveitos à cultura e menores riscos de danos, a qual, segundo publicação da ANDA (1971), é: devido principalmente, a:

1) concentração salina exagerada em torno das sementes ou raízes, impedindo a entrada de água nas primeiras e retirando-a das últimas, nesse caso particular, os adubos nitrogenados e potássicos são mais danosos que os fosfatados, segundo COOK e HULBURT (1957)¹;

2) acidez ou alcalinidade exageradas em alguns adubos;

3) presença de substâncias tóxicas em alguns fertilizantes.

Também em ANDA (1971), a colocação do adubo em faixas (uma ou duas), ao lado da linha da semeadura, em função do contato entre o fertilizante e a semente, exceto quando utilizado em quantidade muito pequena, tende a reprimir e atrasar a germinação, podendo, inclusive, interrompê-la. A magnitude deste atraso ou repressão, varia com os componentes do fertilizante, umidade do solo, desenvolvimento dos cultivos e quantidade do fertilizante aplicado. As vantagens desse método são, o aumento da concentração do fertilizante na zona radicial,

¹ COOK, E. L.; HULBURT, W. C. **Applying fertilizers in soil**. Department of Agriculture Yearbook. 1957. p. 216- 229.

a diminuição da fixação de P e K, devido ao menor contato terra-adubo e a redução das perdas por lixiviação de N e K. No entanto, MARSCHNER (1995), afirma, que a concentração de nutrientes em um local poderá limitar o crescimento das plantas e que a distribuição de raízes no perfil do solo, pode ser modificada pelo modo de distribuição do fertilizante.

Conforme BURSON *et al.* (1962), o fertilizante, incorporado em área total, promoveu considerável proliferação do sistema radicial das plantas em todas as direções. As raízes das plantas possuem séria desvantagem em obter nutrientes, quando somente uma pequena quantidade de raízes se desenvolve no volume total de solo à sua disposição. Os fertilizantes podem afetar o crescimento das raízes de dois modos: dependendo de onde e como é colocado no solo e o balanço relativo entre os nutrientes e a planta. Em geral, os fertilizantes distribuídos a lanço, promovem maior extensão do sistema radicial, principalmente, quando há alta fertilidade do solo. Citações de ARNON (1974), são concordantes e complementa: fertilizantes, aplicados espaçadamente em faixas, favorecem o crescimento intensivo de finas e fibrosas raízes ao redor e nos limites dessa faixa onde, ambos os tipos de crescimento de raízes são essenciais para a máxima eficiência na absorção de nutrientes e para altos rendimentos. Alguma influência do desenvolvimento das raízes, pelos fertilizantes, tem relevância na afinidade pela água na planta. O movimento de água em solo não saturado é limitado e baixo. Uma proliferação extensiva de raízes é essencial para capacitar a planta a utilizar a umidade do solo efetivamente. A extensão do sistema radicial também determina a profundidade de exploração e absorção das reservas de água e de nutrientes armazenados no subsolo. O milho, crescendo em condições inadequadas de nutrientes, não desenvolve suficiente sistema radicial para utilizar a água do

subsolo. Rendimento de grãos de milho tem sido mostrado como diretamente proporcional ao peso das raízes a 70 cm de profundidade do solo.

ALDRICH *et al.* (1975), citam que em algumas situações, pequena ou moderada quantidade de nutrientes, próxima a linha de cultivo, diminui o rendimento do milho porque o fertilizante aí distribuído estimula o crescimento precoce e produz plantas grandes mas, não tem nutrientes no solo para sustentar a planta até a maturação.

Segundo ROVIRA (1975), geralmente, o crescimento satisfatório da planta implica em bom desenvolvimento radicial e este, por sua vez, é dependente das características do meio, dos componentes do solo e da parte aérea, que recebem seus elementos constitutivos. Também cita, que a boa distribuição de nutrientes e conseqüentemente, das raízes no perfil, são importantes para maior eficiência na absorção. Um fertilizante adicionado ao solo e que não chega próximo das raízes em tempo apropriado, poderá não ser aproveitado pela cultura. No entanto, MENGEL e KIRBY (1979), relatam que a vida das plantas e a fertilidade do solo estão intimamente interrelacionados. Nesta relação as raízes das plantas tem importante papel nas funções de absorção e translocação de nutrientes. Dentro da mesma ótica, TINKER (1981), afirma ser essencial que raízes e nutrientes se distribuam apropriadamente, entre si, para máxima eficiência do sistema radicial, o qual está também relacionado com composição genética, água, distribuição e concentração de nutrientes. O método de aplicação de nutrientes interfere nessa relação. A posição das raízes e dos nutrientes depende da mobilidade destes e da plasticidade do solo. Este mesmo autor, cita, como conseqüência da distribuição, o suprimento de nutrientes para a planta, muda com o tempo e posição no solo, apresentando efeito considerável sobre a taxa de crescimento e desenvolvimento

da planta. A boa distribuição das raízes e nutrientes é importante, para maior eficiência das plantas e a distância entre o nutriente e a raiz influi na sua absorção. Um fertilizante adicionado ao solo, quando não chega próximo das raízes para utilização em tempo apropriado, poderá ser desperdiçado por aquela cultura, no entanto, poderá ser reutilizado mais tarde como fertilizante residual. A prática de distribuição do fertilizante, em um pequeno volume do solo para o desenvolvimento das plantas, é antiga. A distribuição do fertilizante perto das sementes é vantajosa, se o nutriente é suprido em pequena quantidade mas, em geral, essa pequena vantagem é real se o solo já foi suplementado anteriormente. Isso exclui casos onde o fertilizante é distribuído tão perto das sementes de tal forma que os sais provocam danos ao desenvolvimento das plantas. Essa prática, geralmente, garante que o sistema radicial tenda a se desenvolver na zona enriquecida para se beneficiar disto. Ainda, TINKER (1981), explica que a capacidade de absorção ativa de nutrientes pelas raízes é, dependente da unidade de comprimento de raízes por unidade volumétrica ou por unidade de área. As plantas, a campo, tem à sua disposição os nutrientes, com práticas de distribuição não homogênea no solo, proporcionando a desuniformidade na distribuição de raízes. MENGEL e KIRBY (1979), também concordam com os autores, acrescentando, que alguns nutrientes difundem-se muito lentamente no solo até serem absorvidos e sua absorção é mais dependente de um extensivo sistema radicial capaz de explorar o solo e exemplifica: a aplicação de fosfatos e adubos potássicos, a lanço e incorporados, promovem o máximo contato entre o fertilizante e as partículas de solo. Enquanto que ALDRICH *et al.* (1975), dizem que, mesmo que tenham sido distribuídas grandes quantidades de fertilizantes, aplicados a lanço, a fertilização na linha é grandemente

recomendada, para fornecer as plantas jovens de milho, grande quantidade de nutrientes.

BARBER (1984), cita a importância da concentração uniforme dos nutrientes no volume do solo penetrado pelas raízes das plantas, sob condições de campo. Todavia, os níveis de nutrientes podem variar com a posição no solo. Horizontes superficiais são usualmente mais dispostos à distribuição de nutrientes que o subsolo. Quando os nutrientes são aplicados suplementarmente, podem ser aplicados a lanço e mais ou menos uniformemente misturados ao solo, pela incorporação, ou ainda, a aplicação pode ser localizada, como ocorre com os nutrientes aplicados em faixas. Os nutrientes são, usualmente, aplicados nas camadas superficiais do solo. Há muitas possibilidades de distribuí-los, e dispo-los, geralmente, nos pontos normalmente influenciados pelo alcance das raízes e melhorar a disponibilidade dos nutrientes às plantas.

PEARSON (1965), diz, que o desenvolvimento de uma dada cultura poderá ocorrer de acordo com as características genéticas e pode ser modificado pelas condições físicas e químicas do ambiente. Estas condições influenciam diretamente o sistema radicial, particularmente pela deficiência nutricional, quando parte desse sistema crescer em zona deficiente de nutrientes, apesar do resto das raízes estarem adequadamente supridas. Esta situação é uma das quais as plantas cultivadas freqüentemente encontram. A superfície do solo pode ser modificada para corrigi-la à um ambiente favorável para o crescimento das plantas. Isso, geralmente, ocorre com solos ácidos, inférteis, com subsolo compactado e que não podem ser facilmente alterados. Afirma ainda, PEARSON (1965), que o ambiente encontrado pelas raízes, para seu desenvolvimento em condições de campo, é raramente próximo do ótimo para o desenvolvimento de extenso e efetivo sistema

radicial. Conseqüentemente as raízes se desenvolvem superficialmente e utilizam de forma ineficaz a umidade do subsolo.

Os autores MALAVOLTA e DANTAS (1987), em trabalho sobre formas de utilização de fertilizantes, afirmam, que da localização do adubo no solo, e da maneira pelo qual, os nutrientes contidos no fertilizante entram em contato com as raízes. influencia o seu desenvolvimento.

VIETS JÚNIOR (1967), explica que, mudanças na profundidade das raízes ou das suas ramificações, no solo, poderia ser de particular importância para as plantas, sobre condições de limitado suprimento de água, porque a exploração total da água do solo passa a ser de maior significância. A fertilização, algumas vezes, permite a penetração profunda das raízes no solo, promovendo maior extração da água disponível. Fertilizantes podem, também, aumentar o desenvolvimento de raízes, até que a água do solo seja usada por altas tensões ou em maiores profundidades. Este efeito é importante na agricultura, tanto em terras áridas quanto em áreas úmidas em período de seca. Por outro lado, RUSSEL (1981), explica em seu trabalho, que o desenvolvimento de métodos de cultivo é uma forma de auxílio ao mecanismo do conhecimento, de como as raízes interagem com o solo. Algumas características fisiológicas das plantas são coordenadas pelo crescimento do sistema radicial e a parte aérea por extensão, possui habilidade para translocar nutrientes e água e, mudam de acordo com a idade e outros fatores que afetam esses processos fisiológicos. Relata ainda, que no caso de estresse de água, pelo decréscimo do seu potencial, irá restringir o crescimento das raízes nas camadas superficiais do solo. No entanto, as raízes localizadas profundamente, recebendo continuamente suprimento de água, poderão ramificar-se muito mais do que poderiam naturalmente, em condições favoráveis.

TAYLOR (1981), afirma, quando as propriedades do solo são alteradas está se modificando a profundidade do enraizamento. As raízes também podem ter sua eficiência alterada para a absorção de água por meio das resistências (axial ou radial) ao fluxo da água. Relata ainda, que há descrições onde a taxa de absorção de água por unidade de comprimento radicial é diretamente proporcional ao comprimento da raiz; que o comprimento total das raízes, a localização das raízes no perfil do solo e a taxa de absorção por unidade de comprimento de raiz são importantes, no suprimento de água e nutrientes às plantas. Uma prática para aumentar o suprimento de água para as plantas é a de aumentar o volume de solo ocupado pelas raízes, onde há três maneiras para modificar o perfil do solo: alterações dos fatores biológicos, químicos e físicos.

Segundo NOORDWIJK, van, *et al.* (1985) o comprimento de raízes, por volume de solo, pode ser usado, teoricamente, para estimar parte do recurso potencial disponível (água e nutrientes) para o sistema radicial, nas taxas requeridas. O comprimento total do sistema radicial, por planta, é importante como integrante das possibilidades de absorção das raízes ou reflexo da distribuição da matéria seca sobre o caule e raízes.

CARVALHO *et al.* (1986), observaram maior aprofundamento do sistema radicial do milho, ao tratar com gesso, solos deficientes em cálcio e ricos em alumínio trocável na subsuperfície. Como consequência, ocorria maior absorção de nitrogênio, potássio e enxofre e maior tolerância ao déficit hídrico no solo. Isto porque o maior volume de solo explorado pelas raízes, permitia à planta retirar água das camadas mais profundas do solo. MARTINEZ *et al.* (1988) testando o efeito de diferentes profundidades de incorporação de calcário e ou superfosfato, na cultura do milho, verificaram que as plantas submetidas a incorporação superficial ou

profunda de calcário e superfosfato, comportaram-se da mesma forma com suprimento adequado de água ou restrição hídrica acentuada. Entretanto, com carência hídrica moderada, a neutralização do Al e a elevação do pH, na camada subsuperficial do solo, proporcionaram melhor aproveitamento da água armazenada. A incorporação profunda requer doses maiores de nutrientes, para evitar o efeito de diluição dos corretivos e adubos no solo. LOPES e GUILHERME (1989), relataram: os fertilizantes fosfatados pouco solúveis e o calcário devem ser aplicados a lanço, em área total e bem incorporados ao solo, enquanto os fertilizantes mais solúveis devem ser aplicados localizadamente, próximo às raízes, para diminuir possíveis perdas por lixiviação.

Visando modificar as características do solo para favorecer o desenvolvimento de raízes, GOMA e SING (1993), em trabalho com posição de incorporação de calcário, encontraram, com a incorporação profunda, aumento na profundidade de raízes no solo, de 25 cm para 35 a 40 cm, apesar de proporcionar decréscimo do rendimento de milho. Dentro do mesmo raciocínio, CANTARELLA (1993), cita que, a correção da acidez é importante, para garantir o ambiente ideal, para o desenvolvimento do sistema radicial e facilitar a absorção de nutrientes. Assim, a incorporação de calcário deve ser feita o mais profundamente possível, a fim de neutralizar a acidez de um volume maior de solo, pois, o calcário, tem baixa solubilidade, e a curto prazo, sua ação se manifestará, principalmente, na região de contato com o produto. Reputa sua importância, principalmente, em solos com acidez de subsuperfície, onde o alumínio inibe o crescimento radicial, predispondo as plantas a danos maiores, em casos de veranicos, reduzindo a absorção da água e nutrientes. Com o tempo, as bases adicionadas pelo calcário, vão sendo lixiviadas, facilitando a penetração de raízes, e em alguns casos, podem ajudar a

alterar a reação do solo em horizontes subsuperficiais. O mesmo autor, no mesmo trabalho, verificou que, a absorção de nitrogênio pelo milho quintuplicava em função do aprofundamento do sistema radicial nas áreas tratadas com 9 t.ha^{-1} de calcário. Esse efeito da calagem pode ser muito importante para aumentar o aproveitamento pelo milho, da adubação nitrogenada porventura perdida por lixiviação. Cita ainda, que a aplicação do gesso em algumas situações, contribui para aprofundar o sistema radicial do milho, facilitando a absorção da água e do nitrato presente no subsolo. Na mesma ótica, recentemente, MARSCHNER (1995), relata a importância das raízes penetrarem no subsolo, para a planta utilizar a água e nutrientes aí localizados. Isto pode ser limitado pelo baixo pH do solo. A penetração das raízes são severamente inibidas, no subsolo ácido, quando há insuficiente quantidade de calcário em mistura ao solo e, em profundidade inadequada. Há correlação entre o aumento da proporção do volume do solo misturado com calcário e alongação do sistema radicial no subsolo.

ALDRICH *et al.* (1975), condicionam: a aplicação profunda do N é mais efetiva na estação seca, porque as raízes necessitam oxigênio para absorver nutrientes e nas proximidades da superfície do solo, tem maior suprimento do oxigênio da atmosfera. Por outro lado, JOHNSTON e FOWLER (1991), constataram, que o aumento na concentração de N aumentava sua absorção e a quantidade na planta, mas diminuía a massa seca. A distribuição precoce do N a lanço, produzia mais MS e resposta do N ao rendimento, do que todos os outros tratamentos de fertilização. A distribuição da uréia em faixas, não mostrava vantagens sobre a aplicação a lanço; a aplicação em faixas, superficialmente, aumentava o rendimento de MS e a absorção sobre a distribuição a lanço. Distribuição de uréia a lanço, antecipadamente, aumentava a produção de MS de

trigo em 85% assim como, a resposta ao rendimento, comparativamente à distribuição superficial, em faixas, aplicada mecanicamente ou manualmente, na primavera. SHAVIV e HAGIN (1991), em experimento realizado em lisímetro, com solo arenoso, com alta e baixa frequência de irrigação, com fertilização de N superficial e profunda, concluíram, que a forma de distribuição do fertilizante influenciava a densidade de distribuição de raízes no perfil do solo e o rendimento de grãos.

AHMED *et al.* (1992), verificaram, em experimento de campo, que a eficiência na absorção e uso do N na forma de uréia, em cana de açúcar, era maior em cultivo com 200 kg N/ha, distribuído próximo da zona radicial em uma profundidade de 10 a 15 cm, comparativamente, à aplicação na superfície. CHEN e MACKENZIE (1993), também em experimento a campo, comparando a distribuição de fertilizante, em faixa e a lanço, na cultura do milho, irrigado significativamente após cinco dias e não irrigado por cinco dias, verificaram, quando a uréia era distribuída a lanço, resultava em maiores rendimentos de MS e absorção de N do que na distribuição em faixa. Quando havia pouca água para mover o N no solo, a distribuição em faixa era mais efetiva. No entanto, SHARRATT e COCHRAN (1993), observaram em cevada, que as raízes, na profundidade de até 0,1m no solo, proliferavam mais quando o fertilizante N era colocado em faixas, comparativamente a distribuição à lanço e incorporado mas, a absorção de N não era diferente entre os tratamentos. Igualmente, SCHRODER *et al.* (1994), verificando o desenvolvimento de raízes em Rizotron, observaram que o milho mostra densidade de raízes em gradientes de desenvolvimento, em plano horizontal e vertical. A quantidade limitada de N mineral no solo, nas proximidades da linha de cultivo, promovia pequena extensão das raízes em fracos gradientes. O rendimento de MS, após 35 dias da semeadura,

respondia positivamente ao N, se colocado, seguindo as linhas de plantas, ao invés da distribuição a lanço, dando rendimentos de 150 a 353 kg.ha⁻¹ superiores. A distribuição entre as linhas, todavia, teve efeito similar sobre a produção de MS em três dos quatro experimentos. MARSCHNER (1995), referindo-se à espécies anuais, diz que, a demanda das raízes aumenta rapidamente em zonas de altas concentrações de nutrientes, especialmente pelo N, demonstrando o alto potencial de risco pela alta disponibilidade somente na camada superficial do solo, pelo fato das raízes aí se concentrarem, às expensas da falta de crescimento no subsolo. A distribuição do N profundamente, entretanto, aumenta o crescimento das raízes sob condições de estresse de água, mesmo quando o potencial na camada superficial do solo diminui, porque há ampla disponibilidade de água no subsolo.

Experimento com milho, avaliado no estágio de plântula, por DUNCAN e OHLROGGE (1958), para investigar o efeito sobre o crescimento de raízes pelo uso de nitrogênio e fósforo, isolados e em combinação, conduzido em compartimentos separando o sistema radicial em partes, colocadas em soluções aeradas, com fertilização diferenciada e sem fertilização. A maior porcentagem (1,63%) de fósforo absorvido, ocorria, quando todas as raízes eram expostas às maiores concentrações de nitrogênio e fósforo. A absorção do fósforo era afetada pelo volume do solo fertilizado, quando o nitrogênio esteve presente, mas não da forma contrária. EGHBALL e SANDER (1978), em experimento com milho, em diversos tratamentos de modos de adubação, combinados com espaçamentos, para estudar o efeito do nitrogênio e fósforo, verificaram que o N também pode ser melhor aproveitado pela planta, quando é aumentada a largura da faixa de aplicação no solo, enquanto que OKALEBO *et al.* (1990), utilizando três fertilizantes fosfatados, aplicados em faixa e a lanço, equivalente a 135 kg P.ha⁻¹, complementado por

120 kg N.ha⁻¹, verificaram, que as espécies não eram significativamente afetadas pelo método de aplicação ou pela fonte de P usada, apesar da aplicação a lanço ter sido superior, mostrando médias de rendimento para o milho de 1,64 e 3,25 t.ha⁻¹ e, para o sorgo, de 2,17 e 2,97 t.ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, em experimento com profundidade de fertilização, TOIT, *et al.*(1992), testando quatro tratamentos de distribuição de fertilizantes na cultura do milho: 80 kg N.ha⁻¹, 12 kg P. ha⁻¹ e 12 kg K.ha⁻¹, distribuídos em faixa a 10 cm de profundidade; em faixa vertical entre 0 a 600 mm; aplicação parcelada, metade em faixa a 100 mm e outra metade colocada entre 500 a 600 mm de profundidade ou distribuição a lanço após preparo do solo, observaram, que a aplicação vertical e parcelada produziam similarmente, os melhores rendimentos de grãos em anos secos. Quando em anos com precipitação acima da média, o maior rendimento de grãos (5,47 t.ha⁻¹) era alcançado com distribuição em faixa a 100 mm de profundidade, seguido pela distribuição vertical (5,14 t.ha⁻¹). Distribuição a lanço na superfície, produzia menor rendimento de grãos que os outros tratamentos (4,03 a 4,2 t.ha⁻¹) em todos os anos. Distribuição vertical produziu plantas com menor vigor inicial, mas era superior aos outros tratamentos na floração. MARSCHNER (1995), referia-se ao N e ao P, que proporcionavam os mais pronunciados efeitos ao crescimento de raízes em comprimento e na densidade dos pêlos radiciais. Com aumento do período de deficiência de N ou P, conduzia ao aumento na relação peso seco de raiz : parte aérea. Em plantas com carência de P nas raízes, tornava-se dominante a fonte, não somente para os fotossintatos, mas também, para o P da parte aérea. Um aumento na área da superfície das raízes, em plantas deficientes, pode ser considerada uma estratégia para aumentar a absorção de fósforo do solo. Também, em trabalho com aplicação de N e P, RAUN e BARRETO (1995), em experimentos em 36 locais, com

a dose de 13 e 26 kg.ha⁻¹ de P, na forma de superfosfato triplo, aplicado a lanço, sem incorporação, em pré plantio ou aplicado em faixa na semeadura, complementados com 100 kg.ha⁻¹ de N parcelado e 30 kg.ha⁻¹ de S, comparados com a testemunha sem P, encontraram melhor rendimento de milho, com aplicação de 26 kg.ha⁻¹ de P em faixa, seguido pela aplicação da mesma quantidade de superfosfato aplicado a lanço, sem incorporação.

Pesquisando a aplicação de P em diferentes métodos, sobre o rendimento de amendoim e feijão, SANCHEZ e MATA (1972), verificaram, que eram significativamente influenciados pelas fontes, métodos de colocação e doses de fósforo. Em amendoim, a distribuição do fósforo no solo, a lanço, e incorporado com arado de aivecas, produzia aumento de rendimento de 0,84 e 0,39 t.ha⁻¹ em relação a aplicação em faixa superficial e faixa enterrada(10 cm abaixo e ao lado da linha de semeadura), respectivamente, porém em feijão, a aplicação em faixa enterrada, era superior às outras formas de aplicação de fósforo, em 165 e 302 kg.ha⁻¹, comparativamente à aplicação em faixa superficial e incorporado ao solo. A aplicação em faixa superficial sempre diminuía a efetividade dos superfosfatos.

STRYKER *et al.* (1974), testando o efeito da distribuição de P em solução nutritiva, desuniformemente, comparado à outras formas de distribuição, na zona de desenvolvimento radicial, em câmaras com 20 litros de areia, com divisão de raízes em parcelas, verificaram, que ocorria o máximo de acúmulo de MS, quando todas as raízes eram supridas com P. O desenvolvimento preferencial de raízes, em uma porção da zona de desenvolvimento radical, era devido, a maior concentração de P. No entanto, como consequência, resultava no inadequado desenvolvimento das raízes em outras regiões, quando a absorção de outros nutrientes e água fosse

particularmente dependente da interceptação radicial. Este modelo de crescimento ocorria, quando o suprimento das raízes era efetuado em faixas. Os mesmos autores, de acordo com resultados experimentais, concluíram, que o sistema radicial total é necessário para prover completamente e diretamente os sistemas das rotas de suprimento de nutrientes, para todas as partes das folhas. A resposta pode se manifestar em estádios de crescimento tardios, devido o progressivo crescimento do sistema radicial, em regiões, fora da faixa de melhor disponibilidade de P. Nestas condições, a taxa de crescimento de certas partes das folhas era limitada, devido a dependência das raízes, que cresciam nas zonas com deficiência de P.

JUNG e BARBER (1975), observaram, que a maior resposta pela aplicação a lanço, poderia ser, devido, à maior uniformidade e disponibilidade de P no volume do solo. A colocação do fertilizante fosfatado, onde somente uma porção das raízes pode entrar em contato com ele, pode não ser tão efetivo como, quando todas as raízes entram em contato com o P, ignorando sua fixação no solo.

DREW e SAKER (1978)², em citação de BARBER (1984), suprimiram com P, parte do comprimento das raízes de cevada e não o restante do sistema radicial e observaram, que esta parte estimulava o crescimento, em número ou no comprimento, quando as raízes laterais eram supridas com o nutriente. Removendo o meristema apical, causava estimulação das raízes laterais, indicando que os efeitos morfogênicos da localização do suprimento de P pode ser controlado por esta estrutura. YOST *et al.* (1979), em trabalho com milho, com diversas doses de P (70, 140, 280 e 560 kg P. ha⁻¹) aplicados a lanço e incorporado com grade

² DREW, M. C; SAKER, L. R. Nutriente supply and the growth of the seminal root system in barley. 3. Compensatory increases in growth of lateral roots and in rates of phosphorus uptake, in response to a localized supply of phosphate. *Journal experimental of botanic*. 29: p. 435 - 451. 1978.

rotativa a 20 cm de profundidade ou em faixas, com 35, 70 e 140 kg P.ha⁻¹, verificaram, que para doses maiores, havia vantagens na aplicação a lanço. Comparando os tratamentos, observaram nos primeiros anos de cultivo, que a aplicação a lanço era muito mais efetiva ao rendimento de grãos, no entanto, após quatro anos, havia tendência de equivalerem-se com os tratamentos em faixa. Efeitos residuais foram observados na aplicação de altas doses, a lanço. De posse dos resultados inferiram, que os maiores rendimentos obtidos com a aplicação a lanço sobre a aplicação em faixas, em solos altamente deficientes em P, pode ser atribuído às condições críticas: 1) distribuição mais uniforme do P disponível, no volume de solo; 2) distribuição mais homogêneo do sistema radicial, que passa utilizar melhor a água disponível no solo, conforme DRAKE e STEWART (1950); e, 3) MARAIS e WIERSMA (1976) afirmando, que há maior suprimento de P às plantas pelo método a lanço, do que no tratamento em faixa. Quando há redução de água próximo a faixa de aplicação do fertilizante, é reduzida também a sua absorção.

MENGEL e KIRBY (1979), se referindo à solos pobres em nutrientes, dizem que a aplicação de nutrientes nas linhas ou em faixas pode proporcionar melhores resultados. ANGHINONI e BARBER (1980a), cultivando milho em solução nutritiva, em compartimentos divididos em duas partes, onde as raízes eram colocadas em um deles contendo solução com fósforo e a outra metade, em compartimento com carência de P (dos seis aos 18 dias de idade, quando foram colhidas as plantas) observaram, que a redução de raízes em contato com o P diminuía sua absorção pela planta (em todos os casos foram utilizadas plantulas com oito raízes). Semelhantemente a estes resultados, ANGHINONI e BARBER (1980b), em experimento com cinco tratamentos de fertilização do solo em faixas, em porcentagem de área (0; 12,5; 25; 50 e 100%) em vasos, observaram, que

restringindo a aplicação do P, a porção do volume do solo afetava a absorção pelo milho, porque alterava a distribuição de raízes, a sua morfologia e o efeito da taxa de P sobre as características de suprimento do solo. Os experimentos mostraram, quando o P era uniformemente misturado ao solo, aumentando o nível de P, tendia reduzir a área superficial das raízes, tanto que, aumentava a absorção de P e resultava em maior absorção por cm^2 de raiz. Citam também, que a distribuição das raízes pode ser afetada pelas diferentes formas de fertilização, onde a distribuição de P, estimula o crescimento de raízes na porção do solo fertilizado, independentemente do tipo de solo. Citam ainda estes autores, que a quantidade total de raízes, pode também ser influenciada pela mudança uniforme do nível e fertilidade do solo. Quando a absorção de P é reduzida, porque somente um pequeno número de raízes era suprida com o nutriente, a concentração de nutrientes decresceu, quando comparada com a situação onde todas as raízes eram supridas com o nutriente. Por outro lado, segundo HALVORSON e BLACK (1981 - 1982), o fósforo pode ser aplicado em faixas nas linhas ou com as sementes ou ainda, pode ser aplicado a lanço e incorporado antes da semeadura. Quando a quantidade de fertilizante fosfatado é inadequada, para corrigir a deficiência, a aplicação de P em faixa com a semente, pode ser o método mais eficiente de aplicação.

De acordo com EMBRAPA (1982), apenas 1% do volume do solo pode suprir de fósforo às plantas, mas quanto maior o desenvolvimento das raízes, mais favorável será sua absorção. Influem diretamente nesse processo, a área da superfície de absorção de raízes, o volume dos poros do solo ocupados pela água e a concentração do fósforo no solo. O sistema radicial das plantas cultivadas nestes solos, no primeiro ano, quando adubadas em sulcos de semeadura, tende a se

concentrar ao longo do sulco. Devido a pequena quantidade de água disponível no solo e as raízes mais ou menos localizadas superficialmente, quando da ocorrência de veranicos, a absorção de fósforo pode cessar. Assim, a despeito da grande capacidade de adsorção de fósforo nos solos, obtém-se maior rendimento de milho no primeiro ano, com adubação fosfatada a lanço e incorporada.

Segundo RAIJ, van, *et al.* (1982), a mobilidade do P é muito baixa, portanto a absorção se processa a pequenas distâncias em torno da raiz. Quanto maior o desenvolvimento do sistema radicial, mais favorável será a absorção do elemento. Na prática, para o bom desenvolvimento das culturas, são necessárias quantidades muito maiores de P disponível, do que aquelas que as culturas retiram. A aplicação localizada de adubos fosfatados solúveis, embora minimize a fixação, não é suficiente para produção elevada, em solos deficientes deste nutriente. Isto porque, apenas uma porção das raízes fica em contato com o adubo, que pouco se move. De modo geral, os fosfatos solúveis em água, são mais eficientes se aplicados de forma localizada e próximos das raízes, a fim de facilitar sua absorção em locais com alta concentração de fósforo e atenuar os efeitos da mobilização. Fosfatos naturais, por outro lado, devem reagir com as partículas ácidas do solo para dissolverem-se, sendo necessário, portanto, misturar esses adubos intimamente com o solo, para atingir a máxima eficiência. Contrariamente, BARBER (1984), relata que, freqüentemente, a aplicação em faixas, em particular o P, tem proporcionado maior incremento ao rendimento, do que a mesma quantidade de nutrientes aplicados a lanço quando misturados ao solo, no entanto, em altas quantidades de fertilizantes, a aplicação a lanço pode dar maior resposta ao rendimento do que a aplicação em faixas.

MALAVOLTA (1985), cita que, na incorporação de fosfatos, a saturação do poder de fixação de P no solo será tanto maior, quanto mais misturado estiver o adubo com o solo. Em consequência, uma maior quantidade de raízes terá P (adubo) nas suas proximidades. Para fazer isso, deve-se distribuir o fosfato a lanço na superfície do terreno e, em seguida, proceder a sua incorporação com arado e grade, de modo à atingir uma profundidade de uns 30 cm. Dentro desta mesma ótica, CLARKSON (1985), relata que o crescimento de raízes em extensão, tem a maior influência sobre a extração de fosfato do volume do solo.

MENGEL (1996), explica, que aumentando a disponibilidade de nutrientes na solução do solo, através do fertilizante de “arranque” ou aplicação a lanço, poderá ter algum impacto sobre a futura restrição à absorção de nutrientes. Mas, em algum momento, a capacidade do sistema de absorção ativa poderá saturar, e a absorção de nutrientes será limitada. Segundo o autor, o conceito de saturação da capacidade das raízes para absorver nutrientes, explica, porque a técnica de distribuição de P em faixas, pode aumentar a disponibilidade de nutrientes, mas não a absorção. Se existir uma pequena porção do sistema radicial em contato com o nutriente, a absorção pode ser limitada pela taxa de nutrientes que pode mover-se na raiz. Havendo pequena disponibilidade, mas uma grande porção do sistema radicial em contato com o nutriente, pode resultar em maior absorção. Segundo BALIGAR *et al.* (1990), o uso eficiente do P é largamente determinado no solo-interface radicial. Extensão das raízes, área da superfície das raízes e utilização interna de P, são alguns dos aspectos dominantes no uso do P total em toda a planta. A redução da eficiência da fertilização está relacionada com as práticas agronômicas (métodos de cultivo; distribuição inadequada de fertilizantes; época e método de aplicação do fertilizante; irrigação inadequada, etc.) e os cultivares.

SANDER *et al.* (1990), citam que a eficiência do fertilizante fosfatado sobre o rendimento de grãos de trigo é mais efetiva quando aplicado junto com a semente ou, quando incorporado com implemento agrícola, após distribuição na superfície. Para o sorgo, o fertilizante incorporado, somado com a aplicação nas linhas, mostraram os melhores resultados. Este autor se refere ainda, que a fertilização, algumas vezes, favorece a penetração profunda das raízes no solo e estas, aumentam a extração de água disponível. O efeito da adubação com P, segundo trabalho desenvolvido por KLEPER e ANGHINONI (1991), na cultura do milho, foi mais efetivo, pela distribuição em torno das raízes no perfil e, sua absorção estava relacionada com o desenvolvimento das raízes e o volume de solo fertilizado. Contrariamente, de acordo com publicação do IAPAR (1991), a adubação de P em dose total, deve ser aplicada nos sulcos por ocasião da semeadura, recomendando-se, preferencialmente, o uso de adubos fosfatados de maior solubilidade, sobretudo em solos com baixo teor de fósforo. Igualmente, WERNER e SCHERER (1995), também constataram, que o efeito da água sobre fertilizantes fosfatados solúveis, em milho, era maior quando aplicado em faixas. No entanto, para o fosfato de rocha queimada, era mais efetivo quando aplicado a lanço. FORNASIERI FILHO (1992), se referindo a localização do fósforo em sulco, relata, que aumenta a relação do elemento por volume de solo na região adubada, mas reduz a proporção de raízes da planta que poderiam absorver este nutriente. Já, sua aplicação a lanço e incorporado na camada arável, resulta em maior contato com o solo e propicia um maior volume do solo para as raízes das plantas absorverem nutrientes e água, o que implica, dependendo da dose de P e da condição climática, em maiores produtividades, quando comparada com a adubação em sulcos.

CANTARELLA (1993), recomenda, em solos onde o fósforo é o elemento limitante (teores “muito baixos ou baixos”), existe a opção de se fazer uma adubação corretiva, com a incorporação do adubo fosfatado em área total antes do plantio, com objetivo de aumentar o potencial produtivo da cultura. Deduziu, que o fósforo tende a se acumular no solo, devido seu efeito residual e por ser pouco lixiviável, o efeito da adubação corretiva perdura por vários anos. Para as fontes solúveis de fósforo granulado, as aplicações a lanço, na cultura do milho, têm geralmente, eficiência semelhante aquelas em sulcos. E, segundo GOEDERT e SOUSA (1986)³, citados por CANTARELLA (1993), para doses maiores, pode haver vantagem em se aplicar a lanço, e de acordo com YOST (1979), para doses baixas, a aplicação em sulcos tendia a ser mais eficiente, especialmente em solos pobres, pois mantém uma zona de alta concentração de fósforo próximo das raízes e, CASTILHOS, *et al.* (1981), concluíram, que nas adubações de manutenção, realizadas em solos com alta disponibilidade de fósforo, a eficiência das aplicações a lanço ou no sulco se equívalem. Para estes últimos autores citados, nas adubações feitas no sulco de plantio, o milho não responde bem ao uso dos fosfatos naturais. Relatos semelhantes, foram feitos por MUZZILLI, *et al.* (1982), GOEDERT e LOBATO (1984) e, de acordo com SILVA, *et al.* (1993), em trabalho desenvolvido em casa de vegetação, usando a técnica de raízes subdivididas, para verificarem o efeito da localização de P e Ca no solo, sobre a absorção e desenvolvimento inicial de milho, observaram, que o desenvolvimento de raízes era bastante influenciado pelos tratamentos e, que a distribuição homogênea de fósforo no solo contribuía

³ GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES; SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA. 1986. ANAIS, São Paulo. MANAH. S. A. 1986. p 22 - 53.

para um aumento significativo no peso de raízes.

BARBER (1977)⁴, citado por BARBER (1984), comparando a aplicação de superfície a lanço, com a aplicação na linha de cultivo do milho, usando 22 kg.ha⁻¹ de P, obteve, nos primeiros quatro anos, as médias de 6770 kg.ha⁻¹, para aplicação do fertilizante na linha e de 7275 kg.ha⁻¹ na aplicação a lanço, e 7210 kg.ha⁻¹, quando metade era aplicado na linha e metade a lanço. No entanto, o menor rendimento para aplicação na linha de cultivo, devia-se, provavelmente, a pequena porção do sistema radicial fertilizado. Comparando a aplicação de P e K na linha de semeadura, com a aplicação a lanço na superfície e em faixas laterais (10 cm da linha), durante cinco anos, encontrou melhor resultado com o tratamento em faixa, seguido pelo tratamento a lanço e, como pior tratamento, a fertilização na linha de semeadura, os quais foram acompanhados pelo nível de absorção de nutrientes.

Segundo GOEDERT e LOBATO (1984), o conceito de adubação correta usado para o fósforo, também se aplica ao potássio. Recomendam a aplicação a lanço e incorporação antes da semeadura, para solos com teores muito baixos. A recomendação da aplicação do adubo potássico, em sulcos de plantio, é mais importante para solos deficientes e que recebem pequenas doses do elemento, pois a aplicação localizada permite manter maior concentração do nutriente próximo das raízes. Já, RANDALL e HOEFT (1988), explicam que a eficácia dos métodos de fertilização de P e K, é altamente dependente da análise do solo, cultura, textura do solo, sistema de cultivo e condições climáticas. Em solos com altos níveis de fertilizantes, as culturas, raramente respondem diferenciadamente aos métodos de fertilização. Em baixos níveis de fertilidade dos solos, o rendimento de milho obtido

⁴ BARBER, S. A. Placement of phosphate and potassium for increased efficiency. *Solutions*. 21: p.24 - 25. 1977.

na distribuição em faixas (5 x 5 cm) é raramente ultrapassado por outros métodos de fertilização - distribuição em faixa superficial, em faixa profunda (subsuperfície - 15 X 20 cm) e a aplicação a lanço sem incorporação, particularmente, em anos em que a precipitação é insuficiente e em baixos níveis de fertilização ou redução do cultivo. A distribuição do fertilizante, junto com as sementes de milho, não é recomendada em solos arenosos, se a umidade do solo no local é baixa. O mesmo autor relata, que a soja responde mais consistentemente à distribuição a lanço do que a aplicação em faixas. Sementes pequenas, geralmente respondem melhor a aplicação em faixas, de 10 a 13 cm de profundidade, juntamente com as sementes, especialmente em condições de seca, quando o nível de fertilidade do solo é baixo, a umidade do solo e/ou a precipitação é limitada ou ainda, a terra é arrendada e quando a eficiência do fertilizante e o retorno econômico deve ser maximizado. MODEL e ANGHINONI (1992) também, em trabalho com P e K, verificaram, com o passar do tempo, que o sistema radicial do milho, mesmo crescendo sob concentração mais baixa desses elementos no solo, era capaz de supri-los em quantidades semelhantes às proporcionadas pelas aplicações mais localizadas, de modo a determinar rendimento de grãos equivalentes. Observaram ainda, que os efeitos benéficos das aplicações localizadas dos adubos no crescimento do milho foram detectadas somente até a fase de florescimento.

VIEGAS *et al.* (1955), em experimento com K, observaram, quando o fertilizante era aplicado nos sulcos, provocava redução do estande de plantas em anos secos, devido a excessiva concentração de sais solúveis no pequeno volume de solo fertilizado. O mesmo ocorria com adubo nitrogenado, onde causava significativa redução do estande inicial, tanto maior, quanto se aumentava a dose de

salitre empregada. Para evitar esses problemas, recomendam parcelar a aplicação, quando a dose for superior a 60 kg.ha^{-1} do elemento ou fazer a aplicação a lanço.

MALAVOLTA e USHERWOOD (1982), recomendam a execução da adubação potássica de correção, no solo já arado e gradeado, distribuindo a lanço, recobrando toda a superfície, para em seguida, incorporá-lo mediante aração e gradagem, até a profundidade ocupada pelo sistema radicial (20 a 30 cm). Desse modo, consegue-se uma camada enriquecida em potássio mais ou menos uniforme. As raízes, que aí se desenvolverem, terão acesso mais facilitado ao K, graças à difusão. No entanto, as aplicações em faixa junto as sementes ou no fundo do sulco de semeadura, são mais eficientes do que a lanço na superfície ou incorporado, quando a dose for pequena. Se as doses forem suficientemente altas, as diferenças tendem a desaparecer ou, os resultados mais favoráveis serão obtidos com aplicação a lanço. Na aplicação superficial, a disponibilidade dependerá da umidade do solo; freqüentemente, os primeiros centímetros superficiais são secos, diminuindo a difusão e, portanto, o aproveitamento do K-adubo. A distribuição a lanço seguida da incorporação, faz com que o elemento permaneça numa camada mais úmida, favorecendo o seu aproveitamento. Em outra publicação, MALAVOLTA (1984) comenta, que a localização do K é ditada por dois fatores principais: 1) o processo de contato do elemento com a raiz; 2) a distribuição do sistema radicial no solo. Quando as doses são pequenas, as aplicações localizadas são, em geral, mais eficientes que a distribuição a lanço. A eficiência relativa dos dois métodos é função da localização do K aplicado, da quantidade que se perde por fixação, lavagem ou erosão e da distribuição do sistema radicial. Quando o K é distribuído na superfície, a disponibilidade é geralmente baixa, pois a falta de umidade nas camadas superficiais, limita a difusão do K e a proliferação das raízes. Se o adubo

for distribuído a lanço e depois incorporado com o arado, o aproveitamento poderá ser maior, pois as raízes explorarão profundidades maiores de solo, com melhores níveis de umidade. Devido a sua alta solubilidade, o KCl em aplicação localizada (sulcos ou faixas), poderá prejudicar a germinação ou as plantas em desenvolvimento, devido a concentração salina exagerada, quando a pressão osmótica se eleva a valores superiores a duas atmosferas. Os adubos nitrogenados terão efeito semelhante, quando utilizados dessa maneira. Contrariamente, em trabalho com adubação potássica em milho, BARBER (1984), citando HERRMAN (1979)⁵, onde observou, que as plantulas de milho não eram afetadas em relação a distribuição de raízes no solo, quando eram ou não, fertilizadas com K. Quando o suprimento de nutrientes é localizado em uma pequena fração do sistema radicial da planta, esta não pode utilizar um suprimento adequado de nutrientes, por isso, a composição de nutrientes na planta decrescia.

Segundo RAIJ, van, (1991), um outro fato importante é o modo de aplicação de potássio. Com doses elevadas, em geral, feitas no sulco de plantio, para culturas anuais, podem provocar danos salinos às plantas, causados pelo cloreto de potássio. Isso pode levar à efeitos depressivos ou erráticos de adubação potássica. Por essas razões, está se tornando prática bastante comum, a aplicação do potássio em cobertura juntamente com o nitrogênio, no caso de culturas de alta produtividade, ou ainda em solos arenosos com baixa CTC. MENGEL (1996), cita, que nos Estados Unidos, recomenda-se a combinação da aplicação em faixa e a lanço dos nutrientes, entre os quais o P e K, quando há baixos níveis no solo. A disposição em faixa, poderá prover uma área de alta disponibilidade de nutrientes,

⁵ HERRMAN, L. **Predicting uptake by computer modeling from a soil system treated with varying levels of K fertilization and different zones of placements by using a split - root technique.** Pardue University. 1979. (Ph. D. dissertation).

quando o sistema radicial é pequeno e a demanda por unidade de raiz é alta. Mas, o fertilizante provido pela aplicação a lanço, oportuniza uma grande porção das raízes entrarem em contato com os nutrientes, mesmo com o sistema radicial em expansão e a demanda contínua, pela planta, aumente.

ALVARENGA (1983), concluiu em seu trabalho, que a aplicação do K a lanço, ao contrário do P, quando aplicado em volume maior de solo, evita maiores perdas por lixiviação. SANZONOWICZ e MIELNICZUK (1985), em experimento a campo, compararam os efeitos da dose de 300 kg.ha^{-1} de fertilizante, aplicado nas formas de KCl, K_2SO_4 e KAlSiO_4 , nos métodos: a lanço com incorporação e no sulco de semeadura, na presença e na ausência de milho e constataram, que o teor médio de K trocável, era maior na camada de 0 a 10 cm de profundidade, quando o nutriente era aplicado a lanço com incorporação, em relação a aplicação no sulco de semeadura. Isso se deve ao fato, que a distribuição do K na superfície e incorporação ao solo, mantém baixa a concentração do nutriente por unidade de volume do solo, apresentando menor risco do K ser lixiviado, ao contrário, a aplicação no sulco, aumenta a concentração do elemento numa pequena porção do solo, ficando em contato com menor número de sítios de troca, portanto, mais sujeito a descer com a água de infiltração para as camadas inferiores do solo, ficando inacessível as plantas. CLAASSEN e BARBER (1977), citam que a proporção de raízes que deve ser suprida com K, para suportar o máximo crescimento de milho entre sete e 17 dias, mostram, que cerca de 50% das raízes são necessárias para suprimento de K, para obter rendimento máximo. Isto é consideravelmente maior, que a proporção das raízes de milho usualmente contatada por um fertilizante distribuído em faixa, na linha de semeadura. MALAVOLTA (1967), explica, como os adubos se movem muito pouco

horizontalmente, qualquer elemento colocado fora da região de desenvolvimento do sistema radicial, não produzirá efeito. Com a distribuição em faixas ou em linhas, a reserva de nutrientes à disposição das plantas jovens é maior, que na aplicação a lanço. As vantagens da aplicação em linhas ou faixas, sobre a distribuição a lanço, são menos acentuadas nos solos de alta fertilidade natural ou quando se usa grandes quantidades de adubos. Outras desvantagens, da distribuição a lanço, se caracterizam pela menor quantidade de P e K, não aproveitáveis por fixação. Em solos arenosos, uma alta proporção de N e K se perderia antes de ser alcançado pelas raízes, tendo em vista, que na semeadura em linhas, ocorre um período de tempo até que as raízes penetrem nas entre linhas. ALDRICH, *et al.* (1975), citam que a fertilização em linhas estimula as raízes adicionais na linha em torno da faixa fertilizada, mas também, estimula maior crescimento e mais profundo sistema radicial.

Por outro lado, BARBER (1984), diz, que o efeito da posição do nutriente no solo sobre a absorção, varia com o tipo de nutriente, solo e a espécie cultivada. Restringindo o volume de solo fertilizado, aumenta o suprimento das raízes neste local, no entanto, quando a aplicação é feita em faixas, o uso do fertilizante pelas culturas com espaçamentos de 70 cm ou mais, é restrito à uma mistura com menos de 2% do solo. Uma vez que no sistema solo, os fertilizantes não são misturados como numa solução, a quantidade de nutrientes imediatamente disponíveis na superfície das raízes é limitado. Este mesmo autor explica: por isso, a interceptação radicial poderá absorver somente uma fração do suprimento, para todos os nutrientes, exceto o Ca, uma vez que, a quantidade de Ca no solo é muito maior, do que a quantidade requerida para crescimento do milho. O fluxo de massa, poderá suprir a demanda de nutrientes pelas culturas, de todos os nutrientes, exceto o N, P

e K. Alguns nutrientes são supridos não só pela intercepção radicial e fluxo de massa, mas também suplementado pela difusão. A maior parte do P e K e parte do N, são presumivelmente supridos pela difusão. Alguns dados mostram, para o N, P e K absorvidos pelas raízes de milho, que uma maior proporção do sistema radicial, pode absorver mais nutrientes, a fim de suprir a demanda e, que a área da superfície das raízes é importante, na determinação do suprimento de nutrientes às plantas. A aplicação de fertilizantes (N, P, K), acentuam o crescimento radicial na zona fertilizada. Em solos com alta capacidade de fixação de K, geralmente existe uma relação linear entre a quantidade fixada e a adicionada. Quando ocorre pequena fixação do K, a aplicação a lanço pode ser mais efetiva.

GILE e CARRERO (1917)⁶, citado por BARBER (1984), em trabalho com solução nutritiva, usando a técnica da subdivisão radicial e medindo os efeitos da metade, poucas raízes e a totalidade, sobre a absorção de N pelo milho e, sobre o P, K e Fe pelo arroz, verificaram, que a máxima absorção ocorria, somente, quando todas as raízes eram supridas com o nutriente.

Segundo MARSCHNER (1986), a formação das raízes são modificadas pelos fatores ambientais e diferem tipicamente entre as espécies. Diferenças genótípicas no comprimento dos pêlos radiciais, são importantes para a concentração do P e do K no perfil acerca das raízes. Pode existir uma correlação positiva, entre a taxa de absorção por unidade de comprimento de raízes e volume dos pêlos radiciais. Plantas crescendo a campo, absorvem, não uniformemente os nutrientes, igualmente, a densidade de raízes na superfície do solo. O comprimento total das raízes é importante para aquisição do nutriente às plantas. Existe uma correlação

⁶ GILE, P. L; CARRERO, J. O. Absortion of nutrients as affected by the number of roots supplied with the nutrient. *Journal Agronomy Research*. 9: p.73 - 95.1917.

positiva entre a eficiência da utilização do P e MS de raízes.

Visando o melhor aproveitamento dos fertilizantes, FORNASIERI FILHO (1992), recomenda, que o fertilizante nitrogenado pode ser aplicado diretamente no solo ou via fertirrigação. No caso de se aplicar o N na forma de uréia, deve-se incorporá-lo, para evitar a possibilidade de volatilização da amônia. A localização do fósforo em sulco aumenta a relação de fósforo aplicado por volume de solo na região adubada, mas reduz a proporção de raízes da planta que poderiam absorver este nutriente. Já, sua aplicação a lanço e incorporado na camada arável, resulta em maior contato com o solo, propiciando maior volume de solo fertilizado, para as raízes das plantas absorverem nutrientes e água, o que implica, dependendo da dose de P e das condições climáticas, em maiores produtividades, quando comparada com a adubação em sulcos. Quando são utilizadas fontes de P menos solúveis, convém aplicá-lo a lanço, para promover maior contato e reação com as partículas do solo, apresentando maior dissolução em solos argilosos e ácidos. A adubação de manutenção, pode ser realizada toda na linha de semeadura ou parcelada. Em geral, a adubação exclusiva na linha de semeadura é recomendada, quando se utiliza doses baixas do nutriente.

RAIJ, van, (1991), comenta, que a adubação não é uma prática à ser considerada isoladamente, devendo ser avaliada em relação a outras práticas, que também, afetam a produção. São exemplos, a calagem, a irrigação, o uso de variedades mais produtivas, o manejo mais eficiente do solo, etc. Nesta linha de informações, DRAGOVIC *et al.* (1988), em trabalho com diferentes profundidades de aração: 20, 30 ou 40 cm, subsolagem a 45 cm de profundidade seguida de aração a 20 ou 30 cm e sem aração, empregou adubação de base de 120 kg N + 72 kg P₂O₅ + 48 kg K₂O.ha⁻¹, anualmente, ou equivalente P, K, aplicado de três em três anos e,

o N anualmente, concluíram, que a aração a 30 cm de profundidade, aumentava o rendimento de grãos, comparativamente, a aração superficial e a resposta com a subsolagem. Enquanto KASPAR, *et al.* (1991), utilizando três sistemas de cultivo (semeadura direta, cultivo em sulcos e aração), em duas formas de adubação (na linha e 76 cm entre-linhas), com injeção de solução com 125, 45 e 100 kg N, P e K.ha⁻¹ respectivamente, ou sem fertilização, amostraram raízes entre 36 a 40 dias após a semeadura, no centro das linhas à 30 cm de profundidade e concluíram: a colocação do fertilizante e compactação da roda pelo tráfego, afetava a distribuição de raízes em todos os sistemas de cultivo. Comprimento e peso das raízes nos 15 cm superficiais do solo, nas entrelinhas, foram: 1,27 km.m⁻³ e 19 gm⁻³ e 3,88 km.m⁻³ e 49 g.m⁻³, para compactação da linha pelo tráfego da roda e não compactação respectivamente. A disposição do fertilizante não concentrado nas entrelinhas, aumentava o comprimento das raízes, de 2,57 km.m⁻³ para 5,20 km.m⁻³. O sistema de cultivo afetava o crescimento, somente, na forma não concentrada do fertilizante nas entrelinhas, onde o comprimento das raízes de 15 a 30 cm de profundidade, foi duplicado com a prática da aração, comparativamente, aos outros sistemas. Isto sugeria, que a fertilização do trigo nas linhas poderia ser evitada, para maximizar o contato da raiz com o fertilizante. Já, NAUMKIN, *et al.* (1991), em trabalhos realizados de 1987 - 1989, cultivando milho após aração ou grade aradora entre 23 a 25 cm de profundidade ou cultivo superficial a 8 a 10 cm de profundidade, em tratamento de preparo do solo, combinado com tratamentos de adubação, com N, P, K + manejo da adubação verde + palha de trigo incorporada após colheita, com ou sem herbicida, verificaram que o tratamento que produzia maior rendimento de massa verde (79,25 a 79,97 t.ha⁻¹) era com aração comparativamente (74,60 a 76,79 t.ha⁻¹) ao preparo com grade aradora e cultivo

superficial. Comparando com 58,78 t.ha⁻¹ de MS obtidas com aração e 52,36 a 55, 27 t.ha⁻¹ para o tratamento com grade aradora e cultivo superficial, foram similares. MIELE e PALMERINI (1989), pesquisando formas de adubação, em cinco anos de trabalho (1983 a 1987), comparando dois tratamentos testemunhas com distribuição do fertilizante a lanço, com seis tratamentos com fertilizante formulado distribuído em faixas, verificaram, que o maior rendimento médio de grãos obtido (12,05 t.ha⁻¹), foi com a maior quantidade de N, P, K aplicado a lanço, comparativamente, aos outros tratamentos e modos de aplicação de fertilizantes. MARSCHNER (1995), cita que a eficiência na utilização de nutrientes minerais, é também encontrada entre cultivares e entre espécies. Fisiologicamente, pode ser avaliado em termos de quantidade de MS produzida e por unidade de nutriente na MS. No aspecto agrônômico, a eficiência nutritiva é usualmente expressa pelas diferenças genotípicas das plantas, crescendo em solos com quantidade insuficiente de nutrientes. Em muitos casos, a maior eficiência nutritiva é relacionada, primeiramente, com o crescimento e atividade das raízes e ainda pelo transporte de nutrientes, das raízes para a parte aérea das plantas. Outra forma de avaliação, pode ser expressa pelo conteúdo de N na MS. Enquanto que, RUSSEL (1981), concluiu: o desenvolvimento dos métodos de cultivo, é uma forma de auxílio ao mecanismo do conhecimento, de como as raízes interagem com o solo; algumas características fisiológicas das plantas, são coordenadas pelo crescimento do sistema radicial e a parte aérea, por extensão, possui habilidade para absorver nutrientes e água e, mudam de acordo com a idade e outros fatores que afetam esses processos; atenção tem se direcionado aos efeitos de condições desfavoráveis ou estresses, as quais, geralmente, restringem o desenvolvimento radicial a campo, reduzindo o rendimento das culturas. Refere-se GREGORY

(1994), que o desenvolvimento, crescimento e a distribuição de raízes, são afetados pela quantidade, forma e modo de distribuição de nutrientes no solo.

No que trata da metodologia para a análise do crescimento de raízes, o uso do método da “parede de vidro”, segundo TAYLOR e WILLATT (1981), citam como vantagens do uso de Rizotrons, que a intensidade das raízes na interface do “aparelho”, pode ser determinada rapidamente e, que as plantas podem ser manejadas mais facilmente, do que se estas fossem destruídas em cada período de amostragem, em processos convencionais de leitura. Quando desejável, instrumentos e sensores para medir as propriedades do solo ou planta no local, geralmente, são mais simples de instalar, medir e manter em Rizotron, do que a campo. ZANETTE e COMIN (1992), relatam, que em estudos de fisiologia, o comprimento e a área de raízes, são os parâmetros de maior importância, que afetam as funções de absorção, ao invés do estudo da massa, salvo em gramíneas, onde há estreita correlação, pela homogeneidade das raízes. Segundo TAYLOR e WILLATT (1981), a densidade de raízes na interface, solo-parede visível, é aproximadamente cinco vezes maior, do que aquela obtida na mesma superfície, comparativamente às condições de campo, devido ao restrito volume de solo/substrato, para o crescimento. No entanto, segundo BENINCASA (1988), as medidas do sistema radicial são bastante difíceis de serem feitas, principalmente, em condições de campo. A imprecisão é de tal ordem, que é preferível não executá-las. Quando houver interesse muito grande nesse conhecimento, é possível fazer-se uma estimativa a partir de medidas indiretas a campo. Assim, estima-se a quantidade de raízes ou a superfície radicial em determinado volume de solo, o qual é mantido para todas as amostras. Quando se trabalha com plantas envasadas, entretanto, essas medidas tornam-se bastante viáveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de testar as hipóteses formuladas, foram desenvolvidas duas pesquisas:

3.1. PESQUISA A CAMPO

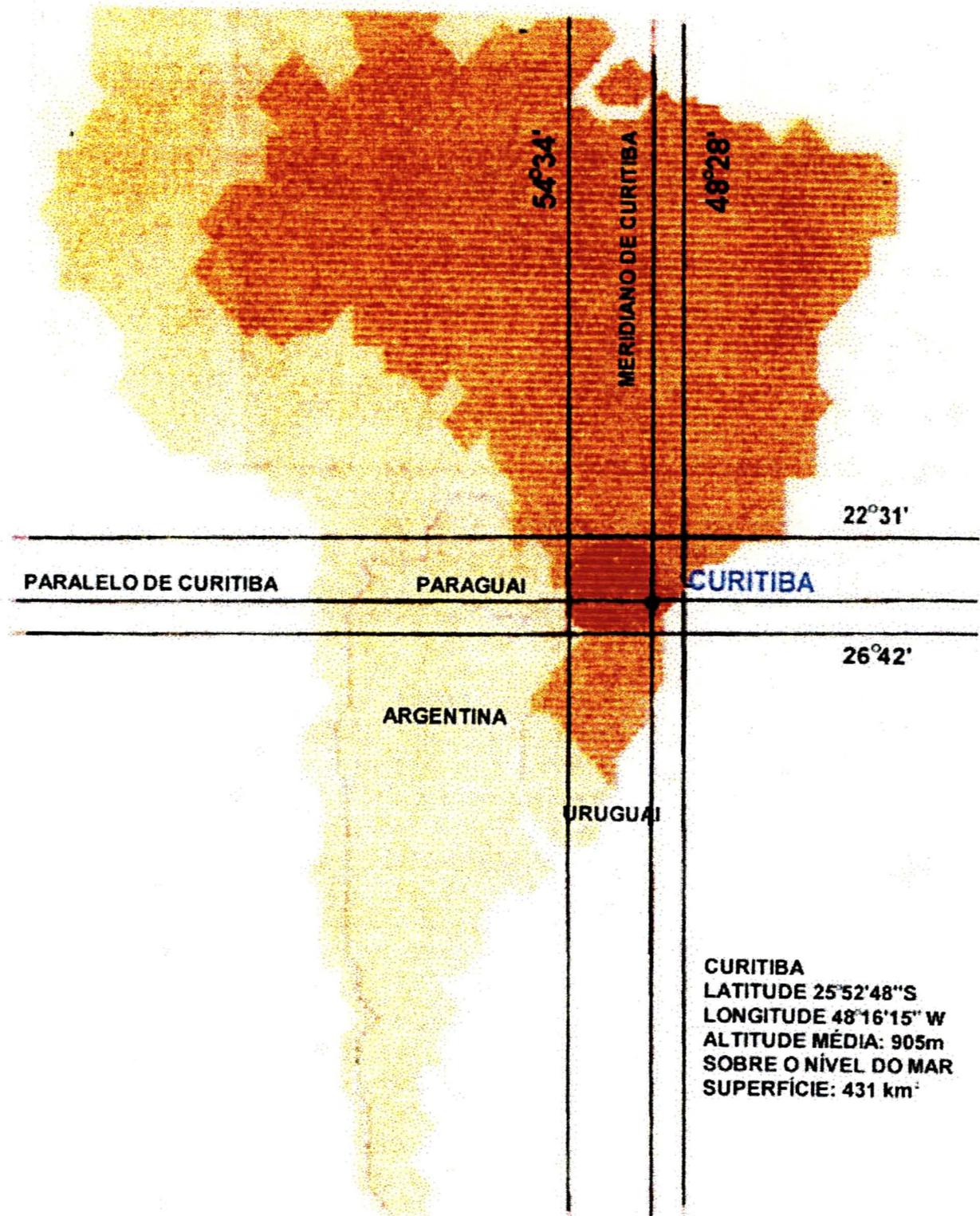
3.1.1. LOCAL

No ano agrícola de 1993/94, foi desenvolvido o experimento a campo. no Centro de Estações Experimentais do Setor de Ciências Agrárias/UFPR (CEEx/SCA/UFPR - Canguirí), que dista, aproximadamente, 23 km de Curitiba, no município de Pinhais - PR, longitude de 49° 08' W, latitude de 25° 25' S e altitude de 930 m acima do nível do mar, região metropolitana de Curitiba (Figura 01).

3.1.2. SOLO

O solo do local onde se desenvolveu a pesquisa, pelas normas brasileiras de classificação de solos é classificado como latossolo vermelho escuro, formação Guabirotuba. É caracterizado como solo álico, com horizonte A proeminente, relevo suave ondulado, com pequena declividade, profundo, bem drenado, poroso, de textura areno-argilosa, fortemente ácido, com saturação de bases baixa e pobre em matéria orgânica, segundo EMBRAPA (1984). Essas características naturais foram

Figura 01. Posição geográfica de Curitiba em relação ao Paraná, Brasil e América do Sul.



alteradas pelas práticas de manejo, durante anos sucessivos para implantação de experimentos e lavouras comerciais, resultando na elevação do nível de fertilidade e correção da acidez e alumínio trocável, proporcionando melhoria na condições químicas do solo. Consta no Apêndice 01, o laudo da análise química do solo emitido pelo laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos do SCA/UFPR, segundo metodologia sugerida por EMBRAPA (1979).

3.1.3. CLIMA

A propriedade está inserida numa região de clima Cfb, segundo classificação de KÖEPPEN, ou seja, mesotérmico úmido a super úmido, sem estação seca, verões frescos, com média de temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C.

O balanço hídrico do período pode ser visto na Figura 02. Vide nos apêndices 04 e 05, os dados meteorológicos obtidos no local, durante o período experimental. Os dados foram fornecidos pela SEAB/Estações Meteorológicas IAPAR/INEMET, publicados em PARANÁ (1993 e 1994).

3.1.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental de campo, foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas em faixas (tendo em vista a necessidade do trabalho com máquinas) em quatro repetições. As parcelas principais eram constituídas por três técnicas de fertilização do solo: A₁ = distribuição do fertilizante manualmente a lanço, na superfície do solo e incorporado com arado de aivecas a profundidade

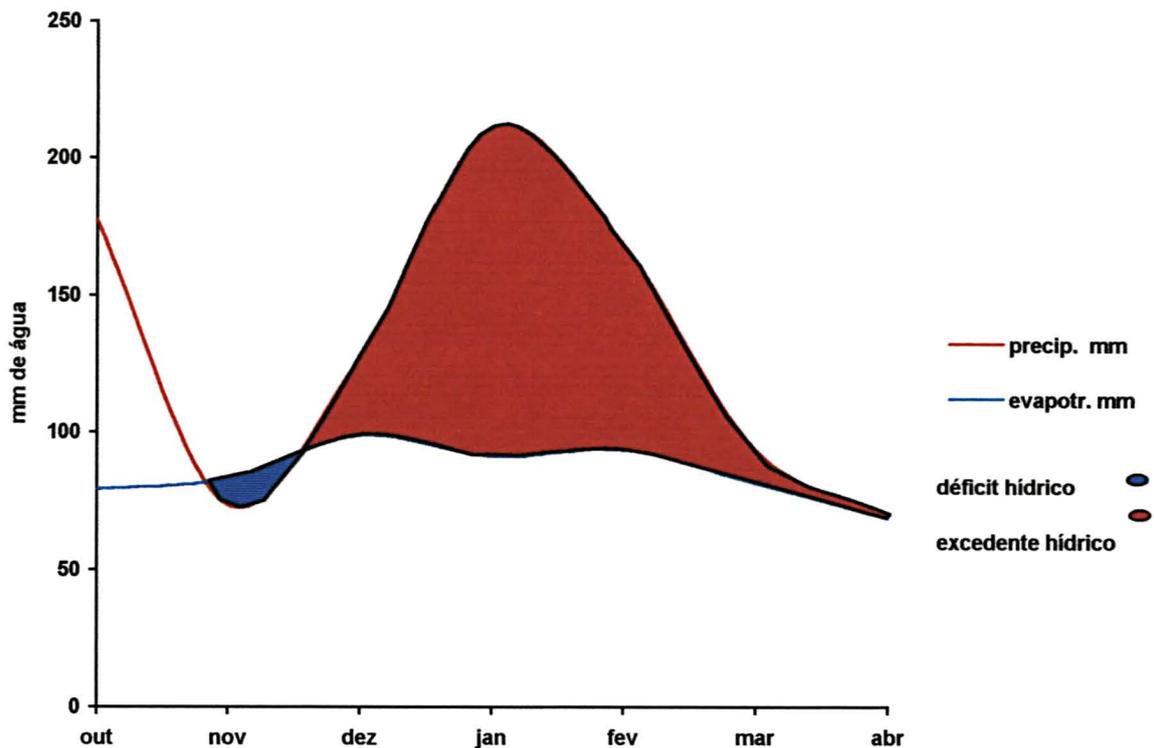


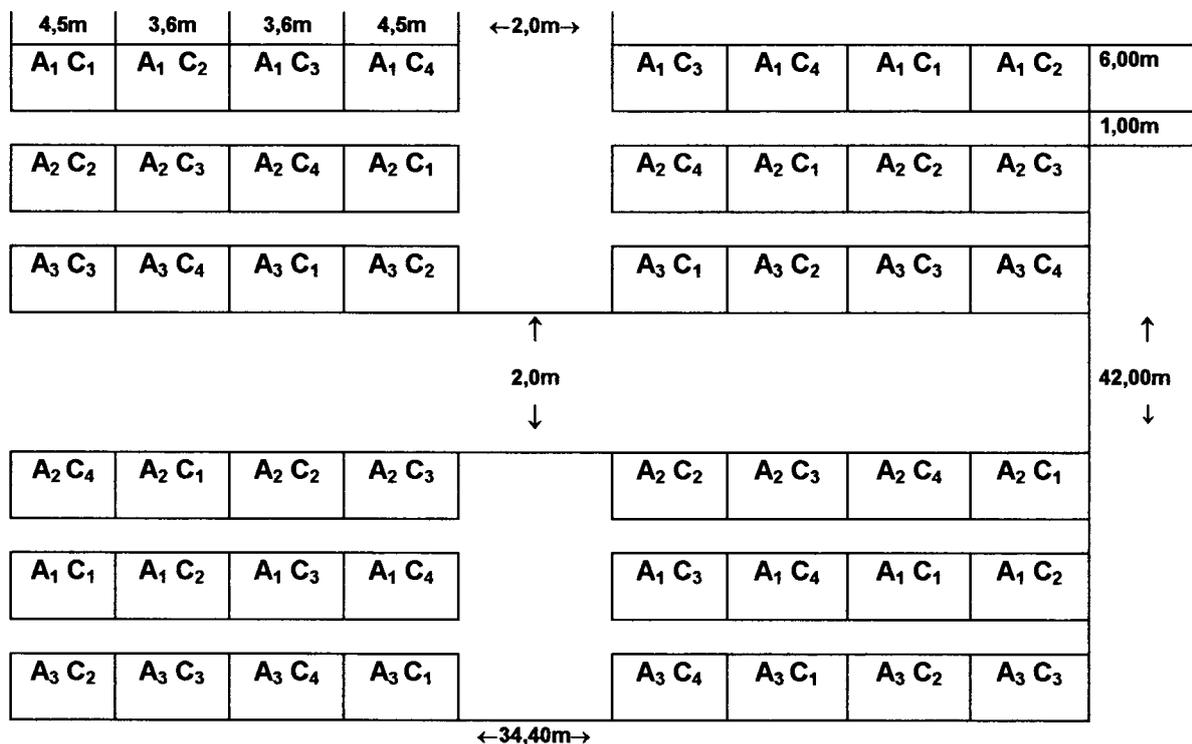
Figura 02. Precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial, excedente e déficit hídrico em milímetros de água, durante o período experimental. CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, outubro/1993 a abril/1994.

média de 26 cm; A_2 = distribuição do fertilizante em covas, a profundidade média de 13 cm; e, A_3 = distribuição do fertilizante no fundo de sulcos, em filete contínuo, a profundidade média de 7 cm, e as sub-parcelas, por quatro cultivares de milho híbrido comerciais, recomendados para a região: C_1 = AG 303; C_2 = P 3207; C_3 = DINA 170; e, C_4 = P 3230.

Detalhes do experimento com as respectivas distribuições dos tratamentos, podem ser vistos em croqui (Figura 03).

As parcelas experimentais eram constituídas de quatro fileiras de plantas, espaçadas em 0,90m, com 6 m de comprimento. Para diminuição do efeito ambiental sobre as parcelas externas aos blocos, receberam uma linha adicional

como bordadura. Além disso, para maior proteção ao experimento, foi circundado com lavoura comercial de milho, de modo a evitar interferência adicional.



TRATAMENTOS:

FERTILIZAÇÃO: A₁ = distribuição do fertilizante a lanço e incorporado com arado de aivecas a 26 cm profundidade;

A₂ = distribuição do fertilizante em covas abertas a 13 cm de profundidade;

A₃ = distribuição do fertilizante em sulcos abertos a 7 cm de profundidade.

CULTIVARES: C₁ = AG 303; C₂ = P 3207; C₃ = DINA 170; e C₄ = P 3230.

Figura 03. Croqui experimental de campo com as respectivas distribuições dos tratamentos

3.1.5. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

a) SEMEADURA

A semeadura foi realizada no dia 11 de novembro de 1993, manualmente, com sementes em excesso para posterior desbaste, efetuado em 04 de dezembro

de 1993, para ajuste da densidade de plantas entre cinco a seis plantas por metro, com a intenção de obter população inicial mais homogênea em todos os tratamentos, entre 55.555 a 66.667 plantas por hectare.

b) ADUBAÇÃO

A adubação de base, foi padrão para todos os tratamentos, a $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ da fórmula 04 : 30 : 10 (N : P : K), bem como, a adubação em cobertura, com $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, que teve como fonte a uréia, distribuída manualmente em 12 de janeiro de 1994, ao lado das plantas próximo em estágio de pré-floração (estádio de desenvolvimento 4,0) e incorporada com enxada, quando aproveitou-se para efetuar uma capina e a amontoa.

c) CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se inicialmente, o químico, com a associação de Atrazine com Metolachlor, herbicida pré-emergente, na dose de $5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$. O controle foi completado por meio de três capinas, com enxada, durante o ciclo da cultura, a fim de mantê-la no limpo.

d) COLHEITA

A colheita do experimento foi feita manualmente, colhendo-se as espigas, que foram debulhadas posteriormente em máquina estacionária. Foram colhidas as duas linhas centrais das parcelas, desprezando-se 0,50 m de cada extremidade e

as linhas externas, consideradas bordaduras, correspondendo a colheita de 9 m² por parcela útil.

3.1.6. AVALIAÇÕES

Foram feitas as seguintes anotações a campo apresentadas nos apêndices 06, 07 e 08: data de semeadura; data de emergência de plantas (> 50%); data de desbaste; data de florescimento (> 50%); data de espigamento (> 50%); data da colheita e as avaliações dos parâmetros: estatura de planta; ponto de inserção da primeira espiga e rendimento de grãos, descritas a seguir:

a) ESTATURA DE PLANTA

A estatura foi medida em centímetros, de 10 plantas por parcela por repetição, aproximadamente 2 m da borda das parcelas, nas duas linhas centrais das parcelas úteis em cinco plantas em seqüência, em cada uma delas. Tomou-se a medida com auxílio de uma régua topográfica, colocada ao nível do solo, junto ao colo das plantas até a parte mais alta da inflorescência. Por meio dessas avaliações foram calculadas as médias por planta.

b) INSERÇÃO DA PRIMEIRA ESPIGA

O ponto de inserção da primeira espiga foi medido, em centímetros, nas mesmas plantas por parcela utilizadas para as medidas da estatura. Da mesma forma, com a régua topográfica, foram tomadas as medidas, desde o nível do solo

até o ponto de inserção da primeira espiga no colmo, então, calculadas as médias por planta

c) DIÂMETRO DO COLMO

Para obtenção desse parâmetro, foram utilizadas as mesmas plantas das avaliações anteriores, onde, com auxílio de um paquímetro eram medidos os diâmetros dos colmos, em milímetros, aproximadamente no centro do primeiro entrenó localizado acima do solo, para calcular a média por planta.

d) PLANTAS POR PARCELA

O número total de plantas por parcela útil foi contado na colheita, independentemente das plantas possuírem espigas formadas ou não. Por meio desses valores, foi calculada a população final, estimada em plantas por hectare, por meio de regra de três simples.

e) PLANTAS ACAMADAS E QUEBRADAS

Foi contado o número total de plantas acamadas e quebradas por parcela útil. Eram consideradas plantas acamadas, aquelas com inclinação em ângulo menor que 30° em relação ao solo e quebradas, aquelas que apresentavam o dano abaixo da espiga.

f) ESPIGAS POR PLANTA

Após a contagem do número total de espigas colhidas da área útil, foi obtido o número médio de espigas por planta, por meio da razão entre esse número e o número total de plantas na parcela útil.

g) PESO DE ESPIGAS E GRÃOS POR ESPIGA

Após a pesagem das espigas despalhadas, em gramas (umidade de colheita), foi obtido o peso médio de espiga, pelo cálculo da razão, entre o valor obtido na pesagem total de espigas colhidas por parcela útil, pelo total de espigas com grãos.

A obtenção do peso médio de grãos por espiga, foi efetuada de maneira semelhante a anterior, no entanto, com correção da umidade dos grãos à 13%, a fim de padronizar os resultados para o cálculo da relação grãos : espiga.

h) RENDIMENTO DE GRÃOS

Para avaliação do rendimento de grãos por hectare, foi feita a padronização à 13% de umidade, para homogeneização dos dados nas comparações entre os tratamentos, onde a correção foi efetuada pelo uso da fórmula:

$$PF = \frac{100 - UA}{100 - UD} \times PP, \text{ onde:}$$

PF = peso final da parcela corrigida à 13% de umidade;

UA = umidade das sementes, na análise;

UD = umidade desejada (13%); e,

PP = peso da parcela na umidade original

Para leitura da umidade dos grãos, foram retiradas, após homogeneização, três amostras por parcela por repetição para, então, proceder-se ao cálculo da média de umidade da parcela por tratamento, utilizada na fórmula.

3.2 . PESQUISA EM RIZOTRON

3.2.1. LOCAL E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

No ano de 1994/95, foi desenvolvido em Rizotron (Figura 04), no Campus do Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, localizado no bairro Cabral em Curitiba - Paraná, experimento em blocos inteiramente casualizados com seis repetições (uma planta por repetição) em três técnicas de fertilização, com o cultivar de milho híbrido comercial AG 303, tendo em vista, ter apresentado o melhor desempenho a campo.

Além da existência da estrutura física, após considerações a respeito dos diversos métodos de análise de crescimento de raízes das plantas, levaram a decisão da escolha do método do Rizotron, apesar de não ser 100% confiável, uma vez que superestima seus valores, mas mesmo assim, é considerado pelos pesquisadores, uma opção eficiente para os parâmetros analisados.

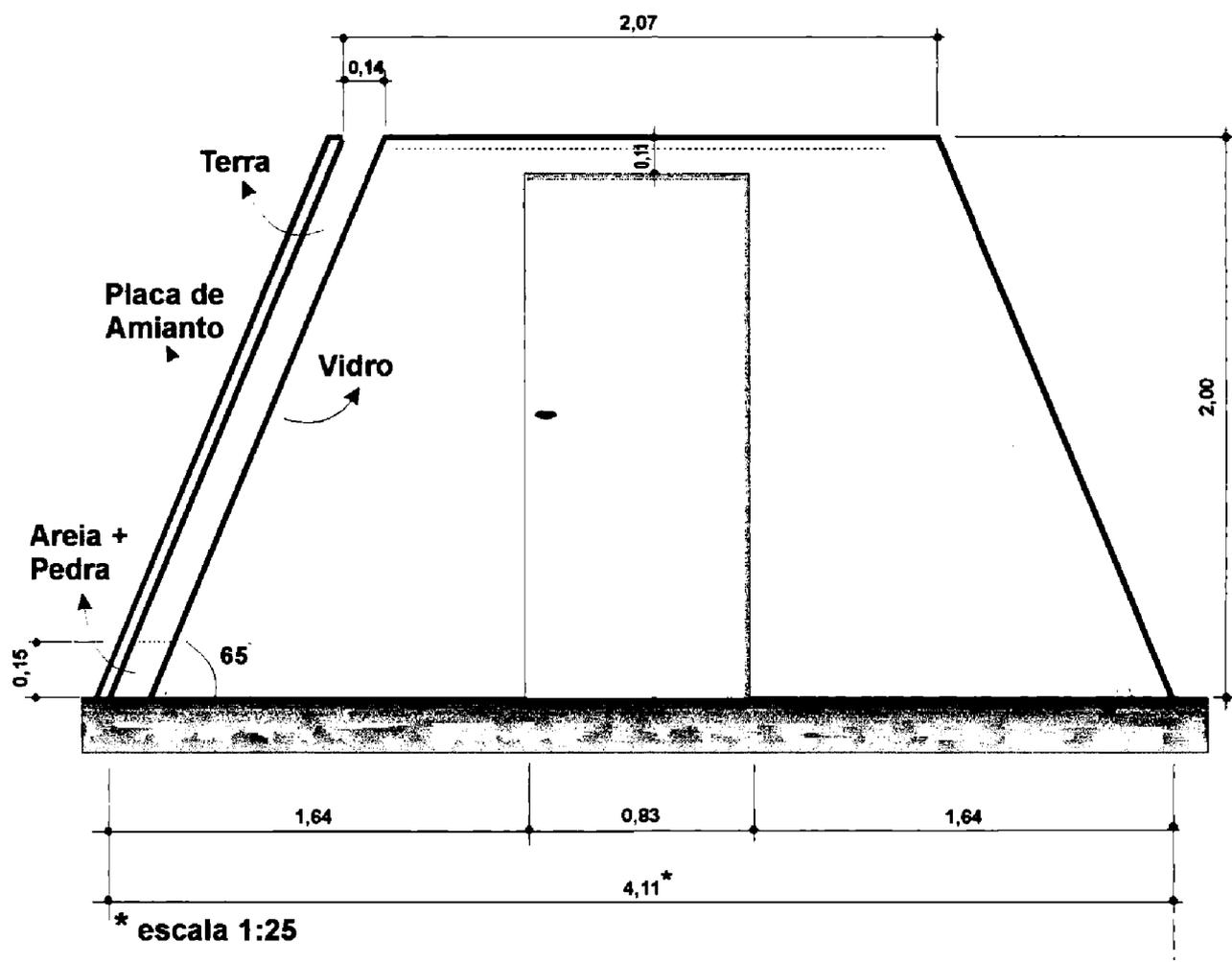


Figura 04. Desenho esquemático do Rizotron. SCA/UFPR. 1995.

3.2.2. SOLO/SUBSTRATO

O “solo/substrato” para preenchimento das entre-placas do Rizotron, foi coletado do horizonte A, em área contígua ao experimento de campo. O laudo da análise química emitido pelo Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos/SCA/UFPR, consta no Apêndice 02 e, o da análise física, no Apêndice 03. Após peneirado e homogeneizado, era colocado em camadas de aproximadamente 20 cm, levemente compactadas, até atingir a superfície.

3.2.3. TRATAMENTOS

Os tratamentos eram instalados em compartimentos isolados, em módulos de 163 cm de largura por 207 cm de profundidade. Após o cálculo da quantidade de fertilizante por compartimento (baseado no número médio de plantas por hectare do experimento de campo), era distribuído em todos os tratamentos. Procurou-se aplicar os mesmos critérios utilizados a campo, onde em A_1 = o fertilizante era primeiramente misturado ao “solo/substrato” e homogeneizado, para preenchimento dos 25 cm restantes do perfil, até atingir a superfície do Rizotron; A_2 = após o preenchimento total das entre-placas do Rizotron, eram abertas as covas (três) com 13 cm de profundidade, para receber o fertilizante; e, A_3 = após o preenchimento total das entre-placas do Rizotron, era aberto sulco com 7 cm de profundidade, para ser colocado ao fundo, o fertilizante, distribuído num filete contínuo.

3.2.4. SEMEADURA

A semeadura foi feita com sementes em excesso a 3 cm de profundidade em todos os tratamentos e, com dois desbastes, aos sete e 15 dias da emergência, ajustou-se ao número de plantas desejado, procurando-se deixar aquelas com vigor homogêneo e mais ou menos equidistantes (20 a 22 cm). Na semeadura em covas, deixaram-se duas plantas em cada uma delas, espaçadas em 0,50 m. Visando proporcionar competição, convencionou-se deixar seis plantas por compartimento por tratamento. Após a emergência das plantas, colocou-se uma camada de palha na superfície do solo/substrato, para diminuir a perda de água e manter maior umidade superficial.

3.2.5. AVALIAÇÕES

Além das mesmas avaliações realizadas no experimento de campo, em Rizotron, com as mesmas metodologias, também foram efetuadas:

a) ANÁLISE NUTRICIONAL E QUÍMICA DAS RAÍZES

No Laboratório de Nutrição Animal e Agrostologia do Departamento de Zootecnia/SCA/UFPR, foi efetuada a análise nutricional, segundo metodologia NEARS - Sistema de Análise por Infravermelho Próximo e no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos/SCA/UFPR, a análise química, pela metodologia recomendada por HILDBRAND (1977).

b) MASSA FRESCA (MF) E MASSA SECA (MS)

Foram avaliadas a massa fresca (MF) e a massa seca (MS) da parte aérea e das raízes das plantas, em gramas. Para a avaliação da MF, foram tomadas todas as plantas (seis) de cada tratamento, cortadas ao nível do solo (colo da planta) e após a retirada das espigas, foram picadas e pesadas. Para a MS, foram secas em estufa, a 70 °C, até peso constante, para então proceder-se a pesagem.

As raízes das seis plantas, foram coletadas duas semanas após a colheita da parte aérea e da retirada das placas externas do Rizotron, para secagem da terra e também, em virtude de chuvas, que dificultavam a retirada do solo/substrato. Toda terra tirada, era peneirada em peneira de malha 3 mm e, os pedaços de raízes eram

coletados cuidadosamente, uma vez, que era impossível retirá-las intactas, de maneira à perder o mínimo possível.

c) RENDIMENTOS, BIOLÓGICO (RB), ECONÔMICO (RE) E ÍNDICE DE COLHEITA (IC)

A avaliação do RB foi feito com base na MS total em gramas, da parte aérea das plantas, inclusive, espigas e grãos; o RE foi avaliado na MS dos grãos em gramas (10,5% de umidade), mas também, para efetuar comparação com experimento de campo, estimou-se o rendimento a 13% de umidade e, o cálculo do IC, foi obtido por meio do quociente entre o RE pelo RB total.

d) MEDIDA DE CRESCIMENTO DAS RAÍZES

Foi medido o crescimento das raízes durante 114 dias, em 16 épocas de leitura, semanalmente, a partir da emergência total das plantas até a maturação fisiológica. As medições eram feitas, "copiando" em filme plástico sobreposto aos vidros internamente ao Rizotron, as raízes "visíveis" em cada época e, após, transferidas para um papel com caneta hidrográfica, em cor diferente à cada leitura, até a confecção do mapa final (Apêndices, 17, 18 e 19). Permitia-se assim, a visualização do crescimento radicial por intervalo de leitura e o total, até a maturação fisiológica da planta. Dessa forma, após completado o mapa por tratamento, com 163 cm x 207 cm (3,37 m²), foi dividido em quadrículas de 10 x 10 cm, para facilitar as medições do comprimento das raízes, feitas com curvímetro, bem como, a visualização em escala original. Assim, avaliou-se o crescimento, por

intervalo de leitura, por área e em estratos do perfil (10 cm), bem como, a concentração de raízes por área.

3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EXPERIMENTOS

A análise estatística dos resultados de campo, foi efetuada pelo uso do programa MSTAT - C, constante em manual de instrução descrito por KOEHLER (1996). Pelo mesmo programa, foram feitas as análises de variâncias e o teste de BARTLETT, para verificação da homogeneidade, além do teste de classificação de médias, onde adotou-se o de DUNCAN, ao nível de 5% de probabilidade.

Para os resultados obtidos em Rizotron, foram efetuados os cálculos percentuais, para comparações das diferenças entre as variáveis analisadas, uma vez que havia grande variação entre plantas, principalmente, no tratamento A₃, conduzindo a heterogeneidade das variâncias na aplicação do teste de BARTLETT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Procurou-se associar os resultados obtidos na pesquisa de campo com aqueles obtidos em Rizotron, uma vez que, a resposta das plantas nas duas pesquisas foram semelhantes, possibilitando complementar as informações a respeito das técnicas de fertilização empregadas a campo e inferir-se sobre eles.

4.1. EFEITOS DAS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO A CAMPO

Nos Apêndices 09 e 10, encontram-se os resultados de campo com as respectivas análises de variâncias (quadrados médios). No texto, nas Tabelas 01, 02 e 03, são apresentados os testes de classificação de médias, das variáveis que mostraram significância estatística, pelo teste de DUNCAN ao nível de 5% de probabilidade.

4.1.1. EFEITO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS CULTIVARES

Constatou-se diferenças significativas entre cultivares (Tabela 01) para a variável estatura média de planta, favorável ao C₃ - Dina 170, esperadas, em função

de suas características morfológicas já conhecidas, igualmente aos resultados das variáveis, diâmetro médio de colmo e ponto médio de inserção de espigas. Entretanto, para os outros três cultivares testados, apesar da pequena diferença encontrada entre eles, C₄ - P 3207 e o C₁ - AG 303, mostraram desenvolvimento superior e significativo, comparativamente, ao C₂ - P 3230, para essas variáveis, com exceção ao diâmetro de colmo. Provavelmente, estas variáveis estejam associadas as características genéticas próprias, além do que, nas comparações estatísticas para cultivares, são levadas em consideração a média dos tratamentos de fertilização, diluindo os resultados individuais. Por outro lado, não encontrou-se, na literatura pesquisada, trabalho, a respeito do tema, que mostrasse comparação entre as variáveis analisadas.

Tomando-se por base as respostas aos tratamentos de fertilização e relacionando-as às características morfológicas aéreas (Tabela 02), apenas observou-se diferença significativa favorável ao tratamento A₃ - distribuição do fertilizante em sulcos abertos a 7 cm de profundidade, para o diâmetro de colmo, comparativamente aos outros tratamentos, mostrando relação inversamente proporcional entre esta característica e o rendimento de grãos. Associação não encontrada em nenhuma literatura consultada. Apenas MODEL e ANGHINONI (1992), concluíram, que os efeitos benéficos das aplicações de fertilizantes mais localizadas, no crescimento de plantas de milho, eram detectados somente até a fase de florescimento, referindo-se ao porte das plantas. Não se encontrou explicação lógica para o fato, uma vez que, em apoio no trabalho em Rizotron (Tabela 04), não foi obtido o mesmo resultado, o que poderia confirmar, se o menor diâmetro de colmo teria ocorrido em função do tratamento.

Tabela 01. Teste de classificação de médias de seis variáveis, em quatro cultivares de milho submetidas a três técnicas de fertilização do solo. CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, 1994.

VARIÁVEIS ⇒	ESTATURA PLANTA	PONTO MÉDIO INSERÇÃO ESP.	DIÂMETRO COLMO	PESO MÉDIO ESPIGAS	PESO MÉDIO GRÃO/ESP.	RENDIMENTO GRÃOS (13% U.)
CULTIVARES** ↓	(cm)	(cm)	(cm)	(g/parcela)	(g)	(kg/ha)
C ₁	246,5 ^{bc*}	116,6 ^b	23,92 ^b	8283 ^a	124,3 ^a	6393 ^a
C ₂	240,9 ^c	104,2 ^c	23,50 ^b	6723 ^b	108,4 ^b	5223 ^c
C ₃	316,8 ^a	163,9 ^a	26,17 ^a	7804 ^a	129,5 ^a	5845 ^b
C ₄	257,1 ^b	113,7 ^b	23,92 ^b	8273 ^a	119,1 ^{ab}	6222 ^a
D.M.S.	11,6	6,0	1,28	576	13,1	341

*nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN

** CULTIVARES: C₁ = AG 303; C₂ = P 3230; C₃ = DINA 170; C₄ = P 3207

Tabela 02. Teste de classificação de médias de seis variáveis, em três técnicas de fertilização do solo, na média de quatro cultivares de milho CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, 1994.

VARIÁVEIS ⇒	ESTANDE PLANTAS	POPULAÇÃO PLANTAS	PESO MÉDIO ESPIGAS	PESO MÉDIO GRÃO/ESP.	RENDIMENTO GRÃOS (13% U.)	DIÂMETRO COLMO
TRATAMENTO** ↓	(n ^o plantas/5 m)	(hectare)	(g/parcela)	(g)	(kg/ha)	(mm)
A ₁	41,75 ^{b*}	46390 ^b	8406 ^a	139,6 ^a	6537 ^a	23,63 ^b
A ₂	47,06 ^a	52290 ^a	7446 ^b	108,9 ^b	5667 ^b	23,88 ^b
A ₃	45,31 ^{ab}	50350 ^{ab}	7461 ^b	112,6 ^b	5558 ^b	25,63 ^a
D.M.S.	3,77	4189	372	10,9	195	1,41

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN

** A₁ = Fertilização a lanço e incorporação com arado de aivecas a 26 cm de profundidade

A₂ = Fertilização em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilização em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

4.1.2. EFEITOS SOBRE OS COMPONENTES DO RENDIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS

Em relação as variáveis, peso médio de espigas e peso médio de grãos por espiga (Tabela 01), verificou-se que o C₁ - AG 303, C₃ - DINA 170 e o C₄ - P 3207, apresentaram respostas semelhantes e estatisticamente significativas, comparativamente ao C₂ - P 3230. Nesta mesma Tabela, para a variável rendimento de grãos corrigido a 13% de umidade, dois cultivares se destacaram nas comparações, o C₁ - AG 303, com 6.393 kg.ha⁻¹ e o C₄ - P 3207, com 6.222 kg.ha⁻¹, não diferindo estatisticamente entre si, mas ambos diferiram significativamente do C₃ - DINA 170, com 5845 kg.ha⁻¹, que por sua vez, foi significativamente superior ao C₂ - P 3230, produzindo 5223 kg.ha⁻¹. Verificou-se, que o componente peso de grãos por espiga, proporcionava esta maior resposta, pois, a menor associação, era verificada no C₂ - P 3230, 108,4 g, estatisticamente inferior aos outros cultivares.

Esses resultados, mostraram diferentes respostas dos genótipos aos tratamentos aplicados e ao ambiente em que são expostos, modificados pela forma de distribuição do fertilizante. Se assemelham àqueles de PEARSON (1965), onde concluindo, que o desenvolvimento de uma cultura poderá ocorrer de acordo com as características genéticas e pode modificar-se pelo ambiente físico e químico e, confirmados por BALIGAR *et al.* (1990), onde descreveram, que a eficiência da fertilização está relacionada com os tipos de cultivares e MARSCHENER (1995), concluindo, que além dos cultivares também se diferenciam entre espécies. Dentro da mesma ótica, RAIJ, van, (1991), comenta, que a adubação não é uma prática que pode ser considerada isoladamente, devendo ser avaliada com relação a outras práticas, que também afetam a produção: a calagem, irrigação, uso de variedades

mais produtivas, manejo mais eficiente do solo, entre outras. SHAVIV e HAGIN (1991), também se reportando a forma de distribuição de fertilizantes, superficial ou profundamente, verificou que esta prática influenciava a distribuição de raízes no perfil do solo e o rendimento de grãos, de mesma forma, como os resultados obtidos nessa pesquisa a campo, onde os cultivares responderam diferentemente às técnicas de adubação.

Na comparação dos efeitos dos tratamentos de fertilização (Tabela 02), em relação aos componentes do rendimento: estande e população de plantas, verificou-se diferenças significativas favoráveis ao tratamento A_2 - distribuição do fertilizante em covas abertas a 13 cm de profundidade comparativamente ao tratamento A_1 , no entanto, não diferiu do tratamento A_3 - distribuição do fertilizante em sulcos abertos a 7 cm de profundidade, que por sua vez, não diferiu do tratamento A_1 - distribuição do fertilizante a lanço na superfície e incorporado a 26 cm de profundidade. Entende-se para essas variáveis, apesar do teste estatístico favorável, os resultados não terem sido influenciados pelos tratamentos, uma vez que, quando efetuado o desbaste das plantas, pode ter ocorrido um erro sistemático, pois tinha sido preestabelecido como parâmetro, um estande inicial, de cinco a seis plantas por metro, provocando esta diferença.

Observou-se nas anotações em planilha de campo (Apêndices, 06, 07 e 08), atraso na emergência de plantas (2 dias), no tratamento A_2 e no tratamento A_3 , 3 dias, comparativamente, ao tratamento A_1 . Supõem-se, que essa diferença possa ter sido provocada pela distribuição mais concentrada do fertilizante nesses tratamentos. Novamente, pode-se inferir que não poderia ter sido prejudicial, a aplicação do tratamento A_1 . Isso pode ser confirmado por conclusões de VIEGAS *et al.* (1955), trabalhando com fertilização potássica, onde verificaram, quando o

fertilizante era aplicado no sulco, provocava redução do estande em anos secos, devido a excessiva concentração de sais solúveis no pequeno volume de solo, fato semelhante constatou com fertilizante nitrogenado. E, em publicação da ANDA (1971), são citados problemas da concentração salina provocando danos, quando o fertilizante era colocado próximo as raízes e as sementes concluindo: quando estes produtos eram colocados nas linhas de semeadura, tendiam reprimir a germinação e até interrompê-la. TINKER (1981), também se refere à problemas dessa natureza em relação ao desenvolvimento de plantas de milho, quando o fertilizante era distribuído perto das sementes e, RAIJ, van, (1991), cita o efeito salino prejudicial às plantas de milho, causado pelo KCl. Portanto, este tipo de dano, causando a redução da população, deveria ter se manifestado logo após a emergência e não no estande final. Ressalte-se o fato, que o desbaste foi efetuado aos 23 dias após a emergência, quando as plantas já estavam estabelecidas, portanto, após a ocorrência de um pressuposto dano.

Se tratando da eficiência das técnicas de fertilização sobre o Rendimento Econômico (RE), Tabela 02, o peso médio de espigas (umidade de campo), peso médio de grãos por espiga e o rendimento de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, corrigido a 13% de umidade, mostraram diferenças estatisticamente significativas, favorável ao tratamento A_1 - fertilizante distribuído a lanço na superfície do solo e incorporado com arado de aivecas a 26 cm de profundidade, comparativamente, aos outros dois tratamentos, que não diferiram entre si. Os rendimentos foram de $6.537 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para o tratamento A_1 ; $5.667 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o tratamento A_2 e de $5558 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o tratamento A_3 , correspondendo estas diferenças a 13% e 15%, respectivamente. Este resultado pode ser explicado em trabalho de COLLINGS (1955), onde relata, que muitos produtores empregam fertilizantes contendo N, P e K com relação

aproximadamente correta entre os nutrientes e em quantidade conveniente, mas não obtém os resultados esperados, porque o método para localização do adubo no solo, não o coloca onde as raízes das plantas possam aproveitá-lo adequadamente. Semelhantemente, MIELE e PALMERINI (1989), em cinco anos de trabalho com fertilizantes contendo N, P, K, encontraram maior rendimento médio de grãos na cultura do milho (12,05 t.ha⁻¹), com a maior dose aplicada a lanço, comparativamente, aos outros tratamentos e modos de aplicação e OKALEBO *et al.* (1990), trabalhando com fertilizante fosfatado aplicado a lanço e em faixa, verificaram, que o rendimento de grãos de milho foi de 3,25 e 1,64 t.ha⁻¹ na cultura do milho e, 2,97 e 2,17 t.ha⁻¹ para o sorgo, respectivamente. Pelo exposto, o aumento do rendimento, verificado no presente trabalho, como resultado da eficiência da técnica de fertilização A₁, comprova, que a alteração do meio ambiente (solo), pode influenciar favoravelmente, o potencial produtivo das lavouras.

Contrariamente, YOST *et al.* (1979), trabalhando com adubação fosfatada na cultura do milho em solos de Cerrado, verificaram, para doses baixas, a aplicação tendia à ser mais eficiente, quando aplicada em faixas, o que também recomenda MALAVOLTA (1984) e complementa, para doses maiores, pode haver vantagem na aplicação a lanço. Resultado concordante com BARBER (1984), no entanto, foi contraditório ao que tinha encontrado anteriormente, em 1977, onde obteve médias de 6.770 kg.ha⁻¹ para aplicação do fertilizante na linha de cultivo; 7.275 kg.ha⁻¹ para aplicação a lanço e incorporado, e 7.210 kg.ha⁻¹, quando era aplicado metade a lanço e metade nas linhas de semeadura. Igualmente, RANDALL e HOEFT (1988), citam, que a aplicação de P e K em solos com baixo nível de fertilidade, tem maior eficácia sobre o rendimento do milho, pela distribuição do fertilizante em faixa de 5 X 5 cm, a qual, era raramente ultrapassada pelos métodos de fertilização em

faixa superficial ou profunda ou aplicação a lanço sem incorporação. SANDER *et al.* (1990), citam também, que a eficiência do fertilizante fosfatado sobre o rendimento de grãos de trigo é mais efetiva quando aplicado junto com a semente ou quando incorporado com implemento agrícola, após distribuição na superfície. No entanto, para o sorgo, quando além da incorporação do fertilizante, era adicionada a aplicação na linha, mostrava os melhores resultados e, TOIT, *du, et al.* (1992), constataram em milho, que a aplicação de N, P, K vertical e parcelada, produziam similarmente, os melhores rendimentos de grãos em anos secos. Quando em anos com precipitação acima da média, o maior rendimento de grãos ($5,47 \text{ t.ha}^{-1}$) era alcançado com a distribuição em faixa a 100 mm de profundidade, seguido pela aplicação vertical ($5,14 \text{ t.ha}^{-1}$), enquanto que, a distribuição a lanço na superfície, produzia o menor rendimento de grãos ($4,03$ a $4,20 \text{ t.ha}^{-1}$). concordando com resultados de RAUN e BARRETO (1995), no entanto, concluiu, que o fosfato de rocha queimada, era mais efetivo, quando aplicado a lanço. Igualmente, WERNER e SCHERER (1995), observaram diferenças nas fontes de fosfatos, mas constataram, que o efeito da água sobre fertilizantes fosfatados solúveis em milho, era maior, quando aplicados em faixas. Os resultados destes pesquisadores, discordantes desse trabalho, no entanto, estão associados à distribuição superficial do fertilizante.

Supõem-se que, com o manejo da fertilização de modo mais favorável, pela distribuição do fertilizante a lanço na superfície e incorporado a profundidade média de 26 cm, nas condições ambientais do local, permitia às plantas desenvolverem de forma mais equilibrada as estruturas vegetativas e reprodutivas, para proporcionar aumento do seu potencial produtivo, as quais estavam associadas à maior quantidade de raízes no perfil do solo/substrato, comprovado na pesquisa em

Rizotron. Isto pode ser explicado por citação de RUSSEL (1981), referindo-se às raízes e parte aérea das plantas, que deveriam ser consideradas conjuntamente, para entender-se adequadamente seu desenvolvimento. O crescimento radicial pode ser considerado ótimo, se a máxima quantidade de energia solar é interceptada pelas folhas, no qual o ambiente aéreo e as características genéticas das plantas permitam, para ser utilizada no metabolismo, em outras partes vivas da planta. A transferência de nutrientes através das raízes, dentro dos tecidos condutores, requer gasto de energia proveniente da respiração, suprido pelo oxigênio, essencial as funções das raízes. Isto, porém, não ocorre com o sistema radicial. Se as raízes forem suficientemente grandes para prover toda a água, nutrientes e hormônios para permitir ao colmo explorar o espaço aéreo totalmente, este aumentará de tamanho, em benefício da planta.

4.2. INTERAÇÃO ENTRE CULTIVARES X TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO

Na análise da interação entre cultivares e as técnicas de fertilização (Tabela 03), observou-se a melhor resposta para o C₁ - AG 303, associada ao método de fertilização A₁ - a lanço e incorporado com arado de aivecas a 26 cm de profundidade, com a média de 7.131 kg.ha⁻¹. A pior resposta esteve associada ao C₂ - P 3230, com o método de fertilização A₃ - em sulcos abertos a 7 cm de profundidade (4.454 kg.ha⁻¹), mostrando diferença de 2.667 kg.ha⁻¹, equivalente a perda média de 38% do rendimento. Certamente, esse resultado favorável, se manifestou pela melhor associação genótipo e ambiente (manejo do solo - aração e método de fertilização). A segunda melhor interação, correspondeu a associação C₄ - P 3207 e o método de fertilização A₁, correspondendo a 6.989 kg.ha⁻¹, não

diferindo estatisticamente da melhor associação entre os tratamentos, mas ambos diferiram de todas as outras associações.

A melhor estabilidade ao rendimento de grãos, entre as três técnicas de fertilização, em relação aos cultivares testados, foi observada para o tratamento A₂ - distribuição do fertilizante em covas abertas a 13 cm de profundidade, não apresentando diferenças estatísticas entre os genótipos, no entanto, mostrou-se estatisticamente inferior ao tratamento A₁ e igualou-se ao tratamento A₃, na média dos cultivares. Observou-se em todos os cultivares (Tabela 03), que a melhor resposta ao rendimento de grãos sempre esteve associada ao tratamento A₁. Este fato comprova, que a prática de manejo do solo com incorporação do fertilizante com arado de aivecas mais profundamente, em substituição ao preparo com grade-aradora e posição mais superficial do fertilizante no solo, proporcionou um ambiente favorável ao desenvolvimento das raízes das plantas no perfil, favorecendo melhor aproveitamento pelas plantas aos recursos disponíveis - nutrientes e água, com

Tabela 03. Teste de classificação de médias da interação entre quatro cultivares de milho e três técnicas de fertilização do solo e das respectivas médias, sobre o rendimento de grãos. CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, 1994.

TRATAMENTO*** ⇒ CULTIVAR** ↓	A ₁	A ₂	A ₃
C ₁	7131 ^a *	5966 ^{bc}	6082 ^b
C ₂	5729 ^{bc}	5485 ^c	4454 ^d
C ₃	6301 ^b	5468 ^c	5767 ^{bc}
C ₄	6989 ^a	5748 ^{bc}	5929 ^{bc}
MÉDIA^{*(1)}	6537^A	5667^B	5558^B

D.M.S: médias a, b, c, d = 528 kg/ha; média⁽¹⁾ A,B = 195 kg/ha

* médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN

** CULTIVARES: C₁ = AG 303; C₂ = P 3230; C₃ = DINA 170; C₄ = P 3207

*** A₁ = Fertilização a lanço e incorporação com arado de aivecas a 26 cm de profundidade
A₂ = Fertilização em covas abertas a 13 cm de profundidade
A₃ = Fertilização em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

reflexo no rendimento de grãos, o que pode ser comprovado pelo trabalho em Rizotron (Tabela 04 e 05) e nos Apêndices 11, 12 e 13. Conclusão semelhante foi feita por DRAKE e STEWART (1950), citando, que a distribuição do sistema radicial é mais equilibrada, pela fertilização a lanço e incorporada com grade-aradora, proporcionando o uso mais adequado da água do solo.

Comprovou-se, com os resultados desse trabalho, que as condições de ambiente favoráveis, são mais importantes que as características genóticas da espécie. No entanto, o efeito aditivo destas duas características associadas, não podem ser desconsideradas, quando busca-se aumento do potencial de rendimento. Concordando com RAIJ, van, (1991), onde comenta, que a adubação não pode ser considerada isoladamente, devendo ser avaliada em função de outras práticas, que também afetam a produção, bem como, o uso de variedades mais produtivas e o manejo mais eficiente do solo; MARSCHENER (1995), citando, que a eficiência na utilização de nutrientes minerais é também encontrada entre cultivares e entre espécies, a qual expressa-se pelas diferenças genóticas. Na mesma ótica, PEARSON (1965) e MARSCHNER (1986), concluíram, que o desenvolvimento de uma cultura poderá ocorrer de acordo com as características genéticas da espécie, no entanto, podem ser modificadas pelos fatores ambientais, entre os quais, o ambiente físico e químico e, também, BALIGAR (1990), relatando, que, a redução na eficiência da fertilização está relacionada com as práticas agronômicas (métodos de cultivo, distribuição inadequada do fertilizante, época e método de aplicação, irrigação inadequada, etc.) e os cultivares.

Explicam, também, SANDER *et al.* (1990), que o método de fertilização, permite, algumas vezes, a penetração profunda das raízes no solo aumentando a absorção de água disponível e a eficiência da adubação com P, com o que,

concordam KLEPER e ANGHINONI (1991), acrescentando: a absorção de P pelo milho, está relacionada com o desenvolvimento das raízes e o volume de solo fertilizado. Conclusões que podem ser consideradas semelhantes aos resultados alcançados nesse trabalho, com o tratamento A₁.

Conseqüentemente, inferiu-se, que as plantas em comunidade competem entre si, pelo espaço aéreo para desenvolvimento de sua estrutura vegetativa e também competem pelo espaço subterrâneo, para desenvolvimento das raízes. A competição intra-solo, corresponde a capacidade das plantas absorver nutrientes, água e outros compostos orgânicos, principalmente em períodos de deficiência hídrica. Esta competição pode ser minorada quando fornecemos às plantas melhores condições para o desenvolvimento. Entre estas, as práticas de manejo da lavoura, a forma de fertilização e do manejo do solo adequados, podem estimular o desenvolvimento radicial, em maior volume de solo, possibilitando a busca dos nutrientes e água em posições de menor concentração de raízes, diminuindo a competição. Pontos de vista concordantes com os de ARNON (1974), onde complementa: enquanto os fertilizantes aplicados espaçadamente em faixas, favorecem o crescimento intensivo de finas e fibrosas raízes ao seu redor; a influência do desenvolvimento das raízes pelos fertilizantes, têm relevância na afinidade pela água na planta; o movimento de água em solo não saturado é limitado e baixo. Uma proliferação extensiva de raízes é essencial para capacitar a planta utilizar a umidade do solo efetivamente; e, onde a extensão do sistema radicial, também determina a profundidade de exploração e absorção das reservas de água e nutrientes armazenados no subsolo. Igualmente, MENGEL e KIRBY (1979), citam, que a vida das plantas e a fertilidade do solo estão intimamente interrelacionadas. Nesta relação, as raízes tem um importante papel nas funções de

absorção e translocação de nutrientes. MARSCHENER (1995), confirma estes argumentos, relatando, que a concentração de nutrientes em um local, poderá limitar o crescimento das plantas e que a distribuição de raízes no perfil do solo, pode ser modificada pelo modo de distribuição dos fertilizantes.

De acordo com as observações efetuadas por estes pesquisadores e os resultados alcançados nesse trabalho, conclui-se, que a resposta das plantas ao rendimento de grãos, entre outras variáveis, está associada ao crescimento radicial quantitativo, bem como, ao volume de solo, que pode apresentar condições físicas e químicas favoráveis e menos limitantes ao desenvolvimento das raízes. Supõem-se, que podem ser alteradas favoravelmente ou não, pelas práticas de manejo do solo para implantação das culturas. Motivo pelo qual, deve-se encontrar associação mais favorável, entre estas técnicas de manejo e os cultivares, para aumento do potencial de produtividade.

4.3. EFEITO DAS TÉCNICAS DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO/SUBSTRATO EM RIZOTRON

Nos Apêndices 14 e 15, são apresentados os resultados das análises nutricional e química das raízes, os quais, por falta de padrões, não puderam ser comparados. A única exceção, que esteve associada aos demais resultados, favoráveis ao tratamento A_1 , foi a maior porcentagem de resíduos minerais nas raízes, comparativamente aos outros tratamentos. É sabido que estes resíduos representam a quantidade de elementos minerais contidos num produto (alimento, substância,...). São representantes de uma forma de energia útil ou metabolizável disponível. Por outro lado, o tratamento A_3 , mostrou a maior porcentagem de

extratos não nitrogenados na análise nutricional. Ou seja, representa a quantidade de carboidratos, fonte de energia dos vegetais. Supostamente, poderia mostrar uma forma de reserva das plantas em condições de ser metabolizada e translocada para os pontos de demanda, quando necessária. Como componentes das raízes, também pode ser entendido como uma reserva não utilizada, devido o baixo consumo das estruturas vegetativas e reprodutivas, durante o período de atividade das plantas, uma vez que, estas eram menores, comparativamente, aos outros tratamentos e pelo desequilíbrio da relação fonte : demanda. MACHADO *et al.* (1992), explicam essas suposições relatando, que o excesso de material fotossintetizado e não utilizado para o crescimento de grãos é armazenado no colmo como reserva. Esta é reutilizada, quando a taxa de crescimento dos grãos excede a taxa de crescimento da cultura. Normalmente, plantas, que tem por algum motivo, limitado desenvolvimento de grãos, apresentam altos teores de sólidos solúveis no colmo, representando um desperdício de energia fixada no processo de fotossíntese. Nas demais variáveis, não observou-se nenhuma que apresentasse lógica nas análises, em face dos resultados.

4.3.1. EFEITO SOBRE OS COMPONENTES DO RENDIMENTO DE GRÃOS

Na Tabela 04 são apresentados os resultados dos componentes do rendimento e Rendimento Econômico (RE), bem como o cálculo do Índice de Colheita (IC). Observa-se em todas as variáveis analisadas, superioridade do tratamento A₁, seguido pelo tratamento A₂ e como resposta ao tratamento A₃, o pior resultado.

Observou-se, ainda, em relação ao número médio de espigas por planta, diferenças de 11% para o tratamento A_2 e de 33% para o tratamento A_3 , inferiores ao tratamento A_1 . Em relação a MF e MS de espigas, as diferenças, na mesma ordem de tratamentos, foram: 4% e 7% para o tratamento A_2 e, 29% e 30% para o tratamento A_3 , inferiores ao tratamento A_1 . Em relação ao RE a 13% de umidade nos grãos, as diferenças foram de 11% e 35%, respectivamente, comparadas com os tratamentos A_2 e A_3 . O IC foi de 0,44, para o tratamento A_1 , 0,42 para o tratamento A_2 e 0,39 para o tratamento A_3 . A estimativa do rendimento de grãos, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 50.000 plantas por hectare, com base no RE a 13% de umidade, foi de 8.250, 7.350 e 5.400 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, para os tratamentos A_1 , A_2 e A_3 . Resposta aproximada a esta, também foi verificada no experimento de campo (Tabela 02), onde o tratamento A_1 , mostrou-se significativamente superior (6.537 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) aos tratamentos A_2 (5.667 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e o A_3 (5.558 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), que não diferiram entre si.

A maior diferença encontrada no trabalho em Rizotron, provavelmente, ocorreu pelo fato de representar a resposta de apenas um cultivar de milho, o AG 303. Enquanto que, a campo, o rendimento representou a média de quatro cultivares, diluindo as diferentes respostas genotípicas aos tratamentos. No entanto, na Tabela 03, pode-se verificar, que a melhor interação, cultivar X técnica de fertilização a campo, era encontrada entre C_1 - AG 303, com a técnica A_1 - fertilizante aplicado a lanço e incorporado com arado de aivecas a 26 cm de profundidade, apresentando o rendimento médio de 7.131 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esse resultado mostra melhor relação entre as duas pesquisas, comprovando a melhor eficiência desse tratamento. Por outro lado, também na Tabela 03, podemos observar que o pior tratamento, o A_3 , apresentou a menor média, bem como o pior resultado individual, 4.454 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ou seja, a campo, o rendimento médio do tratamento A_3 em

relação ao A_1 , era de 62,45% enquanto que, em Rizotron, era de 65,45%, expressando uma certa eqüivalência. Resultados semelhantes foram encontrados por SANCHEZ e MATA (1972), onde verificaram diferenças significativas nas fontes e métodos de fertilização com fósforo, induzindo ao aumento do rendimento em amendoim, comparativamente, à aplicação do P no solo a lanço e incorporado com arado de aivecas com a distribuição em faixa superficial em $0,84 \text{ t.ha}^{-1}$ e em faixa enterrada, $0,39 \text{ t.ha}^{-1}$.

Igualmente, ALDRICH *et al.* (1975), verificaram, que pequena ou moderada quantidade e nutrientes próximo a linha de cultivo, diminuía o rendimento de milho, o que foi verificado nesse trabalho no tratamento A_3 . Por outro lado, YOST *et al.* (1979), concluíram, para doses baixas de P, a aplicação em sulcos tendia ser mais eficiente, especialmente em solos pobres, pois mantinham uma zona de alta concentração de fósforo próximo as raízes. Igualmente, HALVORSON e BLACK (1981-1982), citam: quando a quantidade de fertilizante fosfatado é inadequada para corrigir a deficiência, a aplicação em faixa, juntamente com a semente, pode ser o método mais eficiente. Resultados semelhantes foram encontrados por RANDALL e HOEFT (1988), onde concluíram, que em baixos níveis de fertilidade dos solos, o rendimento de milho obtido pela distribuição em faixas (5 x 5 cm) era raramente ultrapassado por outros métodos de fertilização - faixa superficial, faixa profunda (15 x 20 cm) e aplicação a lanço sem incorporação. e, em publicação do IAPAR (1991), consta, que a adubação com P em dose total, deve ser aplicada nos sulcos por ocasião da semeadura, preferencialmente, para fosfatos de maior solubilidade e em solos com baixo nível de fósforo. São conclusões que representam exceções, em comparação com os resultados alcançados nesse trabalho e da maioria dos pesquisadores consultados.

Tabela 04. Componentes do rendimento, rendimento biológico e econômico; índice de colheita e do rendimento de grãos estimado, de um cultivar de milho, submetido a três técnicas de fertilização do solo/substrato em RIZOTRON. SCA/UFPR. 1995.

VARIÁVEL ⇒	ESPIGA/PL ¹		RENDIMENTO BIOLÓGICO						PESO ESPIGAS						RENDIMENTO ECONÔMICO						50.000 PLS. ESTIMADO	
	(m) ²		(g/6 plantas) ³						(g/6 plantas)						(g/6 plantas)							
TRATAM ⁴ ↓	n ⁰	%	M.F. ⁴	m/pl ⁵	%	M.S. ⁶	m/pl	%	M.F.	m/pl	%	M.S.	m/pl	%	13% U ⁷	m/pl	%	M.S.	m/pl	%	IC ⁸	kg/ha(13%U)
A ₁	1,50	100	3.362	560	100	1.797	299	100	1.522	254	100	911	152	100	989	165	100	799	133	100	0,44	8.250
A ₂	1,33	89	3.284	547	98	1.710	285	95	1.458	243	96	851	142	93	882	147	89	712	119	89	0,42	7.350
A ₃	1,00	67	2.359	393	70	1.329	221	74	1.078	180	71	638	106	70	651	108	65	526	88	66	0,39	5.400

* A₁ = Fertilização a lanço e incorporação com arado de aivecas a 26 cm de profundidade

A₂ = Fertilização em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilização em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

ABREVIATURAS: ¹PL = planta; ²m = média; ³g = grama; ⁴M.F.= massa fresca; ⁵m/pl = média/planta; ⁶M.S.= massa seca; ⁷U = umidade; ⁸IC = índice de colheita

JUNG e BARBER (1975), explicam, que a maior resposta do P, pela aplicação a lanço, pode ser devido a maior uniformidade e a disponibilidade do P no volume do solo. Mesmo considerando sua fixação, a colocação deste nutriente, onde somente uma porção das raízes possa entrar em contato com ele, pode não ser tão efetiva, comparativamente, quando todas as raízes entram em contato com o fertilizante. CASTILHOS *et al.* (1981), contradizem estas conclusões, relatando, que nas adubações de manutenção, realizadas em solos com alta disponibilidade de fósforo, a eficiência das aplicações a lanço ou no sulco se equívalem. MALAVOLTA e USHERWOOD (1982), verificaram, quando o P era uniformemente misturado ao solo, tendia reduzir a área superficial das raízes, aumentando a absorção pela planta. MUZZILLI *et al.* (1982) e GOEDERT e LOBATO (1984), também se referindo a esta prática, concluíram: as adubações com fosfatos naturais no sulco de plantio, não proporcionam boa resposta ao milho, no entanto, citam também, que o conceito de adubação correta para o fósforo também pode ser aplicado para o potássio, afirmando que a aplicação nos sulcos de plantio é importante em solos deficientes e em pequenas doses pois, a aplicação localizada, permite manter maior concentração do nutriente próximo as raízes. Igualmente, BARBER (1977)¹, citado por BARBER (1984), comparando a aplicação na superfície a lanço com aplicação na linha de cultivo, obteve média de 6.770 kg.ha⁻¹ para aplicação nas linhas; 7,275 kg.ha⁻¹ para aplicação a lanço e 7.210 kg.ha⁻¹, quando metade era aplicado nas linhas e metade a lanço; e, em (1984), aplicando P e K a lanço na superfície e em faixas laterais (10 cm da linha) e em linhas, durante cinco anos, encontrou melhor resultado com o tratamento em faixa (10 cm da linha de semeadura), seguido pelo

¹ BARBER, S. A. Placement of phosphate and potassium for increased efficiency. *Solutions*. 21: p. 24-25. 1977.

tratamento a lanço superficial e como pior tratamento, a fertilização na linha de semeadura, os quais foram acompanhados pelos níveis de absorção dos nutrientes. GOEDERT e SOUZA (1986)², citado por CANTARELLA (1993), concluíram, que para doses maiores de P pode haver uma vantagem da aplicação a lanço. Devido os resultados desses autores serem semelhantes aos encontrados nesse trabalho, pode-se avaliar suas conclusões.

Apesar das divergências entre resultados, há concordância entre a maioria dos autores, que a recomendação feita por CANTARELLA (1993), quando o P é o elemento limitante (teores “baixos” ou “muito baixos”), que a adubação corretiva em área total e incorporação antes do plantio, tem o objetivo de aumentar o potencial produtivo da cultura.

Dentro da mesma linha de pesquisa, EGHBALL e SANDER (1978) verificaram, que o N também pode ser melhor aproveitado pela planta de milho, quando é aumentada a largura da faixa de aplicação. Há citações semelhantes de MALAVOLTA e USHERWOOD (1982) e MALAVOLTA (1984). Estes autores (1982), recomendam, que a adubação potássica corretiva deve ser distribuída a lanço na superfície e incorporada mediante aração e gradeação, até a profundidade ocupada pelas raízes, 20 a 30 cm. Desse modo, consegue-se uma camada enriquecida com potássio mais ou menos uniforme, e as raízes que aí se desenvolverem, terão acesso mais facilitado ao K, graças a difusão. Em trabalho com fertilizantes potássicos, CLAASSEN e BARBER (1977), citam, que a proporção de raízes que deve ser suprida com K, para suportar o máximo crescimento do milho dos sete aos 17 dias, é de aproximadamente 50% do total, para obtenção do rendimento máximo.

² GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES; SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1986. ANAIS. São Paulo: MANAH S.A., 1986. p. 22 - 53.

Já, DRAGOVIC *et al.* (1988), em trabalho de adubação com N, P, K, constataram, que o tratamento de aração profunda (30 cm) e de subsolagem com e sem aração, produziam maiores rendimentos, comparativamente, ao preparo superficial (20 cm) ou de subsolagem exclusiva. Igualmente, RAIJ, van, (1991), verificou, que a aração a 30 cm de profundidade aumentava o rendimento de grãos de milho comparativamente, ao preparo do solo superficial. AHMED *et al.* (1992), também concluíram, que a eficiência na absorção do N em cana-de-açúcar era maior, quando distribuído próximo a zona radicial (10 a 15 cm de profundidade), comparativamente, a aplicação de superfície. MIELE e PALMERINI (1989), em cinco anos de pesquisa, constataram maior rendimento médio de grãos ($12,05 \text{ t.ha}^{-1}$) com a maior quantidade de N, P, K aplicada a lanço, comparativamente, a outros tratamentos. Enquanto OKALEBO *et al.* (1990), utilizando três fertilizantes fosfatados, apesar de não terem verificado significância estatística, constataram, médias de rendimento de $1,64$ e $3,25 \text{ t.ha}^{-1}$ para o milho e $2,17$ e $2,97 \text{ t.ha}^{-1}$ para o sorgo, respectivamente, para os tratamentos de aplicação em faixa e a lanço.

Pode-se verificar, que estes pesquisadores, mesmo trabalhando com elementos isolados ou com fertilizantes compostos, encontraram muitos resultados semelhantes aos dessa pesquisa, com vantagem favorável à aplicação do fertilizante a lanço e incorporado, principalmente, quando à maior profundidade, bem como, concluíram, quando o fertilizante era distribuído próximo as raízes ou quando a maior proporção destas, são supridas com nutrientes, as plantas apresentavam melhor eficiência produtiva.

4.3.2. EFEITO SOBRE A MASSA FRESCA (MF) E MASSA SECA (MS)

a) EFEITO SOBRE A MF E MS DA ESTRUTURA AÉREA

Em análise a estas variáveis (Tabela 04), verifica-se que o RB em MF e MS, foram superiores no tratamento A₁, comparativamente, ao tratamento A₃, em 30% e 26% respectivamente, e o tratamento A₂ em relação ao A₃, em 28% e 21% respectivamente. Ou seja, o tratamento de fertilização, em sulcos a 7 cm de profundidade, era o pior tratamento em comparação aos tratamentos A₁ e A₂, os quais mostraram pequena diferença entre si.

Esses resultados, se assemelham aos de STRYKER *et al.*(1974), em experimento de milho em solução nutritiva, com metodologia de subdivisão de raízes fertilizadas, onde observaram a máxima acumulação de MS, quando todas as raízes eram supridas com fósforo. ANGHINONI e BARBER (1980a), também verificaram, que a redução do número de raízes em contato com o fertilizante, diminuía a absorção pela planta e o peso da planta. Igualmente, NOORDWIJK, van, *et al.* (1985), concluem, que o comprimento total do sistema radicial por planta, é importante, como integrante das possibilidades de absorção das raízes, ou reflexo na distribuição da MS sobre o caule e raízes e, JOHNSTON e FOWLER (1991) observaram, que a distribuição de uréia a lanço antecipadamente, aumentava a produção de MS de trigo em 85% e também a resposta ao rendimento, comparativamente, as aplicações em faixa superficial aplicada manualmente ou mecanicamente. Por outro lado, NAUMKIN *et al.* (1991), em três anos de cultivo de milho em adubação com N, P, K + manejo de adubação verde + palha de trigo incorporada, verificaram que, o tratamento que produzia maior rendimento de massa

verde, era o da aração (79,25 a 79,97 t.ha⁻¹) comparado com o de grade aradora e cultivo superficial (74,60 a 76,79 t.ha⁻¹). Igualmente, para MS, foi de 58,78 t.ha⁻¹ com aração; 52,36 com o tratamento de grade aradora e 52,27 t.ha⁻¹ com cultivo superficial. Ainda, CHEN e MACKENZIE (1993), distribuindo a uréia em milho, verificaram, que a distribuição deste fertilizante a lanço, resultava em maior quantidade de MS e absorção de N, do que, quando era distribuída em faixa.

Resultados semelhantes foram obtidos nesse experimento, onde foi observada relação diretamente proporcional entre comprimento e massa (peso) de raízes (Tabela 05) com o RB da parte aérea das plantas e o RE (Tabela 04). Esta condição, também poderia ter favorecido a absorção de água e dos nutrientes por outros processos - fluxo de massa e difusão, se refletindo em aumento do porte da planta e, na maior intercepção da radiação fotossinteticamente ativa, Conseqüentemente, gerando aumento da produção de fotossintetizados, com reflexos positivos no RB e RE, comprovando resultados de DRAKE e STEWART (1950), onde concluíram, que a distribuição do sistema radicial mais equilibradamente, pela fertilização a lanço e incorporada com grade, proporcionava o uso mais adequado da água disponível no solo. Igualmente, CLARKSON (1985), relatando, que a fertilização do solo algumas vezes, pode permitir a penetração profunda das raízes e estas aumentarem a absorção da água disponível.

Estes resultados permitem inferir, que a influência das técnicas de manejo do solo, associadas ao uso do fertilizante, de modo apropriado, promove maior desenvolvimento vegetativo às plantas, comprovados pela maior MF e MS, com reflexo sobre o rendimento de grãos, como conseqüência do desenvolvimento da maior quantidade de raízes encontrada no tratamento A₁.

b) EFEITO SOBRE A MF E MS DE RAÍZES

Na avaliação do desenvolvimento das raízes do milho em Rizotron (Tabela 05), avaliado em MF e MS, os resultados comparativos no experimento, representaram: 48 % e 43 % da MF e 45 % e 37 % da MS, para os tratamentos A₂ e A₃, respectivamente, quando comparados ao tratamento A₁ - fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade. Os resultados alcançados sobre o RE e RB (Tabela 04), obtidos em Rizotron pode-se estender àqueles verificados a campo.

Tabela 05. Características radiciais de um cultivar de milho submetido a três técnicas de fertilização do solo/substrato em Rizotron. SCA/UFPR. 1995.

VARIÁVEIS ⇒ TRATAMENTO* ↓	RAÍZES (6 plantas)								
	M.F. ¹	m/pl ²	%	M.S. ³	m/pl	%	cm	m/pl	%
A ₁	357	59,5	100	237	39,5	100	41.181	6.863,50	100
A ₂	173	28,8	48	107	17,8	45	28.593	4.765,50	69
A ₃	153	25,5	43	89	14,8	37	26.634	4.439,00	65

* A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

ABREVIATURAS: ¹ M.F. = massa fresca; ² m/pl = média/planta; ³ M.S. = massa seca em gramas

Dentro desta ótica, temos, na literatura, pesquisas, onde diversos autores, mesmo trabalhando com técnicas diferentes e com nutrientes específicos, obtiveram conclusões semelhantes. ANGHINONI e BARBER (1980a), concluíram, que o crescimento de raízes era afetado pelo suprimento de fósforo e restringindo a quantidade de raízes supridas com esse elemento, ocorria a redução no peso e na concentração de P na planta. Verificaram ainda, que a redução de raízes em contato com o fertilizante, diminuía a absorção pela planta, reduzia o peso da planta

e o peso de raízes, mas não tinha efeito sobre o comprimento de raízes, resultados que discordam, em parte, desses encontrados nessa pesquisa, uma vez que, verificou-se maior crescimento radicial no tratamento A₁. Por outro lado, NOORDWIJK, van, *et al.* (1985), citam, que o comprimento de raízes por volume de solo, pode ser usado teoricamente para estimar parte do recurso potencial disponível (água e nutrientes) para o sistema radicial, nas taxas requeridas e concluíram: o comprimento total do sistema radicial por planta é importante como integrante das possibilidades de absorção das raízes ou reflexo da distribuição da MS sobre o caule e raízes e, SILVA *et al.* (1993), trabalhando em milho, com o método de subdivisão de raízes, observaram, que o efeito da localização do P e Ca influenciava o desenvolvimento de raízes e, a distribuição homogênea de fósforo no solo, contribuía para o aumento do peso das raízes. Igualmente, SCHORODER *et al.* (1994), observaram, em Rizotron, que o milho quando suplementado com quantidade limitada de N mineral no solo, nas proximidades das linhas de cultivo, promovia pequena extensão de raízes e fracos gradientes.

Os melhores resultados alcançados a campo, com o tratamento A₁ - fertilização a lanço e incorporado a profundidade de 26 cm, pressupõem-se, ter sido consequência do melhor aproveitamento do fertilizante, posicionado em local mais favorável. Porquanto, os nutrientes e a água, poderiam ser absorvidos de forma mais apropriada às exigências das plantas de milho, proporcionando melhor equilíbrio metabólico e adequando-o às funções fisiológicas da planta, com reflexo no aumento da MF e MS das plantas e no rendimento de grãos.

c) EFEITO SOBRE A MORFOLOGIA AÉREA

Na tabela 06 são apresentados os resultados das avaliações das características morfológicas aéreas das plantas, para as três técnicas de fertilização. No Apêndice 16, em escala reduzida, podem ser vistas as características fenotípicas das plantas, relativas aos tratamentos.

Pode-se verificar, em todas as variáveis analisadas, a superioridade do tratamento A₁, seguido pelo tratamento A₂ e como pior tratamento, o A₃.

Em relação as características morfológicas aéreas, as diferenças entre os tratamentos A₁ e A₂, foram pequenas, mas comparativamente, o tratamento A₁ com

Tabela 06. Características morfológicas de um cultivar de milho submetido a três técnicas de fertilização do solo/substrato em RIZOTRON. SCA/UFPR. 1995.

VARIÁVEL ⇒ TRATAMENTO* ↓	ESTATURA MÉDIA PLANTA		PTO. MÉDIO INSERÇ. 1ª ESPIGA		DIAM. MÉDIO COLMO	
	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(mm)	(%)
A ₁	200,3	100	96,33	100	21,00	100
A ₂	193,5	97	85,00	88	20,50	98
A ₃	159,0	79	66,83	69	18,42	88

* A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

o A₃, a menor diferença (12%), se verificou entre a média das medidas do diâmetro do colmo; com o ponto médio de inserção da primeira espiga, foi de 31% e com a estatura média de planta, foi de 21%, mostrando haver influência da forma de fertilização do solo/substrato sobre o desenvolvimento aéreo das plantas. Verificou-se, quando o fertilizante não era distribuído de forma concentrada (em covas ou sulco), mas de forma homogênea e, a maior profundidade, proporcionava maior

desenvolvimento das plantas (Apêndice 22). Pode-se inferir também, para essas características analisadas, que a profundidade de colocação do fertilizante é muito importante, pois a posição no fundo das covas a 13 cm, apesar de ser mais concentrado, resultava no maior desenvolvimento das plantas, comparativamente, ao tratamento A_3 - em sulcos a 7 cm, uma vez que, a distância do fertilizante e a semente era maior para o tratamento A_2 (10 cm), enquanto para o tratamento A_3 era de 4 cm. Como já comentado na discussão do experimento de campo, não encontramos, na bibliografia consultada, nenhuma informação semelhante que nos permitisse comparações dos resultados com estas variáveis analisadas.

d) EFEITOS SOBRE A MORFOLOGIA RADICAL

Para melhor entendimento, a discussão dos resultados dessa variável será efetuada em três tópicos:

d.1. conforme as épocas de leitura do crescimento de raízes, em estratos do perfil do solo/substrato, nas três técnicas de fertilização (Figuras 05 a 20);

d.2. pelo somatório das medidas do crescimento de todas as raízes em todas as épocas de leitura, relacionadas por estratos de perfil do solo/substrato, nas três técnicas de fertilização (Figura 21); e

d.3. pelo somatório do comprimento de todas as raízes do perfil do solo/substrato, à cada época de leitura, nas três técnicas de fertilização (Figura 22).

d.1. NAS ÉPOCAS DE LEITURA DO CRESCIMENTO

d.1.a. PRIMEIRA ÉPOCA DE LEITURA

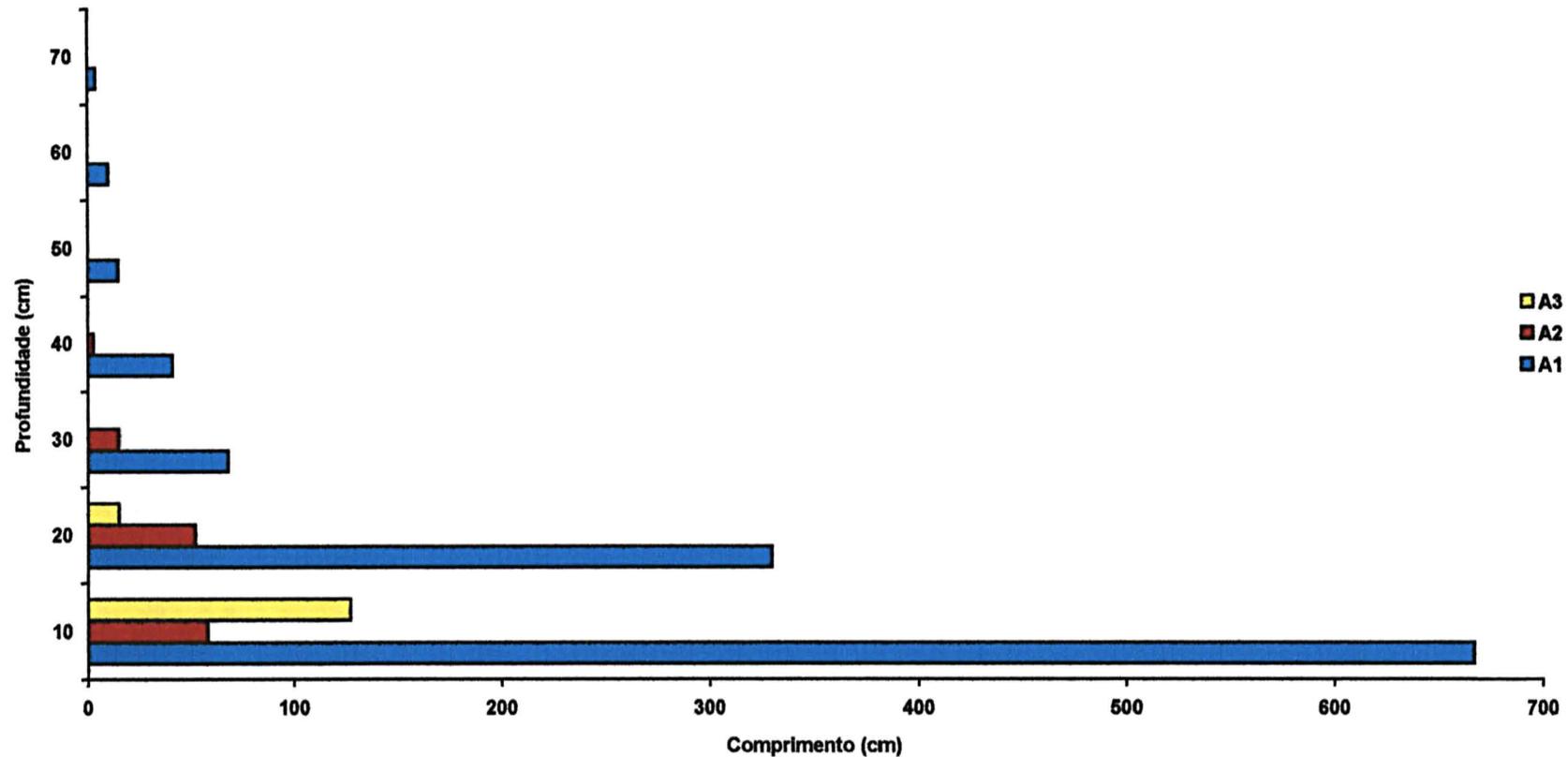
Na Figura 05, são apresentadas as medidas do crescimento de raízes aos seis dias após a semeadura (emergência total das plantas) onde, o tratamento A₁ proporcionou melhores condições para o crescimento, aprofundando-se até 70 cm no perfil, enquanto que, no tratamento A₂ aprofundava-se até 40 cm e no tratamento A₃, apenas, até 20 cm do perfil.

Os valores em centímetros, foram, em média por planta, de 189,17 cm para o tratamento A₁; 21,33 cm para o tratamento A₂ e, 23,16 cm para o tratamento A₃, respectivamente. Isso ocorreu, presumivelmente, porque havia inibição do crescimento das raízes, devido a concentração superficial do fertilizante N, P, K (7 cm) no tratamento A₃, seguido do A₂ aos 12 cm de profundidade. Explica-se, também, porque ocorria maior concentração de raízes na camada superficial do solo (10 cm), mostrando relação direta entre profundidade de fertilização X profundidade de raízes

d.1.b. SEGUNDA ÉPOCA DE LEITURA

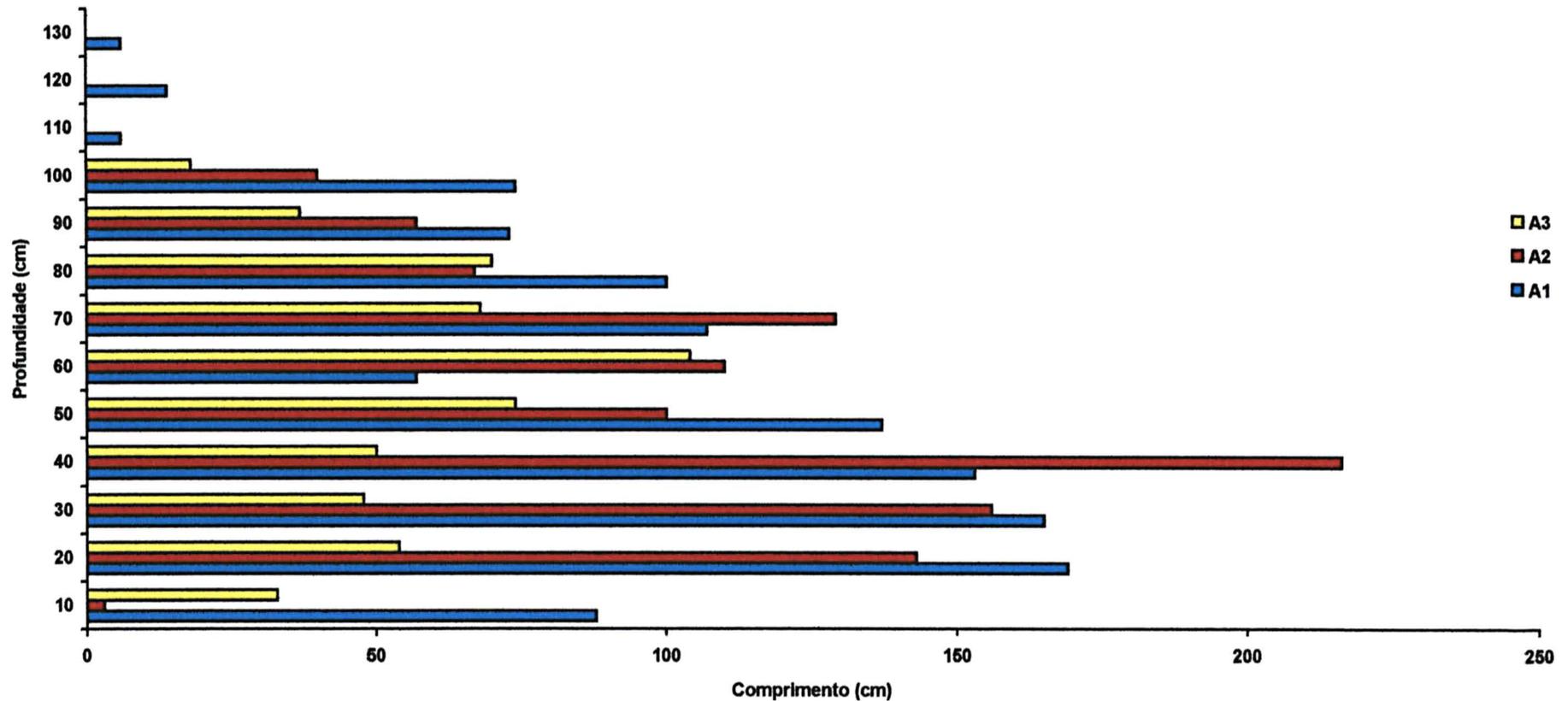
Na Figura 06, pode-se observar as medidas do crescimento de raízes aos sete dias após a emergência de plantas, onde o tratamento A₁ ofereceu as melhores condições para o crescimento das raízes, alcançando 130 cm de profundidade, seguido pelos tratamentos A₂ e, o A₃, que alcançaram 100 cm de profundidade.

Figura 05. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na primeira época de leitura (emergência plena das plantas), seis dias após a semeadura, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



- A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Figura 06. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na segunda época de leitura, sete dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogêneo ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

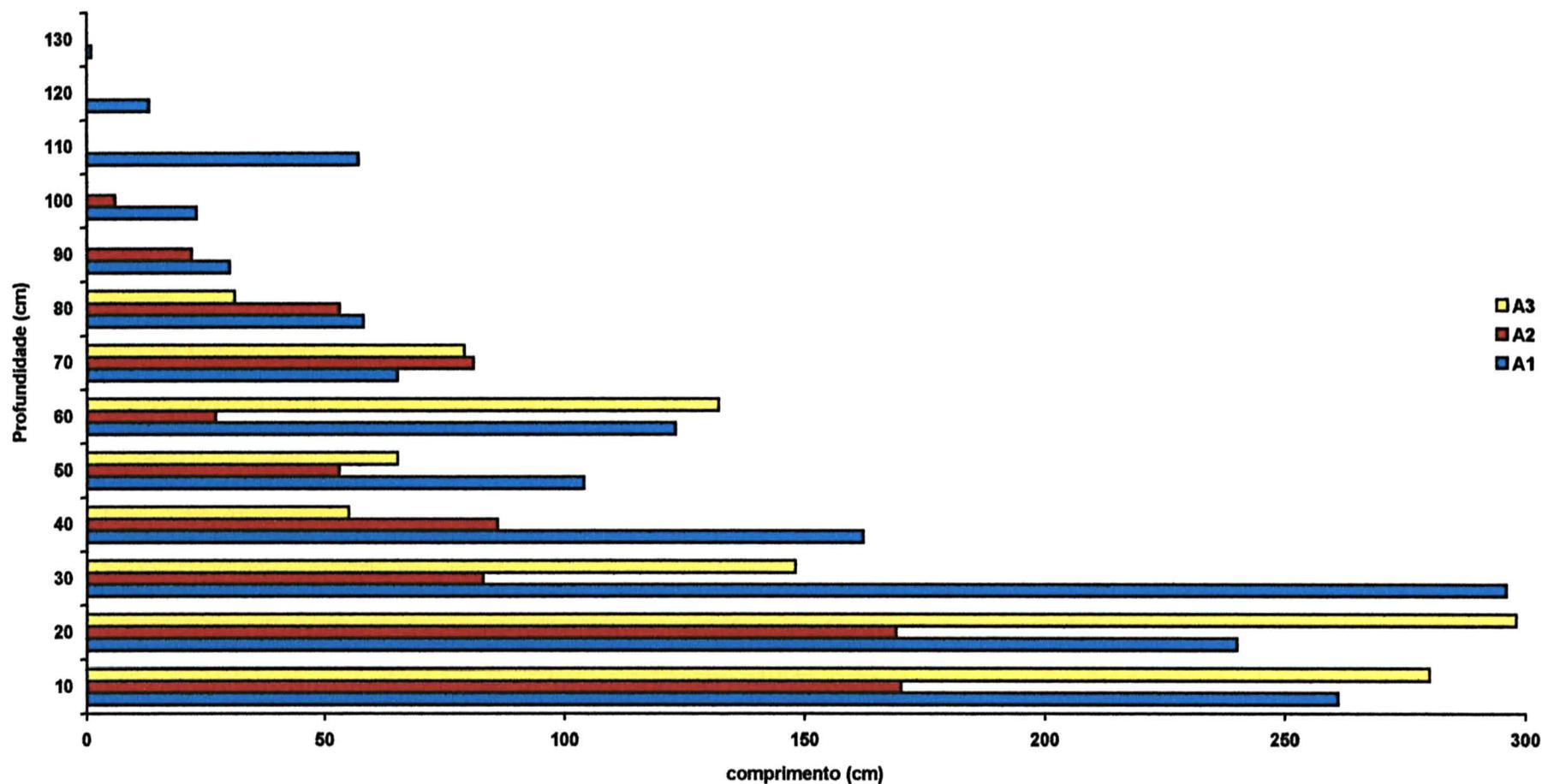
Os valores quantitativos, em centímetros, foram, em média por planta, de 189,83 cm para o tratamento A₁; 168,50 cm para o tratamento A₂ e 92,67 cm para o A₃. Podemos inferir, que, a concentração superficial do fertilizante continuava exercer efeito inibitório ao crescimento, inclusive, com a constatação do tratamento A₃ mostrar efeito mais prejudicial, pela concentração superficial (7 cm) do fertilizante. Verificou-se maior medida de comprimento no tratamento A₂, aos 40 cm de profundidade, alcançando 216,00 cm em 6 plantas, enquanto o tratamento A₁, proporcionava melhor distribuição das raízes no perfil.

d.1.c. TERCEIRA ÉPOCA DE LEITURA

Na figura 07, observa-se as medidas do crescimento de raízes aos 14 dias após a emergência, onde o tratamento A₁ continuava exercer as melhores condições para o crescimento das raízes, alcançando 130 cm de profundidade, seguido pelos tratamentos A₂, com 100 cm e do A₃, que chegava apenas aos 80 cm de profundidade.

Os valores médios por planta, foram de 238,00 cm; 125,00 cm e 181,33 cm, respectivamente, para os tratamentos A₁, A₂ e A₃. Verificou-se maior concentração do crescimento radicial até 30 cm do perfil e uma relação inversamente proporcional entre crescimento X profundidade. Observou-se, nessa época, diminuição dos efeitos inibitórios do fertilizante nas camadas superficiais (até 20 cm de profundidade), verificado, até então, no tratamento A₃, enquanto que, para o tratamento A₂, continuava manifestar-se em todas as profundidades.

Figura 07. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na terceira época de leitura, quatorze dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

d.1.d. QUARTA ÉPOCA DE LEITURA

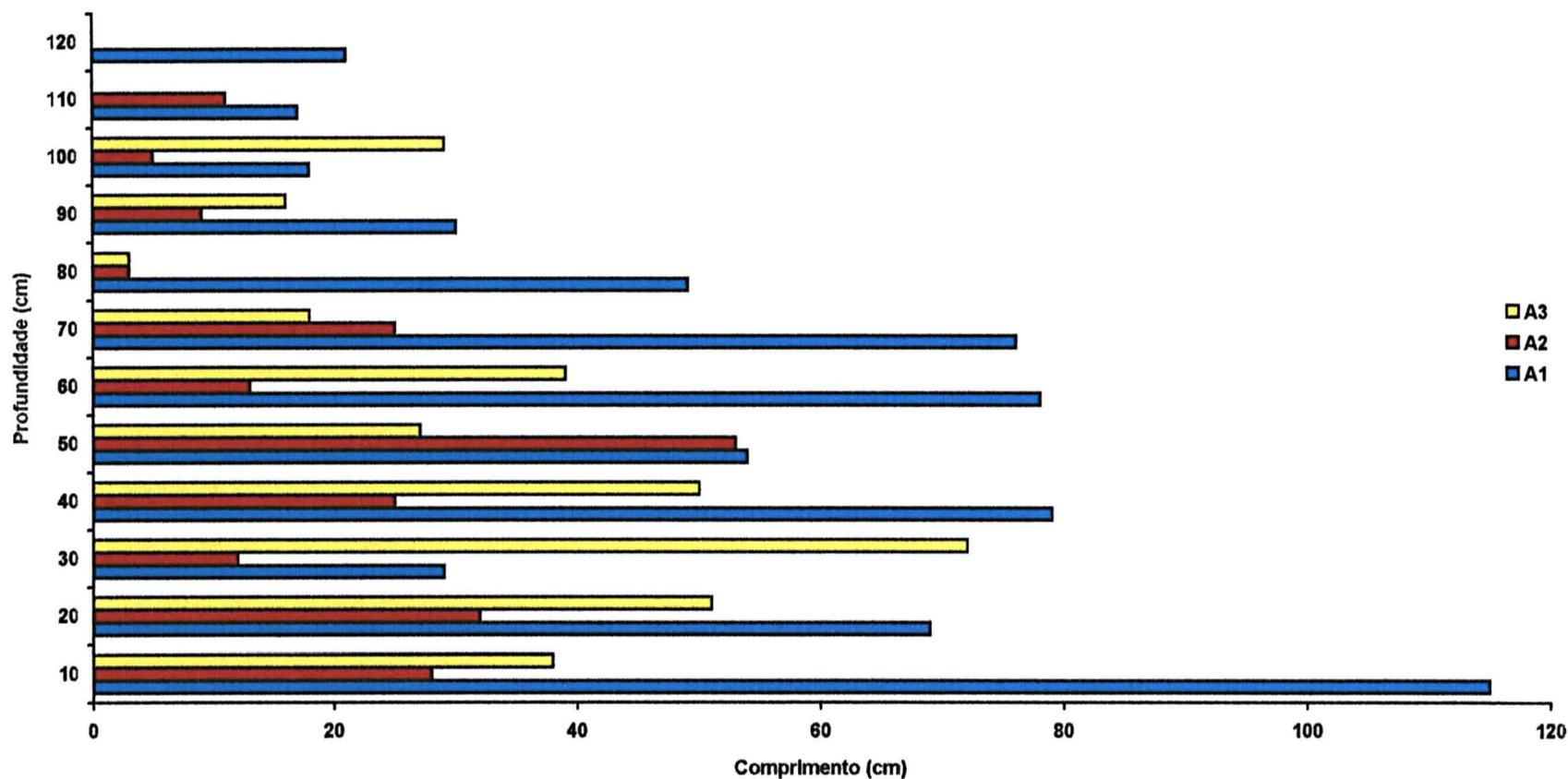
Na Figura 08, observa-se medidas do crescimento de raízes aos 21 dias após a emergência de plantas, onde o tratamento A_1 continuava apresentando melhores condições para maior aprofundamento das raízes, com média por planta de 105,83 cm, seguido pelo tratamento A_3 , 56,50 cm e o tratamento A_2 , 37,00 cm por planta. Para o tratamento A_1 , a maior concentração do crescimento ocorreu até 10 cm de profundidade, enquanto que, no tratamento A_2 , até 50 cm e no tratamento A_3 , até 30 cm. Houve tendência para crescimento inversamente proporcional a profundidade, em todos os tratamentos e, maior concentração de raízes até os 70 cm de profundidade. Além disso, o tratamento A_1 mostrou maior homogeneidade de crescimento de raízes no perfil.

d.1.e. QUINTA ÉPOCA DE LEITURA

Na figura 09, encontra-se as medidas do comprimento de raízes aos 28 dias após emergência das plantas, onde o tratamento A_1 continuava exercendo melhores condições para aprofundamento das raízes no perfil, atingindo 140 cm de profundidade, enquanto os outros dois tratamentos, proporcionavam aumento até os 110 cm do perfil.

Nessa época, o crescimento quantitativo era maior no tratamento A_3 , com a média por planta de 319,83 cm, seguido pelos tratamentos A_1 , com média de 257,67 cm por planta e pelo A_2 , com média de 236,50 cm. Observou-se tendência do crescimento de forma inversamente proporcional a profundidade do perfil e com

Figura 08. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na quarta época de leitura, vinte e um dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA. 1995.

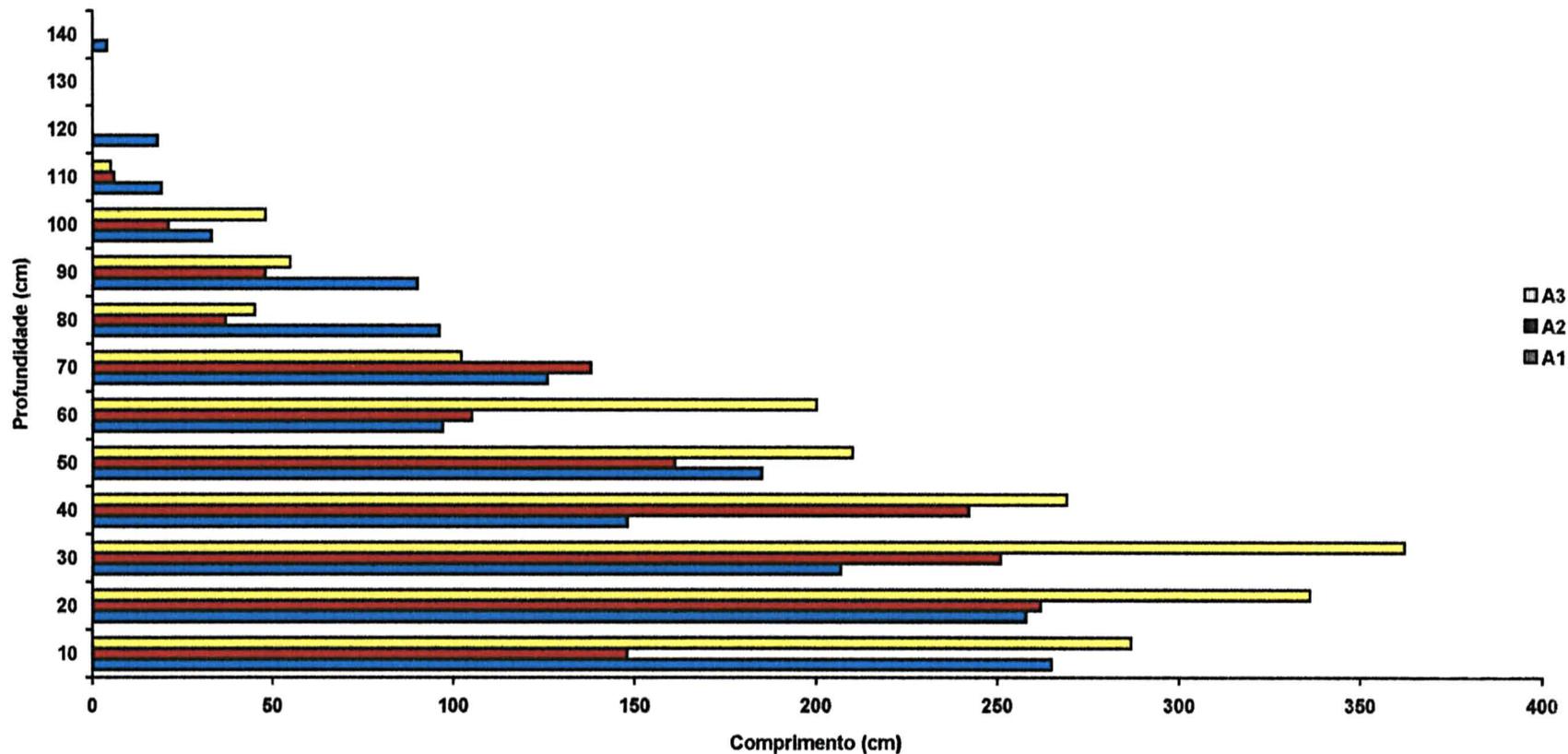


A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Figura 09. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na quinta época de leitura, vinte e oito dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

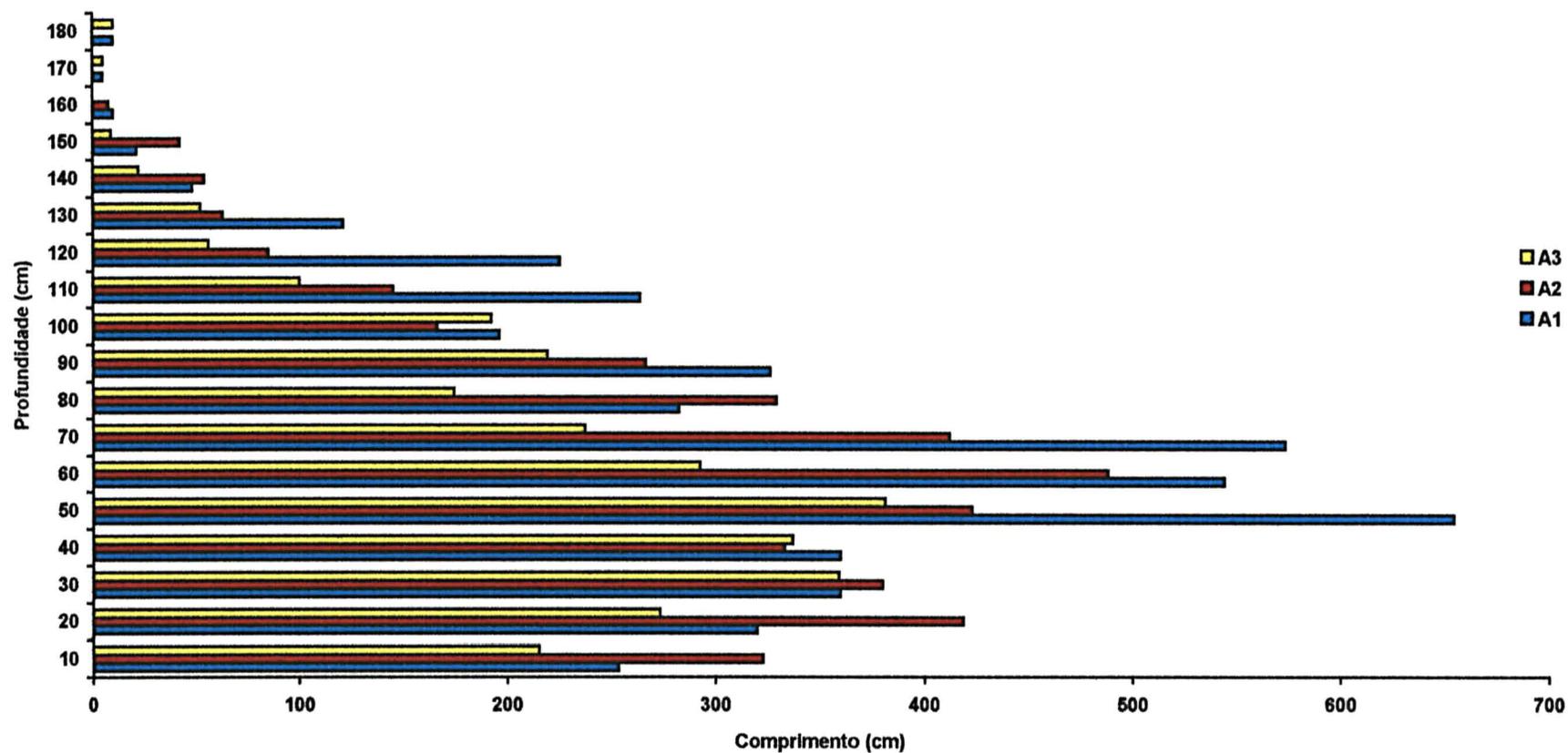
concentração do crescimento até os 70 cm de profundidade. A maior concentração do crescimento verificou-se aos 30 cm de profundidade para o tratamento A₃. Podemos também deduzir, que as plantas de milho procuram compensar a inibição de crescimento ocorrida em épocas anteriores, uma vez que o efeito salino diminuía, pela solubilização e lixiviação às camadas inferiores, diminuindo a concentração superficial, além da possível adaptação da planta ao meio.

d.1.f. SEXTA ÉPOCA DE LEITURA

A sexta época de leitura, realizada aos 35 dias após emergência das plantas (Figura 10), mostrou crescimento semelhante entre os tratamentos. Verificou-se, que as raízes aprofundaram-se até 180 cm nos tratamentos A₁ e A₃, enquanto que, no tratamento A₂, observava-se crescimento de raízes até 160 cm de profundidade.

Nessa época, o crescimento radicial quantitativo era, em média, de 761,83 cm por planta, para o tratamento A₁; 656,00 cm por planta, para o tratamento A₂ e 493,80 cm por planta, para o tratamento A₃. Houve maior concentração do crescimento até os 100 cm de profundidade, principalmente, entre 50 a 70 cm, para os tratamentos A₁ e A₂. Apesar das plantas continuarem mostrando tendência de crescimento das raízes inversamente proporcional a profundidade, começou manifestar-se alteração desta linearidade, com picos de crescimento entre 50 a 70 cm de profundidade.

Figura 10. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na sexta época de leitura, trinta e cinco dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

d.1.g. SÉTIMA ÉPOCA DE LEITURA

Nessa época de leitura, efetuada aos 42 dias da emergência de plantas (Figura 11), o tratamento A₃ influenciou as plantas a desenvolverem raízes à maior profundidade - 190 cm, talvez pelo carreamento de nutrientes às camadas inferiores do perfil, enquanto que, no tratamento A₁, as raízes se aprofundavam até os 160 cm e no tratamento A₂, até os 150 cm de profundidade.

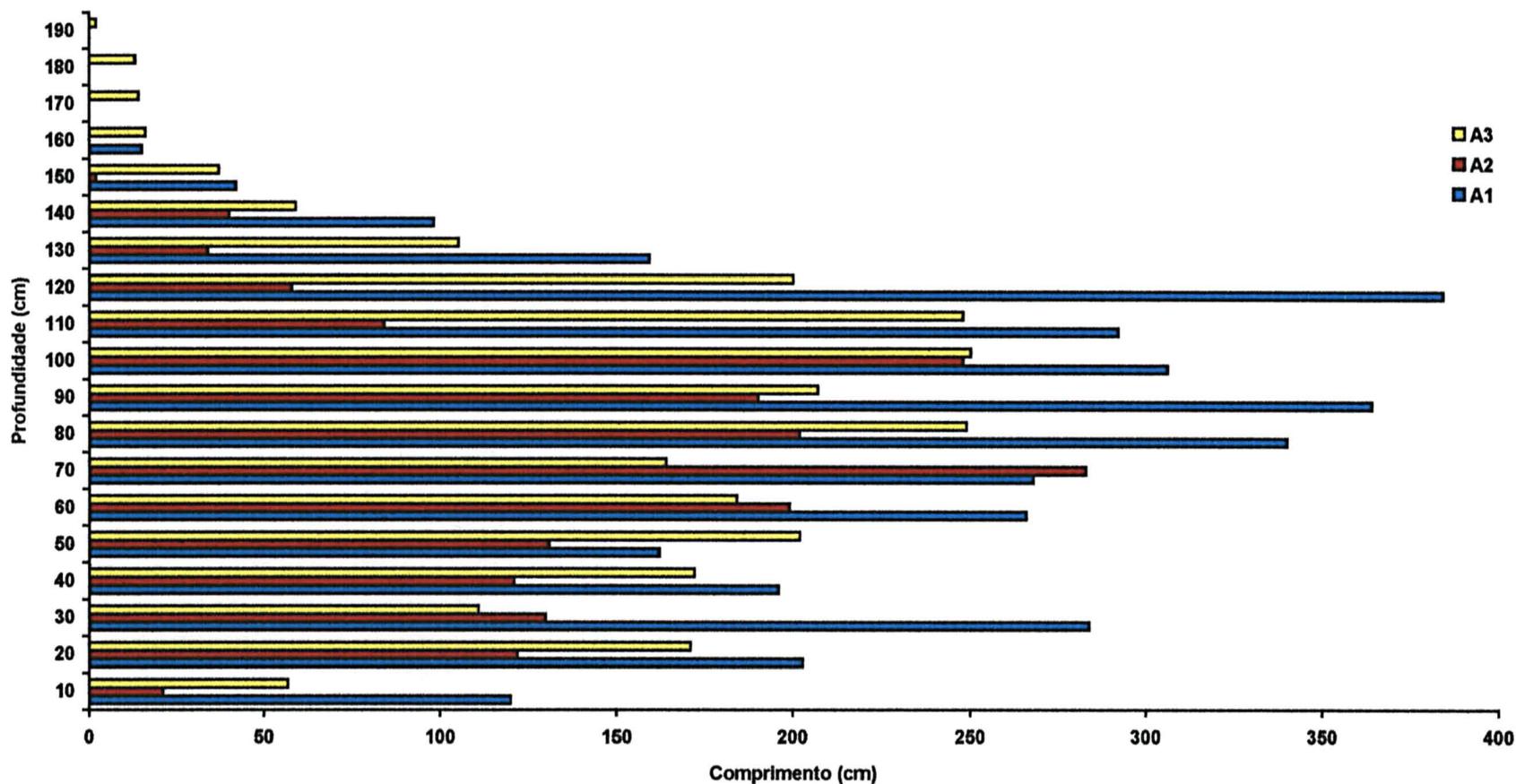
No entanto, o maior crescimento quantitativo médio por planta ocorria com aplicação do tratamento A₁, 583,17 cm, seguido pelo tratamento A₃, 403,67 cm e, pelo tratamento A₂, 310,83 cm. A tendência de crescimento foi curvilínea, havendo maior concentração do crescimento, entre 60 a 120 cm de profundidade, principalmente aos tratamentos A₁ e A₃, enquanto, para o tratamento A₂, houve maior pronunciamento, entre 60 a 100 cm de profundidade.

d.1.h. OITAVA ÉPOCA DE LEITURA

Essa leitura, foi efetuada aos 51 dias após emergência das plantas (Figura 12) onde o tratamento A₃, mostrou crescimento de raízes até 200 cm de profundidade, enquanto que, os outros tratamentos, exerciam influência sobre o crescimento de raízes, até os 170 cm de profundidade.

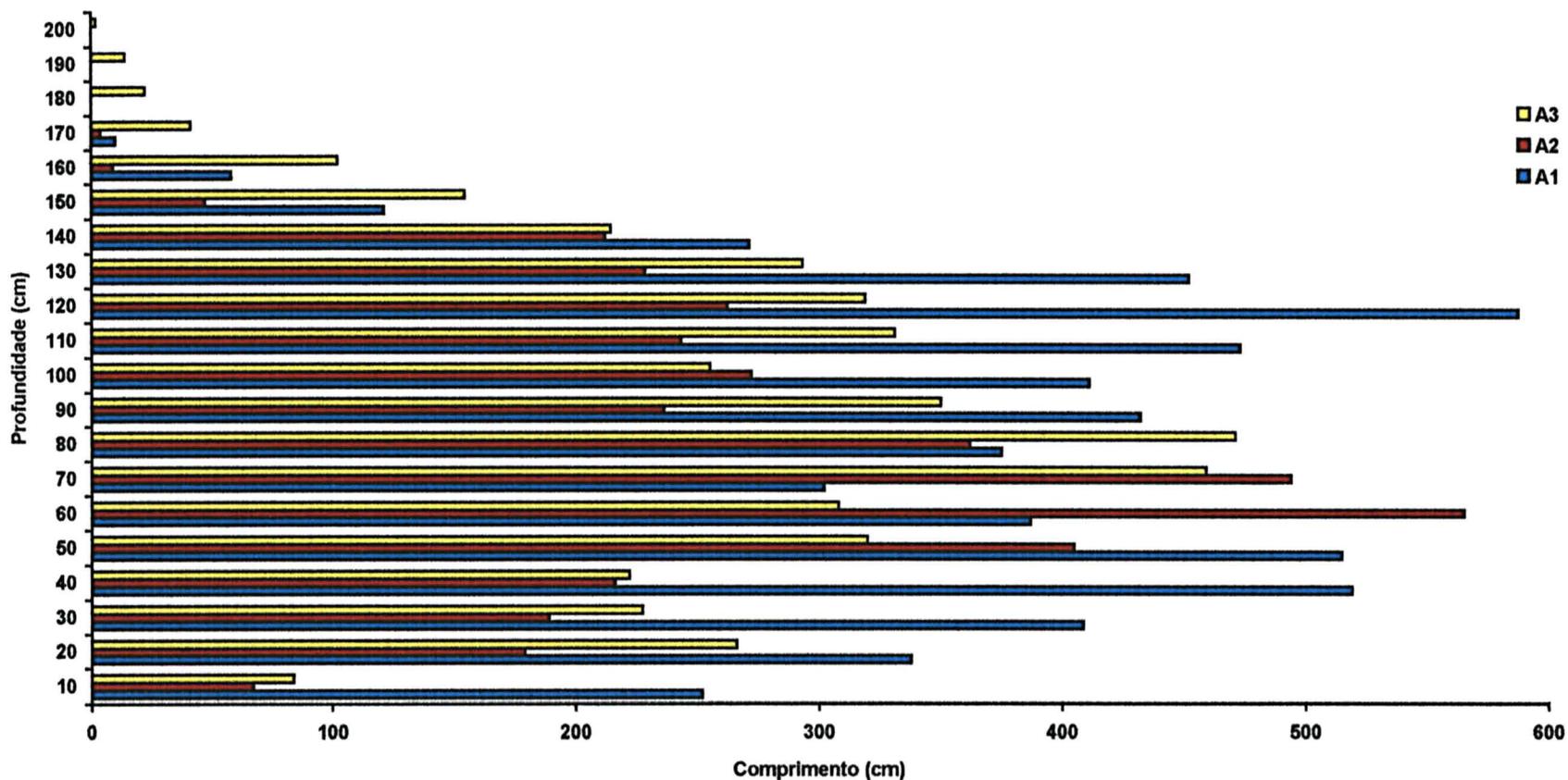
Nessa época, entre o 42^o ao 51^o dia, as plantas apresentavam o maior crescimento de raízes, comparativamente as outras épocas, em todos os tratamentos, onde o tratamento A₁ alcançou a média de 986,33 cm por planta, homoganeamente distribuídas entre 10 a 130 cm de profundidade, no entanto, o

Figura 11. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na sétima época de leitura, quarenta e dois dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



- A₁ = Fertilizante homogêneo ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Figura 12. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na oitava época de leitura, cinquenta e um dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

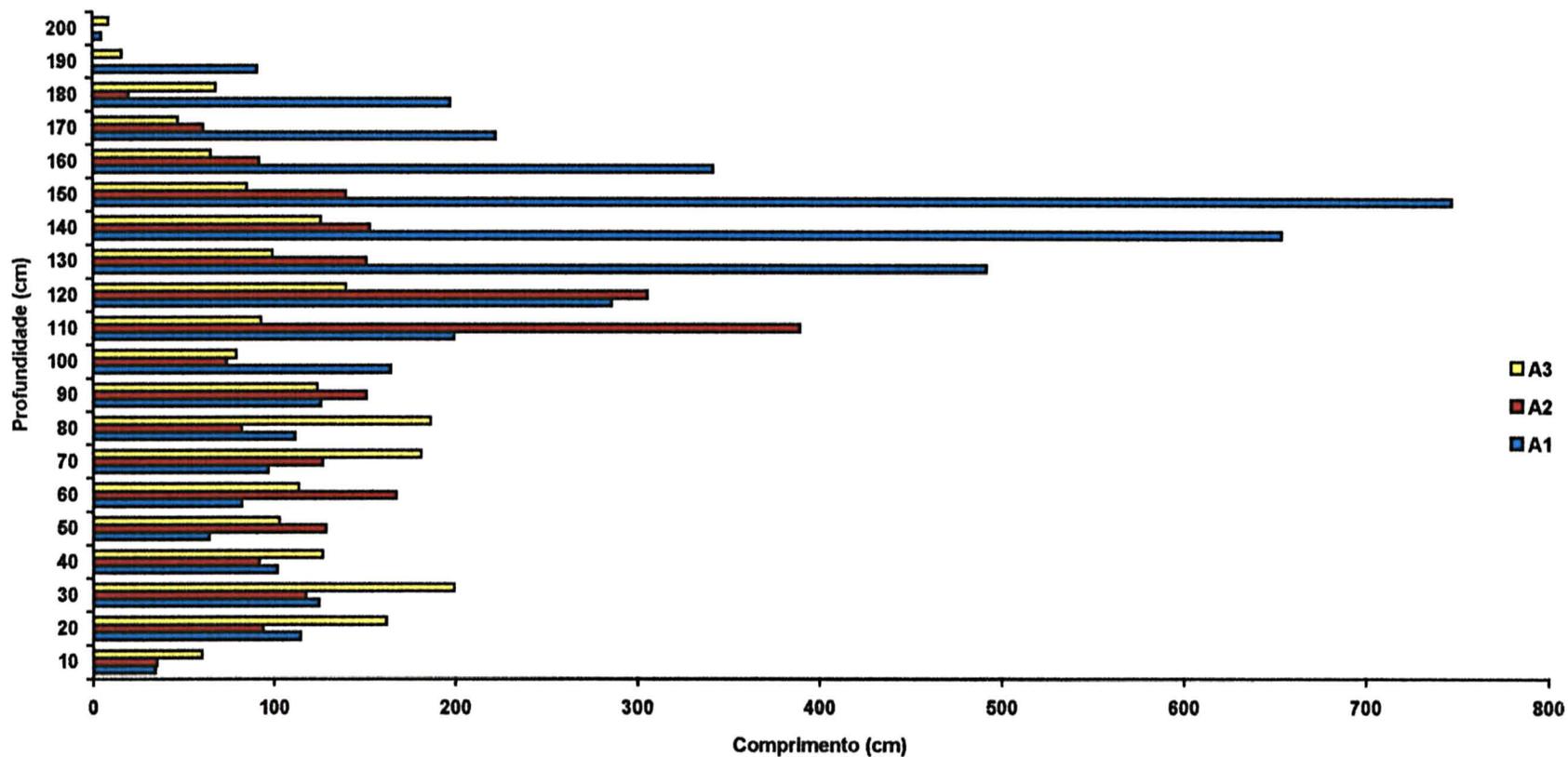
tratamento A_3 proporcionou crescimento de 740,20 cm por planta, concentrado entre 50 a 140 cm de profundidade e o tratamento A_2 , 665,00 cm por planta, igualmente concentrado entre os mesmos limites de profundidade. Por outro lado, o tratamento A_1 continuou promovendo melhor distribuição das raízes no perfil, até os 150 cm, mostrando, que a colocação do fertilizante homogeneamente no solo e a maior profundidade, fornecia melhores condições para o desenvolvimento em todo o perfil. Dessa maneira, pode-se inferir também, que esta é uma época de grande atividade de crescimento das raízes, independentemente da forma de adubação, a qual está associada ao estágio de desenvolvimento das plantas.

d.1.i. NONA ÉPOCA DE LEITURA

A leitura foi efetuada aos 58 dias da emergência das plantas (Figura 13), no estágio de pré-florescimento (estádio de desenvolvimento 4,0), apesar de menor, houve crescimento de raízes em profundidade, onde os tratamentos A_1 e A_3 , mostravam novas formações até 200 cm, enquanto o tratamento A_2 , até 180 cm de profundidade.

Em relação ao crescimento quantitativo, essa época mostrava redução significativa, provavelmente, em função da grande demanda de fotoassimilados, água e nutrientes, para as estruturas reprodutivas masculinas, em final de desenvolvimento. O tratamento A_3 , mostrou menor capacidade para suportar esta grande demanda, enquanto o tratamento A_1 , oferecia condições para melhor resposta, como fonte de suprimento às plantas e ainda proporcionar crescimento radicial em profundidade, concentrado entre 110 a 180 cm.

Figura 13. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na nona época de leitura, cinquenta e oito dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



- A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7cm de profundidade

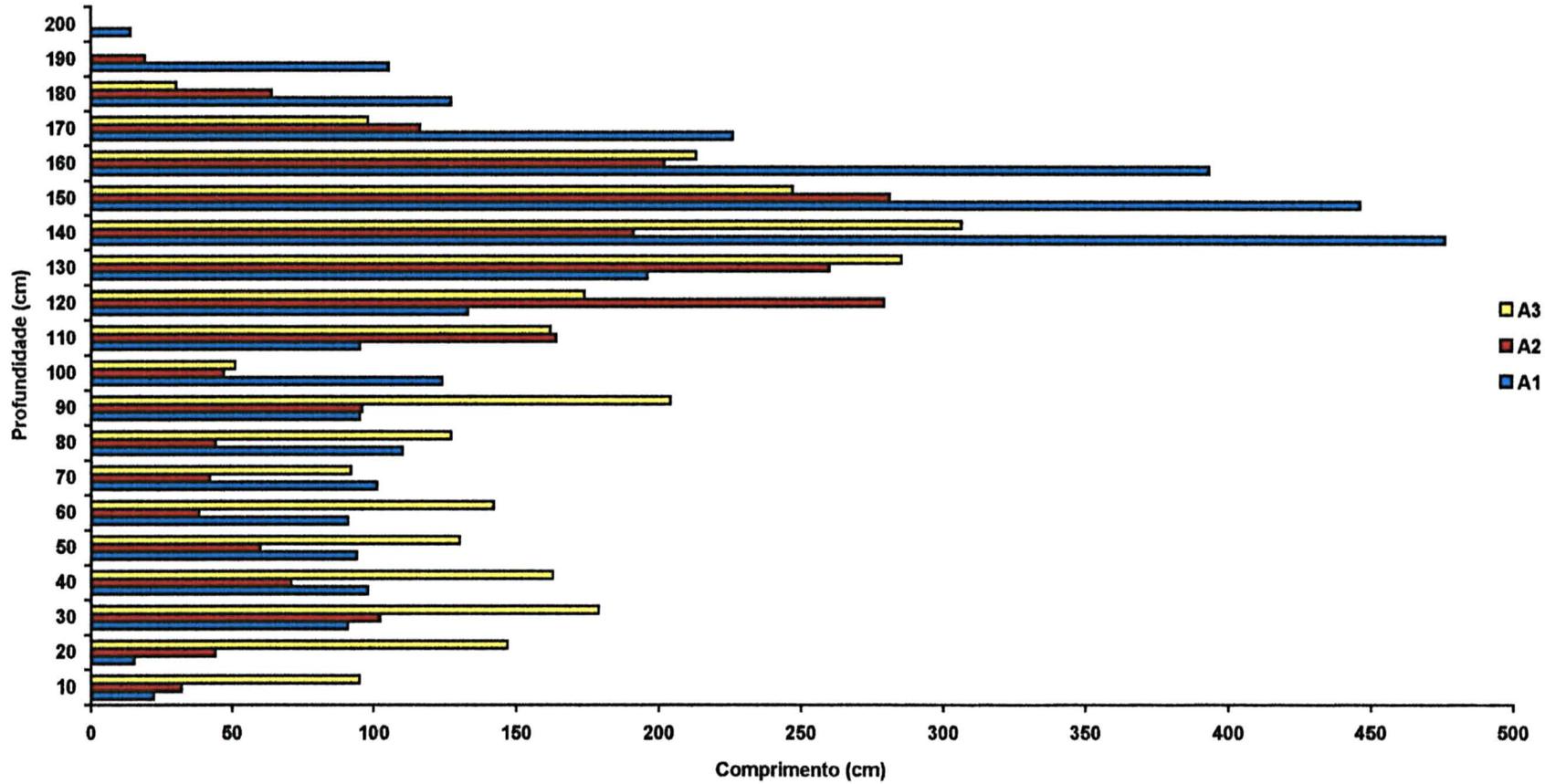
Como média geral de crescimento por planta, o tratamento A₁ apresentou crescimento de 708,67 cm por planta e, os tratamento A₂, 398,00 cm por planta e o A₃, 348,30 cm por planta. Esse fato, pode ser uma indicação de que o tratamento A₁, pode ter propiciado melhor equilíbrio da parte aérea raízes e condições para formação da inflorescência masculina e da feminina, que estavam se desenvolvendo, refletindo-se na melhor resposta ao rendimento de grãos, verificado entre os três tratamentos.

d.1.j. DÉCIMA ÉPOCA DE LEITURA

Aos 65 dias após a emergência (Figura 14), as plantas se apresentavam em pleno florescimento e em início do espigamento, apesar disso, desenvolviam raízes, onde verificou-se crescimento até os 200 cm de profundidade no tratamento A₁, até 190 cm no tratamento A₂ e 180 cm no tratamento A₃.

Continuava, ainda, repressão ao crescimento quantitativo, onde o tratamento A₂ apresentou o menor crescimento médio, 350,50 cm por planta; o tratamento A₃, 474,20 cm por planta e o tratamento A₁, 508,67 cm por planta, o qual sofreu maior repressão, de aproximadamente 28%, comparativamente, a época anterior. O crescimento de raízes se concentrou entre 120 a 160 cm de profundidade, em todos os tratamentos, os quais também apresentavam redução do crescimento, na parte intermediária do perfil (100 cm) e nas camadas superiores (10 a 20 cm).

Figura 14. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima época de leitura, sessenta e cinco dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



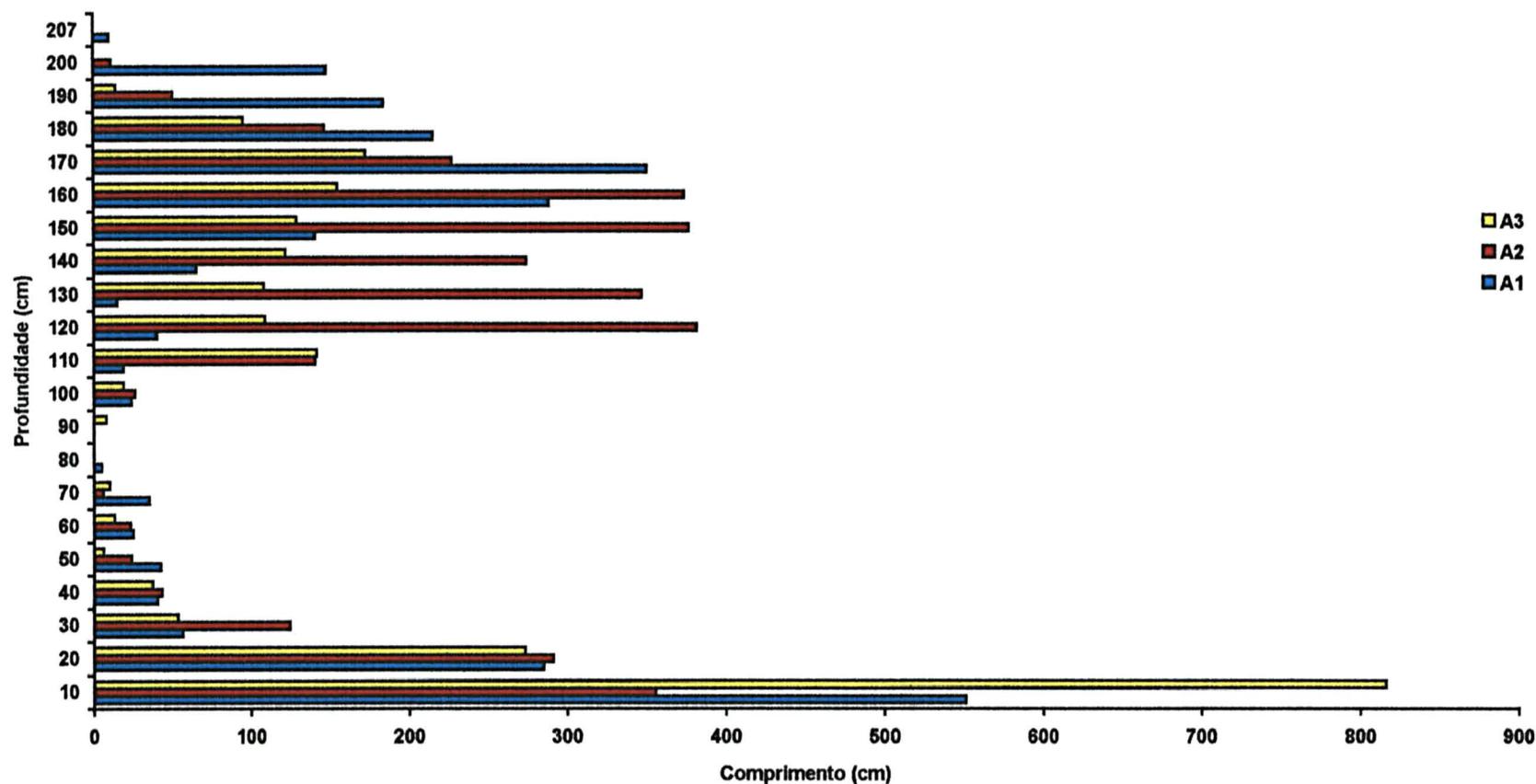
A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

d.1.I. DÉCIMA PRIMEIRA ÉPOCA DE LEITURA

Aos 72 dias da emergência de plantas, na fase de espigamento pleno, apesar da grande demanda por nutrientes, água e fotoassimilados, as plantas continuavam a emissão de raízes (Figura 15), onde o tratamento A₁ alcançou a profundidade máxima no perfil (207 cm); o tratamento A₂, 200 cm e, no tratamento A₃, 190 cm de profundidade. Houve repressão muito forte, em todos os tratamentos, ao crescimento de raízes à partir dos 30 cm de profundidade, que se pronunciou até os 100 cm quando, novamente, observava-se ativação na formação de raízes. O maior pico de concentração da formação de raízes verificou-se até os 10 cm de profundidade. No entanto, houve grande concentração na formação de raízes, dos 120 aos 190 cm de profundidade.

Nessa época, verificou-se que houve prejuízo ao crescimento quantitativo de raízes, proporcionado pelo grande gasto de energia à formação das espigas e polinização. Época de grande demanda de água, nutrientes e fotoassimilados, para as estruturas reprodutivas, que se encontravam em plena atividade. O tratamento A₃, mostrou maior ineficácia no fornecimento nutritivo, para o crescimento das raízes onde, a média por planta era de 381,67 cm; no tratamento A₁, 423,17 cm e, no tratamento A₂, 538,50 cm por planta. Pelo princípio da partição de assimilados, devido a menor estrutura vegetativa das plantas no tratamento A₃ e pela preferência das plantas ao gasto da energia às estruturas reprodutivas nesta fase de desenvolvimento, podemos inferir, que houve prejuízo ao crescimento radicial, associado a forma de distribuição do fertilizante.

Figura 15. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima primeira época de leitura, setenta e dois dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



- A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

d.1.m. DÉCIMA SEGUNDA ÉPOCA DE LEITURA

Essa época de leitura foi efetuada aos 79 dias após emergência das plantas. Nessa época, os tratamentos A_1 e A_2 , apresentavam crescimento de raízes a profundidade máxima do perfil (207 cm), enquanto o tratamento A_3 , apresentava crescimento até os 200 cm de profundidade (Figura 16).

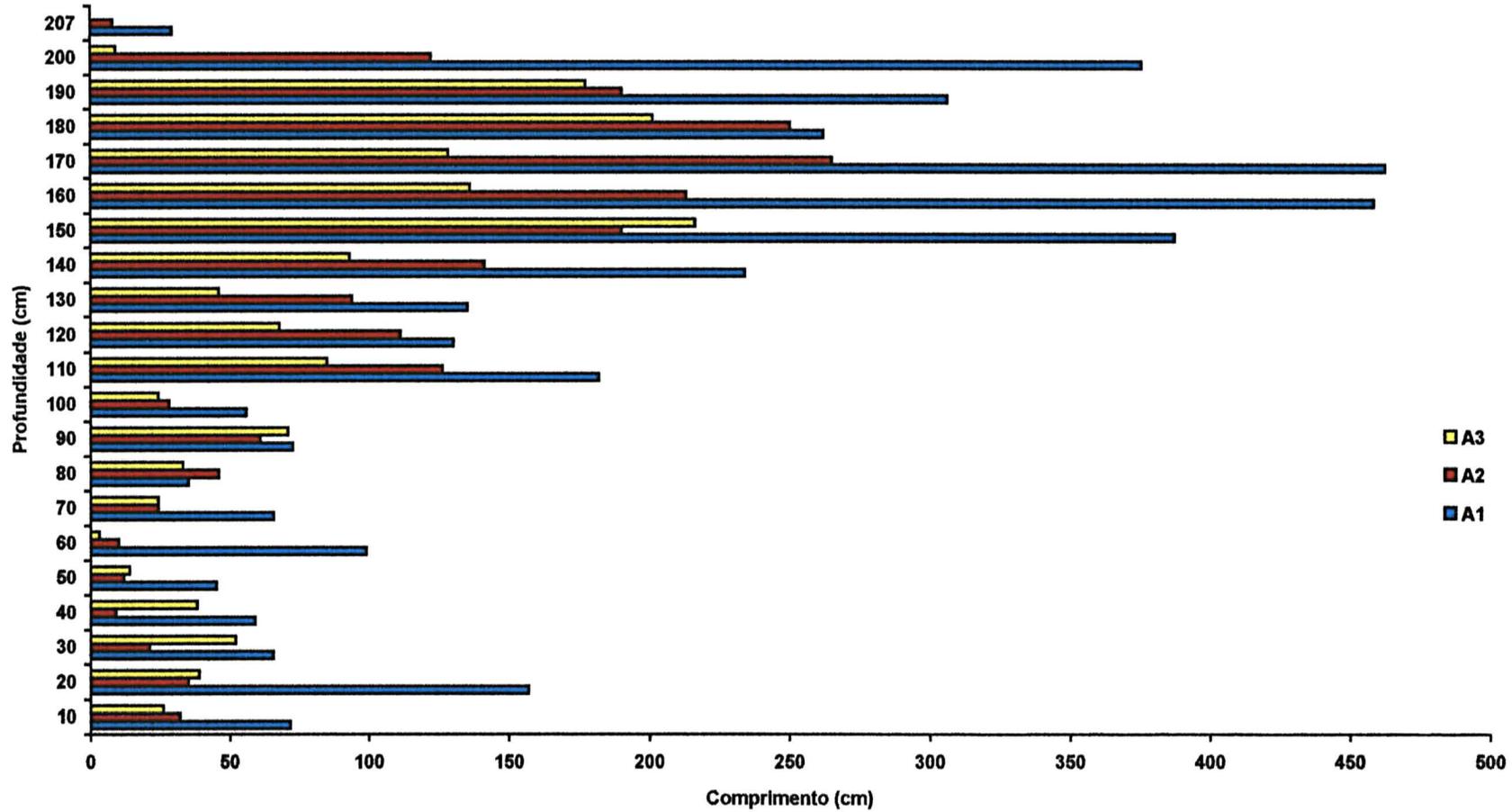
O tratamento A_1 voltou apresentar aumento no crescimento das raízes em relação as duas épocas anteriores, com média de 614,70 cm por planta, enquanto que, os outros dois tratamentos mostravam diminuição do crescimento das raízes em relação a época anterior. O tratamento A_2 propiciou crescimento de 330,50 cm por planta e o tratamento A_3 , 241,50 cm. A forma de crescimento apresentou o mesmo padrão para os três tratamentos, concentrando-se nas camadas mais profundas, dos 150 a 190 cm, bem como, mostrando tendência de aumento a medida que se aprofundavam no perfil. Observou-se agora, recuperação da atividade do crescimento radicial, provavelmente, por ter passado a fase mais crítica de gasto de energia às estruturas reprodutivas.

d.1.n. DÉCIMA TERCEIRA ÉPOCA DE LEITURA

Essa leitura, aos 86 dias da emergência de plantas (Figura 17), mostrou a influência dos tratamentos sobre o crescimento das raízes, até a máxima profundidade do perfil (207 cm).

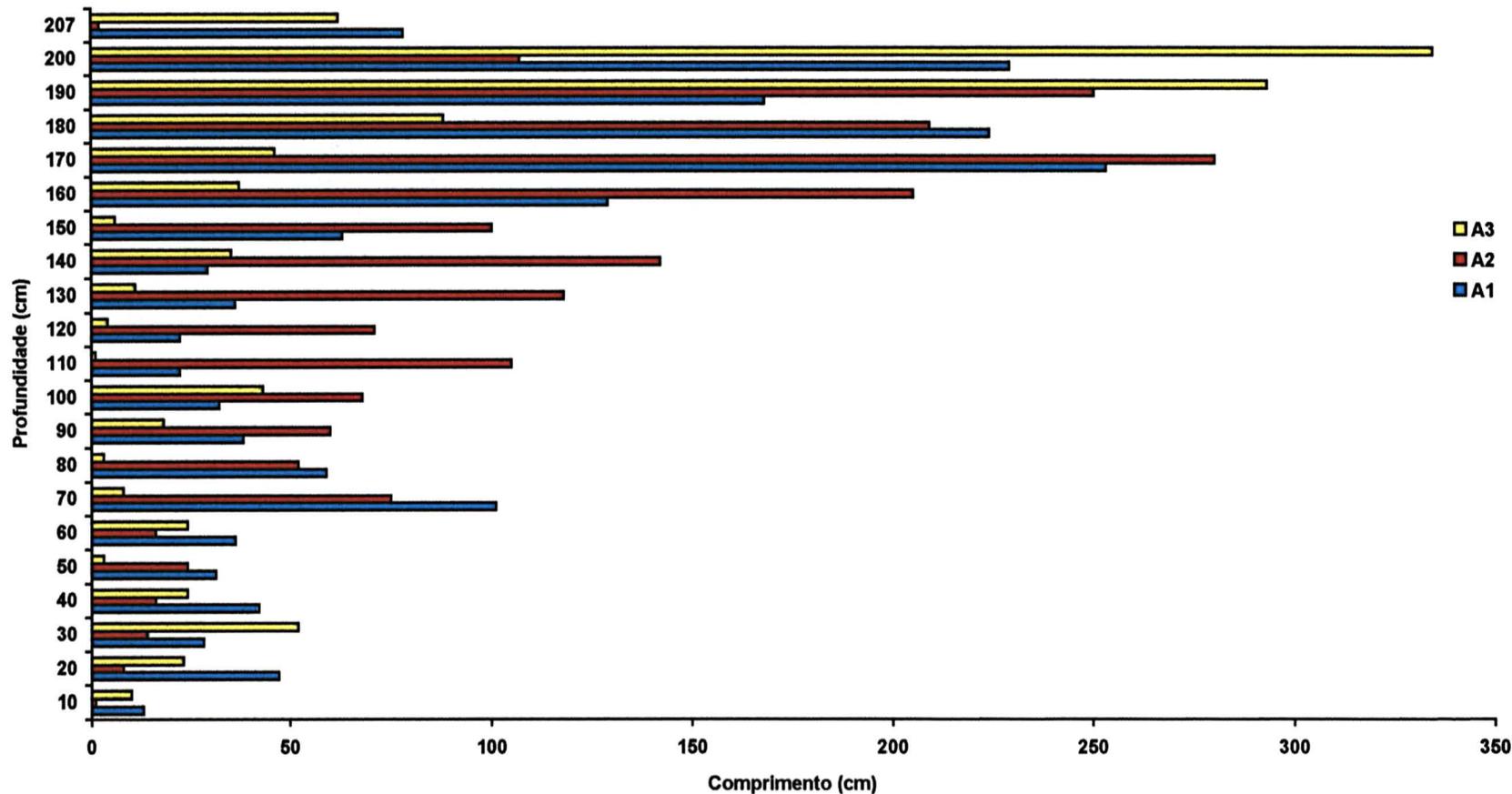
Em relação ao crescimento quantitativo, observou-se, que continuou havendo declínio no crescimento, onde o tratamento A_2 apresentou crescimento médio de

Figura 16. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima segunda época de leitura, setenta e nove dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



- A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Figura 17. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima terceira época de leitura, oitenta e seis dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

333,30 cm por planta, mantendo estabilidade em relação a época anterior, enquanto que, os outros dois tratamentos mostravam redução do crescimento onde, o tratamento A₁ apresentou crescimento médio de 280,00 cm por planta e o A₃, 187,67 cm. Igualmente a época anterior, a maior concentração do crescimento, era verificado à maiores profundidades, 160 a 200 cm, bem como, mostrou a mesma tendência nas maiores profundidades do perfil, em todos os tratamentos.

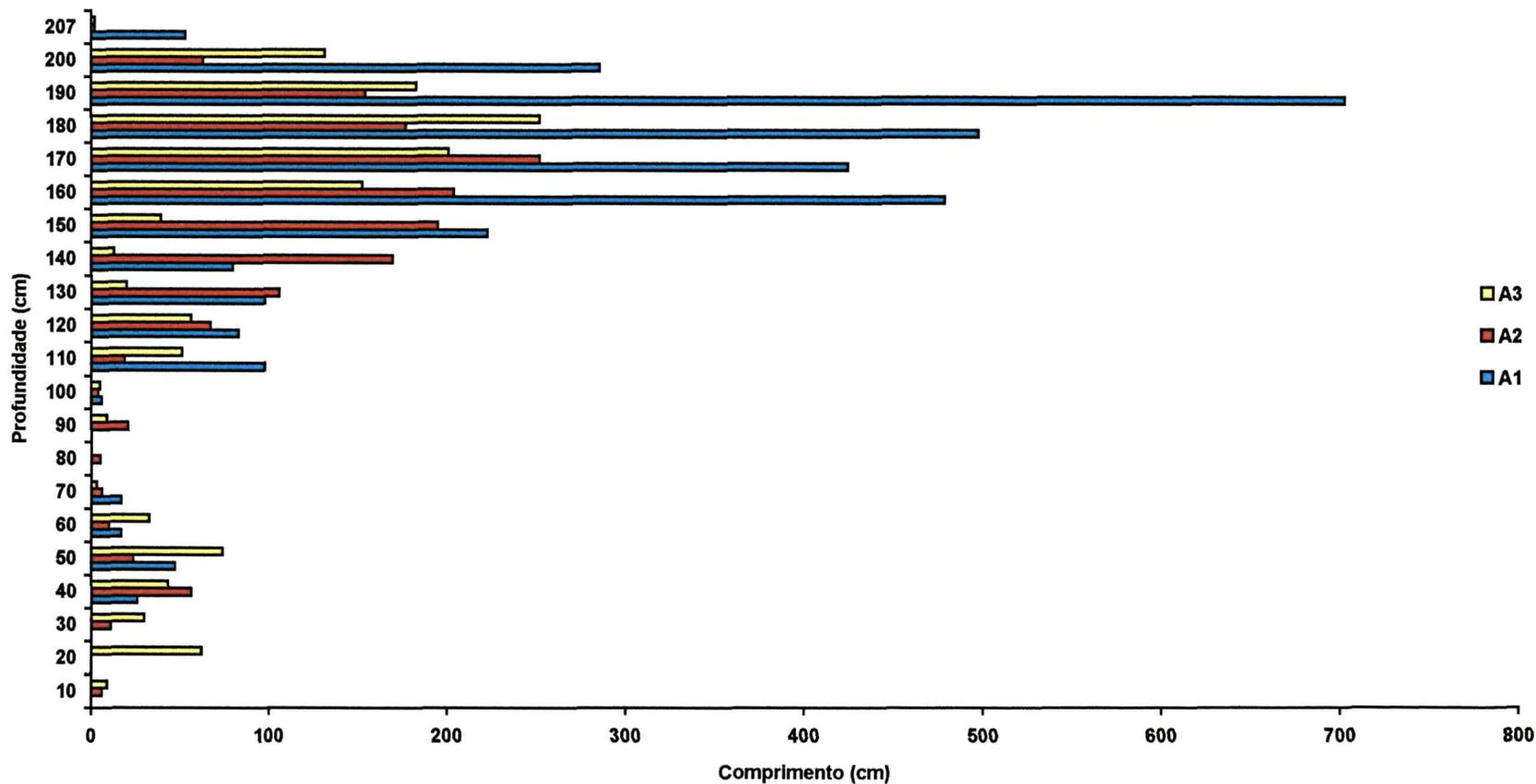
d.1.o. DÉCIMA QUARTA ÉPOCA DE LEITURA

Aos 92 dias após a emergência das plantas (Figura 18), observou-se, que continuou o crescimento de raízes, principalmente nas camadas mais profundas do perfil (207 cm), onde os três tratamentos proporcionavam ainda condições para crescimento.

A maior concentração do crescimento, era verificada dos 160 aos 200 cm de profundidade, nos três tratamentos, com tendência de aumentar nestas profundidades, mas com diminuição de zero a 120 cm.

A tendência de aumento do crescimento de raízes a maior profundidade, provavelmente, seja devido a diminuição da demanda, tendo em vista o estágio avançado das plantas em relação a fase de enchimento de grãos. Dessa forma, havia sobra de energia, que poderia ser gasta na formação de novas raízes ou alongação, nos locais de concentração de tecidos mais jovens, além da manutenção do desenvolvimento dos grãos. O tratamento A₁, apresentou acréscimo médio de 524,83 cm por planta, os tratamentos, A₂, 259,30 cm por planta e o A₃, 228,50 cm por planta.

Figura 18. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima quarta época de leitura, noventa e dois dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Isso mostra, que a fertilização homogênea no solo e mais profunda, ofereceu melhores condições e disponibilidade nutritiva às plantas. Observou-se, como comportamento geral das plantas a medida que envelheciam, tendência à desenvolver raízes nas camadas mais profundas do perfil.

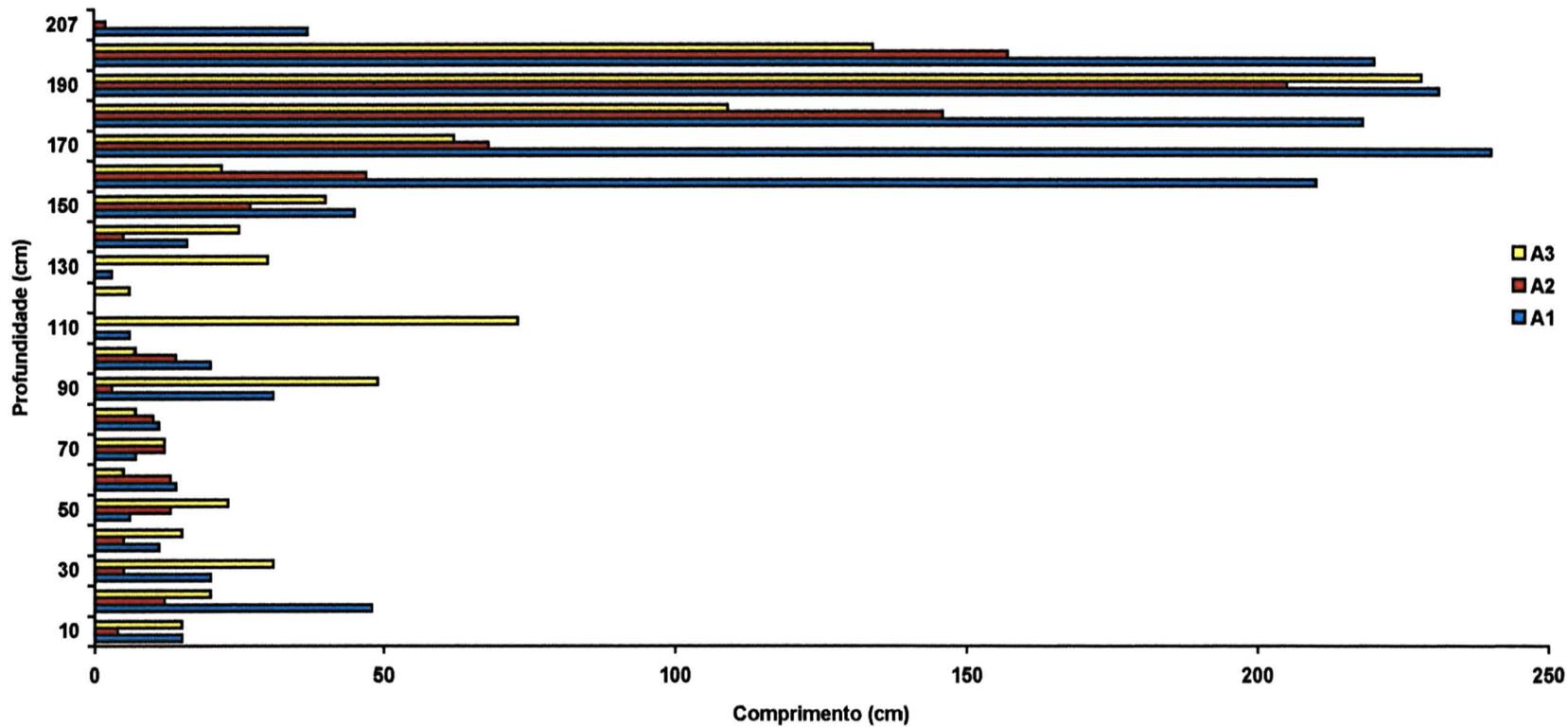
d.1.p. DÉCIMA QUINTA ÉPOCA DE LEITURA

Essa leitura, realizada aos 101 dias da emergência de plantas, no final do enchimento de grãos (Figura 19), mostrou, que as plantas ainda tinham condições para crescimento de raízes nas camadas mais profundas do perfil, onde nos tratamentos A₁ e A₂, se desenvolviam até a profundidade máxima (207 cm) e no tratamento A₃, até os 200 cm.

A maior concentração do desenvolvimento de novas raízes, se verificou, dos 170 cm aos 200 cm de profundidade, enquanto que, ocorria menores taxas de crescimento de zero a 140 cm, principalmente, entre 100 a 140 cm.

Observou-se, nessa época, redução quantitativa na intensidade do crescimento em todos os tratamentos, comparativamente a época anterior, quando apresentou as menores taxas, provavelmente, em virtude das plantas entrarem na fase de senescência. O tratamento A₁, continuou proporcionando as melhores respostas, com média de 234,83 cm por planta equivalendo a 26,09 cm por dia, seguido pelo tratamento A₃, com a média de 153,50 cm por planta ou 17,25 cm por dia e o tratamento A₂, com média de 124,00 cm por planta ou 13,78 cm por dia, mostrando ainda, que a maior estrutura da planta, em função da melhor disposição do fertilizante no perfil, davam condições para grande crescimento radicial.

Figura 19. Distribuição do sistema radicial, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima quinta época de leitura, cento e um dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

d.1.q. DÉCIMA SEXTA ÉPOCA DE LEITURA

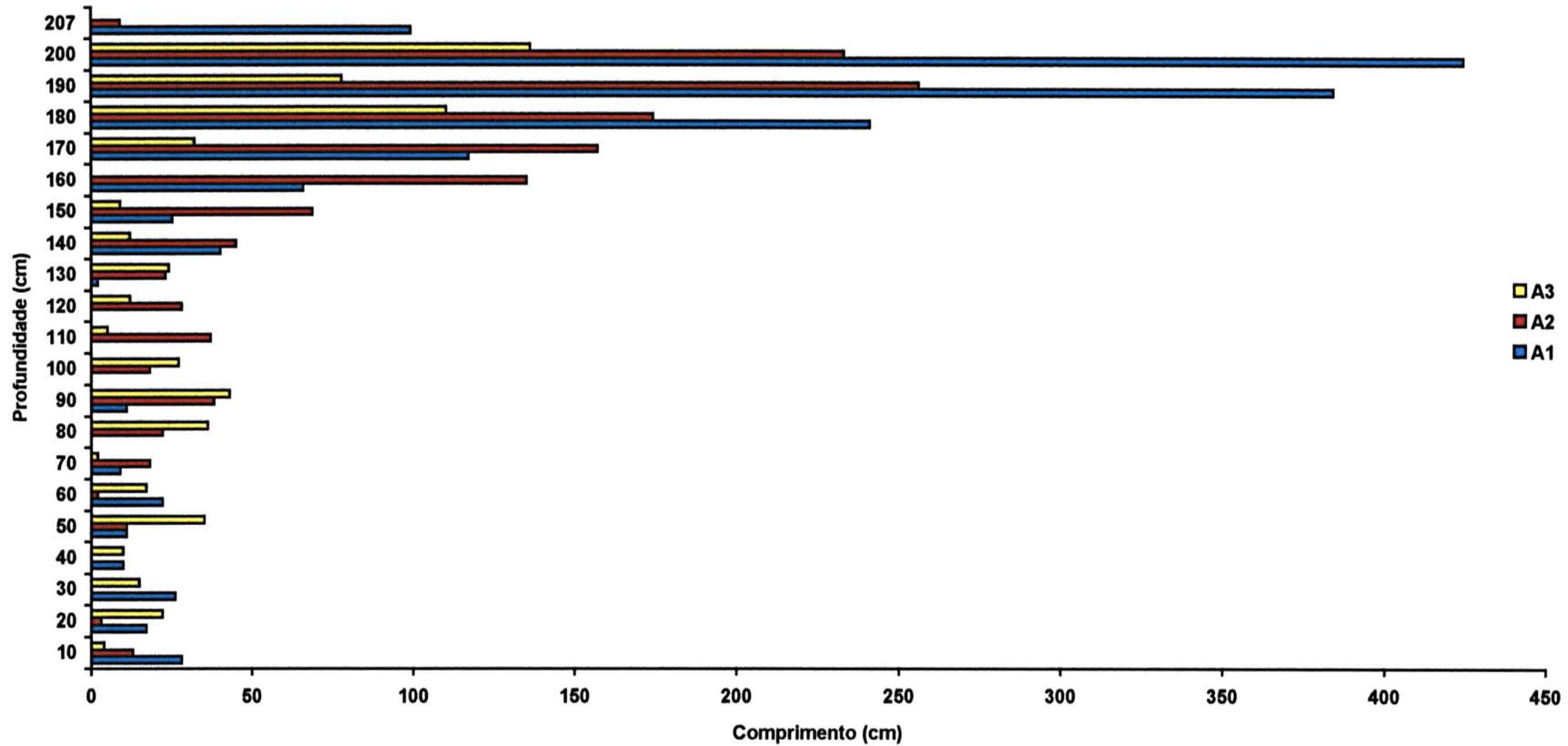
Com essa época de leitura de crescimento de raízes (Figura 20), findavam as observações a respeito, uma vez que, as plantas atingiam a maturação fisiológica. Apesar disso, nesse último intervalo de leitura (o maior), dos 101 aos 122 dias após emergência das plantas, ainda apresentavam crescimento das raízes até a profundidade máxima (207 cm), para os tratamentos A_1 e A_2 .

Observou-se, que a concentração do crescimento, se verificava entre 180 a 200 cm de profundidade nos três tratamentos e que havia redução significativa nas camadas superiores e intermediárias do perfil, de zero a 150 cm de profundidade.

Apesar dos tratamentos A_1 e A_2 apresentarem maiores respostas ao crescimento, do que na data anterior, não pode ser considerada como verdadeira, uma vez que, o intervalo da leitura era maior (21 dias), contra nove dias apenas da anterior. Isso mostra que o crescimento médio diário era inferior, tendo em vista o início da fase de maturação da planta. O tratamento A_1 , apresentou crescimento médio de 255,53 cm por planta (12,17 cm por dia); o tratamento A_2 , 216,20 cm por planta e 10,29 cm por dia e o tratamento A_3 , 103,00 cm por planta, equivalendo a 4,90 cm por dia, apenas.

Esse crescimento, provavelmente, ocorreu devido a queda progressiva e acentuada da demanda, pelas estruturas reprodutivas, com conseqüente mobilização dos carboídratos, das reservas disponíveis na planta, para as estruturas que ainda apresentavam alguma atividade e força de consumo (as raízes), uma vez que, as estruturas vegetativas e a reprodutivas, mostravam características de senilidade.

Figura 20. Distribuição do sistema radicular, em cm, de seis plantas de milho em Rizotron, em estratos de 10 cm do perfil do solo/substrato, na décima sexta época de leitura, cento e vinte e dois dias após a emergência das plantas, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



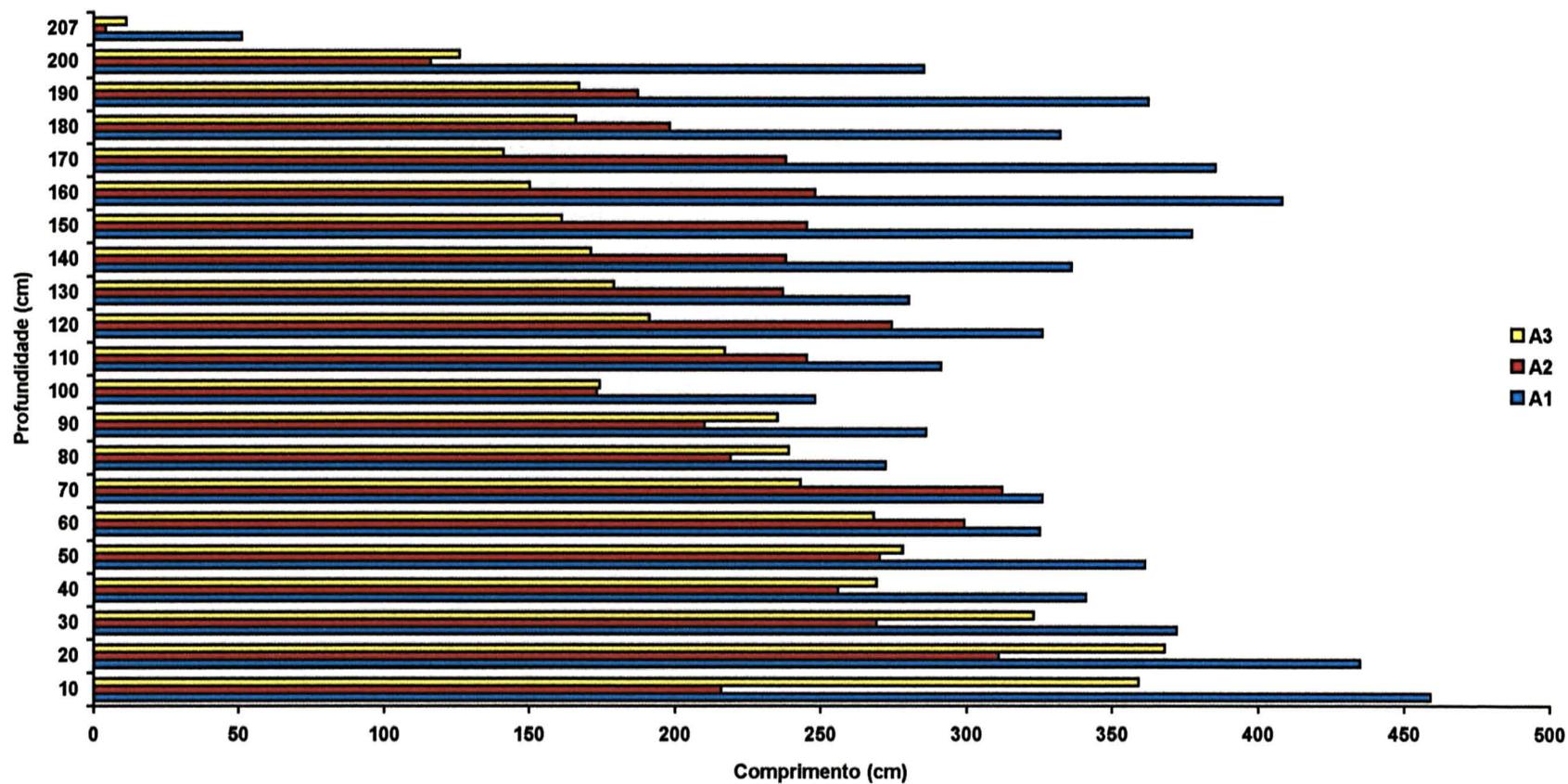
- A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
- A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
- A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7cm de profundidade

d.2. MEDIDA TOTAL DAS RAÍZES POR ESTRATO DO PERFIL DO SOLO/SUBSTRATO

O resumo das medidas quantitativas em centímetros, do comprimento das raízes, por estratos do perfil do solo/substrato nas 16 épocas de leitura, constam nos Apêndices 17, 18 e 19, respectivamente, para os tratamentos, A₁ - fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade; A₂ - fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade e A₃ - fertilizante aplicado num filete contínuo, em sulcos abertos a 7 cm de profundidade.

Na figura 21, pode-se observar, independentemente das épocas de leitura do crescimento das raízes, que o tratamento A₁ proporcionou as melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicial das plantas de milho. Verificou-se, quando o fertilizante era distribuído homogeneamente, e a maior profundidade no perfil, que as plantas se desenvolviam de maneira mais uniforme, tanto na estrutura aérea como nas raízes. As raízes ocupavam o volume do solo disponível de forma mais homogênea e se desenvolviam em maior quantidade, avaliadas em MF, MS e em centímetros (Tabela 05), aumentando a eficiência, com reflexo no RE (Tabela 04). Esta performance, pode ser justificada por conclusão de TINKER (1981), onde cita, ser essencial às raízes e nutrientes se distribuírem apropriadamente entre si, para máxima eficiência do sistema radicial. No entanto, esta característica está relacionada com a composição genética, água, distribuição e concentração de nutrientes, onde o método de distribuição do fertilizante é um dos fatores para equilíbrio dessa relação e, MARSCHENER (1986), explica: a formação de raízes é modificada pelos fatores ambientais, mas no entanto, diferem entre as espécies.

Figura 21. Crescimento radicial total médio/planta de milho, em estratos de 10 cm de profundidade do solo/substrato, em Rizotron, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

As diferenças no comprimento dos pêlos radiciais são importantes para a concentração do P e do K no perfil acerca das raízes. Pode existir uma correlação positiva entre a taxa de absorção por unidade de comprimento de raízes e o volume dos pêlos radiciais. A fertilização, algumas vezes, permite a penetração profunda das raízes no solo e estas aumentarem a extração de água disponível e o efeito da adubação com P. Por outro lado, KLEPER e ANGHINONI (1991) citam, que a absorção de P pelo milho, está relacionada com o desenvolvimento das raízes e o volume do solo fertilizado. São considerações, que se relacionam com os resultados encontrados com a aplicação do tratamento A₁. Esse fato, mostrou a melhor eficiência do método.

Sobre o comprimento total de raízes (Apêndices 17, 18 e 19), o tratamento A₁ em comparação com os outros dois tratamentos, em números absolutos, mediu, em seis plantas, 41.181 cm, com média de 6.363,50 cm por planta, equivalendo ao crescimento diário médio de 52,16 cm, enquanto que o tratamento A₂, mediu, 28.593 cm, com média de 4.765,50 cm por planta, equivalendo a média de 39,06 cm por dia; e o tratamento A₃, mediu, em seis plantas, 26.634 cm, com média de 4.439,00 cm por planta e crescimento médio de 36,38 cm por dia. Portanto o tratamento A₁, mostrou crescimento 31% superior e 35%, respectivamente, comparado aos tratamentos A₂ e A₃.

Resultados semelhantes foram descritos por STRYKER *et al.* (1974), onde testaram o efeito de formas de distribuição de P na zona de desenvolvimento radicial, em câmaras de areia com solução nutritiva e, verificaram melhor desenvolvimento radicial, quando todas as raízes eram supridas com P e, que o efeito da concentração de P em uma zona de desenvolvimento de raízes apenas, podia resultar no inadequado desenvolvimento em outras regiões.

Contraditoriamente, ALDRICH *et al.* (1975), citam, que a fertilização em linhas, estimulavam raízes adicionais em torno da faixa fertilizada, mas também, apresentavam sistema radicial, maior e mais profundo. Enquanto que, ANGHINONI e BARBER (1980b), em trabalho com solução nutritiva, confirmam parcialmente esses resultados citando, que a forma de distribuição do P estimulava o crescimento de raízes na porção do solo fertilizado, independentemente do tipo de solo.

Novamente, infere-se, que o posicionamento do fertilizante mais profundamente no perfil e distribuído homoganeamente, proporcionou às plantas melhores condições ao meio, para o crescimento das raízes.

Por outro lado, ainda na Figura 21, observa-se, que o tratamento A₃ - distribuição do fertilizante no sulco a 7 cm de profundidade, apresentou concentração do desenvolvimento radicial até 90 cm e, que havia tendência de crescimento inversamente proporcional a profundidade. Isto nos permite inferir, que devido a concentração superficial do fertilizante, este estimulava maior desenvolvimento radicial nos sítios de maior disponibilidade. É uma resposta que pode ser comprovada, quando da colocação do fertilizante em posição intermediária, efetuada no tratamento A₂ (13 cm de profundidade), propiciou crescimento das raízes melhor distribuído, no entanto, mais concentrado em estrato do perfil de solo inferior ao tratamento A₃ (7 cm de profundidade), condicionado à concentração do fertilizante mais profundamente. Enquanto no tratamento A₁, por motivo do fertilizante não ter se concentrado em um estrato, mas sim, distribuído homoganeamente nos 25 cm de profundidade, harmonizou equilíbrio no crescimento das raízes em todo o perfil. Considerações concordantes com as de BURSON *et al.* (1962), quando descreve: fertilizantes espalhados a lanço e incorporados ao solo, promoviam considerável proliferação de raízes em todas as direções, enquanto que,

fertilizantes aplicados espaçadamente em faixas favorecia o crescimento intensivo de finas e fibrosas raízes ao redor e nos limites dessa faixa. Igualmente, MALAVOLTA e DANTAS (1987) afirmaram, que da localização do adubo no solo, depende o desenvolvimento das raízes, bem como, da maneira pelo qual os nutrientes contidos no fertilizante entram em contato com elas. Semelhantemente a GREGORY (1994), que concluiu: o desenvolvimento, crescimento e distribuição de raízes, são afetados pela quantidade, forma e distribuição de nutrientes no solo. De modo similar, KASPAR *et al.* (1991), verificaram, que a colocação do fertilizante e compactação nas linhas de cultivo pela roda de tráfego, afetava a distribuição de raízes em todos os sistemas de cultivo testados. Por outro lado, constataram, que a colocação do fertilizante nas entrelinhas, de forma não concentrada, aumentava o comprimento das raízes. Verificaram ainda, que o comprimento das raízes, entre 15 a 30 cm de profundidade, era duplicado com a prática de aração, e sugerem, que a fertilização do trigo nas linhas poderia ser evitada, para maximizar o contato da raiz com o fertilizante. Trabalhando com profundidade de incorporação de calcário, GOMA e SING (1993), também citam, que a incorporação profunda de calcário no solo aumentava a profundidade do sistema radicial.

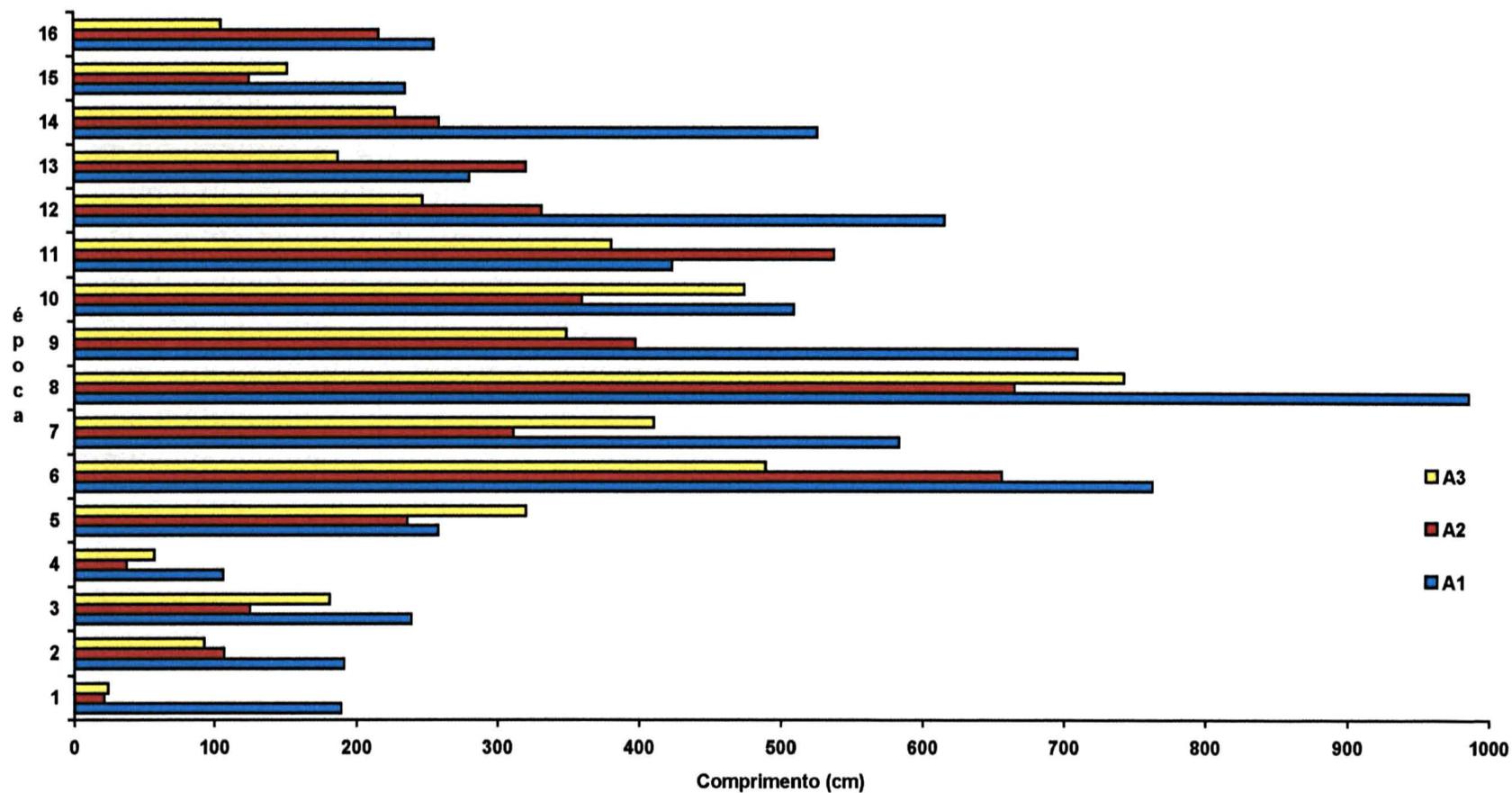
Observe-se, que apesar desses trabalhos não serem desenvolvidos com as mesmas técnicas, mas dentro da mesma lógica, os autores também constataram os mesmos resultados e chegaram a conclusões semelhantes, quando o fertilizante era incorporado a maior profundidade e não concentrado.

d.3. MEDIDA DO CRESCIMENTO DE RAÍZES NA PROFUNDIDADE TOTAL DO PERFIL, POR ÉPOCAS DE LEITURA

Pode-se observar na Figura 22, que o tratamento A_1 ofereceu melhores condições para o crescimento das raízes, desde o início do desenvolvimento das plantas. Na primeira época de leitura, aos seis dias de idade, apresentou média de 189,17 cm por planta, enquanto que, o tratamento A_2 mostrou crescimento médio de 21,33 cm e o tratamento A_3 , 23,67 cm por planta. Podemos inferir, que o efeito da concentração do fertilizante, promoveu efeito salino significativo à inibição do crescimento de raízes, uma vez que, o tratamento, A_2 representava apenas 11,3% e, o A_3 , 12,5% da medida de crescimento do tratamento A_1 . Dentro dessa premissa, COOK e HULBURT (1957)³, citados em ANDA (1971), se referem aos danos causados pela concentração salina exagerada em torno das sementes e raízes, impedindo a entrada de água nas primeiras e retirando-a, das últimas. Se referem aos adubos nitrogenados e potássicos, que são mais danosos que os fosfatados. MALAVOLTA (1984), também relata problemas dessa natureza, quando era aplicado KCl localizadamente (sulcos ou faixas), prejudicava a germinação e plantas em desenvolvimento, devido sua exagerada concentração salina. Ainda, observou-se, nas épocas intermediárias de leitura, correspondendo, aproximadamente, a meia idade das plantas, maior crescimento das raízes em todos os tratamentos e, menores concentrações de crescimento nos estádios iniciais de desenvolvimento e próximo a maturação fisiológica das plantas.

³ COOK, E. L.; HULBURT, W. C. **Applying fertilizers, in soil**. Department of Agriculture Yearbook. 1957.p.216-229.

Figura 22. Distribuição média/planta/profundidade total, em 16 épocas de leitura de crescimento de raízes de milho, em cm, em 207 cm de profundidade do perfil do solo/substrato em Rizotron, em três técnicas de fertilização. SCA/UFPR. 1995.



A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade
 A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade
 A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

e) CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as revisões efetuadas, as observações visuais e os resultados alcançados, pode-se inferir, que a disposição dos nutrientes nos sulcos de semeadura pode prover uma área de alta disponibilidade às plantas, devido a alta concentração em um pequeno volume de solo, enquanto o sistema radicial for pequeno e a demanda por unidade de raiz for alta. Condições semelhantes também são apresentadas pela distribuição do fertilizante em covas. Em covas, apesar da maior concentração, pelo menor número de pontos de distribuição e, pela disposição mais profunda que nos sulcos, o efeito salino de alguns elementos constitutivos dos fertilizantes é menos prejudicial, devido a maior distância entre a semente e o adubo. Por outro lado, o fertilizante, aplicado a lanço e incorporado de forma homogênea, não apresentou efeito salino aparente ou tornou-se insignificante, sem causar prejuízo às plantas, tendo em vista a baixa concentração por volume de solo fertilizado. Além disso, oportunizava uma grande porção do sistema radicial entrar em contato com os nutrientes, mesmo com expansão contínua das raízes e da demanda crescente pela planta, devido ao aumento no número de sítios de troca. Isso mostra, também, que a absorção de nutrientes, pelo processo de interceptação radicial, poderá ser maximizado pela distribuição homogênea no perfil, devido ao maior volume de solo fertilizado.

A maior profundidade de incorporação é um fator importante à considerar, independentemente do sistema de cultivo utilizado, convencional ou semeadura direta na palha. Quando o fertilizante é incorporado a maiores profundidades (> 25 cm), irá dispor às raízes que aí se desenvolverem, nutrientes, que serão

aproveitados com maior intensidade pelas plantas. Normalmente, nas adubações convencionais, com semeadoras-adubadoras, o fertilizante é colocado aproximadamente, a 10 cm de profundidade, enriquecendo com o tempo, uma camada muito superficial, que pode ser constatada pela análise química do solo por estratos do perfil (Apêndice 01). Por outro lado, a fertilização de maior volume do solo, proporcionará ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicial, promovendo maior crescimento quantitativo e em profundidade, além da melhor distribuição de raízes no perfil do solo.

É importante salientar, quando o fertilizante é distribuído homoganeamente, no perfil e mais profundamente, promove maior desenvolvimento de raízes e melhor distribuição no perfil. Por isso, deve ocorrer uma associação favorável e harmônica, entre as estruturas, aérea e subterrânea das plantas, proporcionada pela melhor interação entre os fatores de produção: nutrientes, água e energia solar nos processos fisiológicos. Esta situação se manifestará externamente, no porte da planta, com maior área fotossinteticamente ativa, promovendo maior aproveitamento da energia luminosa e nutricional, refletindo-se em maior rendimento biológico e econômico.

Alguns trabalhos, nessa mesma linha, também mostram a importância da fertilização do solo de forma criteriosa, para melhor aproveitamento dos nutrientes colocados a disposição das plantas e deixam conclusões, que também podem explicar as obtidas nessas pesquisas, experimentalmente, a campo e em Rizotron.

De acordo com as conclusões da maioria dos pesquisadores consultados, apesar das técnicas diferirem, os resultados são semelhantes a esses alcançados nessa pesquisa a campo e complementada em Rizotron. Motivos pelos quais, pode-se concluir sobre a importância às plantas disporem de grande quantidade de raízes

ocupar maior volume do solo e se desenvolverem em maior profundidade no perfil. Verificou-se ainda, para essas características, que além do fator genético que controlam o desenvolvimento das plantas, do ambiente exercer sua força sobre elas, o ambiente poderá ser modificado através de práticas de manejo da lavoura, do solo e da fertilização - profundidade da aração e do posicionamento dos nutrientes, irão proporcionar ao ambiente, condições mais favoráveis ao desenvolvimento radicial, favorecendo a absorção de água e nutrientes, com reflexo no aumento do potencial produtivo das lavouras de milho.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, sob as condições em que foram conduzidos os experimentos a campo e em Rizotron, conclui-se:

5.1. A CAMPO

a) há diferentes respostas dos genótipos testados ao rendimento de grãos, influenciadas pelas técnicas de fertilização do solo;

b) a distribuição do fertilizante, a lanço e incorporado com arado de aivecas a profundidade média de 26 cm, proporcionou melhor eficiência das plantas ao rendimento de grãos, independentemente das características genéticas dos cultivares;

c) o principal componente do rendimento de grãos, responsável pelo acréscimo de rendimento, foi o peso médio de grãos por espiga;

d) há resposta significativa da interação entre cultivares e técnica de fertilização do solo.

5.2. EM RIZOTRON

a) as técnicas de fertilização do solo/substrato, induziram diferentes respostas às plantas, em relação aos rendimentos biológico e econômico, índice de colheita e as características morfológicas, aéreas e subterrânea das plantas;

b) a pior técnica de fertilização do solo, nas comparações efetuadas, foi a da distribuição em sulco superficial a 7 cm de profundidade;

c) o sistema radicial foi a estrutura das plantas mais afetada pelas técnicas de fertilização do solo;

d) a distribuição homogênea do fertilizante, no perfil do solo/substrato a profundidade de 25 cm, aumentou o potencial das plantas ao rendimento de grãos, ao crescimento aéreo e ao crescimento radicial das plantas, em profundidade; em comprimento; em massa fresca e seca; e, promoveu a distribuição harmônica de raízes no perfil.

5.3. GERAIS

a) credita-se à melhor distribuição de raízes no perfil e ao maior crescimento de raízes, influenciadas pela técnica de fertilização A_1 , a melhor eficiência das plantas na produção de grãos;

b) a distribuição do fertilizante, homogeneamente no solo e a maior profundidade, poderá maximizar a absorção de nutrientes, principalmente, pelo processo de intercepção radicial, refletindo-se no acréscimo do rendimento biológico e econômico;

c) entre os materiais genéticos disponíveis e já adaptados à uma região, a alteração das características do solo, por meio das técnicas de manejo e de fertilização, é mais importante do que a carga genética, para aumento da produtividade;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AHMED, S. N.; CHINNASWAMI, K. N.; KUMARASAWAMY, K. Influence of forms and methods of application on the uptake and use efficiency of nitrogen by sugarcane. **Indian Sugar**, Tamil Nadu: v. 42, n. 3, p. 155 - 158, 1992.
- 2 ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. **Modern corn production**. 2nd.ed. Illinois : A. & L. Publications, 1975. 371 p.
- 3 ALVARENGA, M. I. N. **Efeito de doses e métodos de aplicação de Kcl na movimentação de potássio no perfil de Latossolo Roxo Distrófico, fase cerrado, cultivado com milho**. Lavras: 1983. 98 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Manejo de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- 4 ANDA. **Manual de adubação**. São Paulo: 1971. 265 p.
- 5 ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agron. J.**, Madison: v. 72, p. 685 - 688, 1980a.
- 6 ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison: v. 44, p. 1041 - 1044, 1980b.
- 7 ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern : International Potash Institute, 1974. 452 p.
- 8 BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R.; FAGÉRIA, N. K. **Soil plant interaction on nutrient. use efficiency in plants: an overview**. Academic Press Inc. New York: 1990. p. 351 - 373.
- 9 BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York : J. Wiley, 1984. 398 p.
- 10 BENINCASA, M. M. P. **Análise do crescimento de plantas**. Jaboticabal : FUNEP, 1988. 42 p.
- 11 BURSON, P. M.; CURLEY, R. D.; ROST, C. O. Balanced N - P - K and placement, key to go root growth. **Crops and Soils**, v. 14, n. 6, p. 9 -10, 1962.
- 12 CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba : POTAFOS, 1993. p. 146 - 196.

- 13 CARVALHO, L. J. C. B. *et al.* Resposta do milho a aplicação do gesso e déficit hídrico em solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA (1. : 1985 : Brasília). **Anais**. Brasília : EMBRAPA. DDT, 1986. p. 61 - 83.
- 14 CASTILHOS, D.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em relação ao método de aplicação do superfosfato triplo ao solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (18. : 1981 : Salvador). **Resumos**. Campinas : Soc..Br. Ci. Solo, 1981. p. 59.
- 15 CHEN, J. S.; MACKENZIE, A. F. Effects of rates and placement methods of urea and potassium chloride on soil nitrogen and potassium and corn dry matter yield. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa: v. 73, n. 2, p. 147 - 155, 1993.
- 16 CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. Potassium influx characteristics of corn roots and interaction, with N, P, Ca and Mg influx. **Agron. J.**, Madison: v. 69, p. 860 - 864, 1977.
- 17 CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, Palo Alto: n. 36, p. 77 - 115, 1985.
- 18 COLLINGS, G. H. **Comercial fertilizers**. New York : McGraw Hill Book, 1955. p. 519 - 525.
- 19 DRAGOVIC, S. *et al.* Effect of tillage depth, method of fertilizer application and irrigation on yield and water balance of maize on homogley. **Zemljiste i Biljka**, Novi Sad: p.139 - 148, 1988.
- 20 DRAKE, M.; STEWART, E. H. Alfalfa fertility investigations in South Carolina. **Soil Sci.**, Madison: v. 69, p. 459 - 469, 1950.
- 21 DUNCAN, W.; OHLROGGE, A. J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. II - Root development in the band. **Agron. J.**, Madison: v. 50, n. 10, p. 605 - 608, 1958.
- 22 EGHBALL, B.; SANDER, D. H. Band, spacing effects at dual - placed nitrogen and phosphorus fertilizers on corn. **Agron. J.**, Madison: v. 81, n. 2, p.178 - 184. 1989.
- 23 EMBRAPA. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília : EMBRAPA, 1982. 362 p. (Documentos, 21).
- 24 EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: v. 1, p. 151 - 152, 1984. (Boletim técnico, 57).
- 25 EMBRAPA. SNLCS. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: 1979.

- 26 FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal : FUNEP, 1992. 273 p.
- 27 GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas: v. 18, p. 119 - 124, 1984.
- 28 GOMA, C. D.; SING, B. R. **Liming in relation to crop production in Ultisols and Oxisols of northern Zambia**, Norway: 1993. 43 p. (Ecology and Development. Agricultural University of Norway, n. 4)
- 29 GREGORY, P. J. Root growth and activity. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: p. 65 - 93. 1994.
- 30 HALVORSON, A. O.; BLACK, A. L. Long term benefits from a single application of P. In: AGERTON, B. et al. (Ed.). **Better crops-with plant food**. Atlanta : Potash & Phosphate Institute, p. 33 - 35, 1981 - 82.
- 31 HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba: UFPR, 1977. 225 p.
- 32 IAPAR. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: 1991. 271 p. (Circular IAPAR, 68).
- 33 JOHNSTON, A. M.; FOWLER, D. B. No till winter wheat dry matter and tissue nitrogen response to nitrogen fertilizer form and placement. **Agron. J.**, Madison: v. 83, n. 6, p.1035 - 1043, 1991.
- 34 JUNGK, A.; BARBER, S. A. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and nutrimmed corn root systems. **Plant and Soil**, Indiana: n. 42, p. 227 - 239, 1975.
- 35 KASPAR, T. C.; BROWN, H. J.; KASSMEYER, E. M. Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison: v. 55, n. 5, p. 1390 - 1394, 1991.
- 36 KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Nutrientes e raízes no perfil e crescimento de milho em sistemas de preparo do solo e modos de adubação. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (23. : 1991 : Porto Alegre). **Programa e resumos**. Porto Alegre : SBCS, 1991. p.105.
- 37 KOEHLER, H. S. **Manual de uso do programa MSTAT - C**. Curitiba: UFPR/ SCA - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, 1996. 38 p.
- 38 LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Uso e eficiência de fertilizantes. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (2: 1989, Piracicaba). **Anais**. Piracicaba: ESALQ/FAPESP/CNPq, 1989. 58 p.

- 39 MACHADO, C. A. *et al.* Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília: 17 (6), p. 825 - 833, 1982.
- 40 MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo : Ed. Agronômica Ceres, p. 314 - 328, 1967.
- 41 MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. 5.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 61 p. (Boletim Técnico, 1).
- 42 MALAVOLTA, E. **Adubos e adubação fosfatada**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 61 p.
- 43 MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: MELHORAMENTO E PRODUÇÃO DE MILHO. Campinas: p. 564 - 581, 1987.
- 44 MALAVOLTA, E.; USHERWOOD, N. R. **Adubos e adubação potássica**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fostasto, 1982. 56 p. (Boletim Técnico, 3)
- 45 MARAIS, J. N.; WIERSMA, D. Phosphorus uptake by soybeans as influenced by water stress in the fertilized zone. **Agron. J.**, Madison: v. 67, p. 777 - 781, 1976.
- 46 MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London : Academic Press, 1986. 674 p.
- 47 MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd.ed. London : Academic Press, 1995. 889 p.
- 48 MARTINEZ, H. E. P.; ATHAYDE, M. L. F. de; BRUCKNER, C. H. Milho em duas profundidades de incorporação de calcário e superfosfato. **Revista Ceres**, Viçosa: v. 35, n. 198, p.145 - 162, 1988.
- 49 MENGEL, D. Roots, growth and nutriente uptake. In: SEMINÁRIO SOBRE FISIOLÓGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE (1996 : Piracicaba). **Seminário sobre ...** Piracicaba : POTAFOS/ESALQ, 1996. n. p. (Rev. 5.95).
- 50 MENGEL, K.; KIRBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 2nd. ed. Bern : International Potash Institute, 1979. 593 p.
- 51 MIELE, S.; PALMERINI, H. Results of a five year trial of banded fertilizer application to maize (*Zea mays*, L.). **Riv. Agron.**, Bologna: v. 23, n. 4, p. 391 - 397, 1989.
- 52 MODEL, N. S.; ANGHINONI, J. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas: v. 16, p. 55 - 59, 1992.

- 53 MUZZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L.; TORNERO, M. T. Emprego da análise do solo e estimativa de doses econômicas para adubação fosfatada e potássica em culturas de milho no Estado do Paraná, Brasil. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Brasília: v. 17, p. 203 - 209, 1982.
- 54 NAUMKIN, V. N. *et al.* Efficiency of applying chemicals in maize cultivation. **Khimiza Tsiya - sel Skogo hozyaistva**, Bryansk: n. 4, p. 22 - 26, 1991.
- 55 NOORDWIJK, van, M.; FLORIS, J.; JAGER, A. de. Sampling schemes for estimating root density distribution in cropped fields. **Neth. J. Agric. Sci.**, Wageningen: v. 33, p. 241 - 262, 1985.
- 56 OKALEBO, J.R.; NJUHO, P. M.; GATHUA, K. W. Effects of form and method of phosphate fertilizer application on maize, sorghum and millet growth in a semi-arid environment of Kenya - effect on maize and sorghum. **East Afr. Agric. For. J.**, Nairobi: v. 55, n. 4, p. 227 - 238, 1990.
- 57 PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Acompanhamento da situação agropecuária do Paraná**, Curitiba: v.19, out./nov.; nov./dez., 1993.
- 58 PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Acompanhamento da situação agropecuária do Paraná**, Curitiba: v. 20, dez./jan.; jan./fev.; fev./mar.; mar./abr., 1994.
- 59 PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In: Pierre, W. H. *et al.* (Ed.). **Plant environment and efficient water use**. Madison : American Society of Agronomy, 1965. p. 95 - 126.
- 60 RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**: conceitos. Piracicaba : Ed. Ceres, POTAFOS, 1991. 343 p.
- 61 RAIJ, B. van; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil - apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A. J. de (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília : EMBRAPA. DID, 1982. p. 928. (EMBRAPA. DID. Documentos, 21).
- 62 RANDALL, G. W.; HOEFT, R.G. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers. A review. **J. Prod. Agric.**, Madison: n.1, p. 70 - 79, 1988.
- 63 RAUN, W. E.; BARRETO, H. J. Regional maize grain yield response to applied phosphorus in Central America. **Agron. J.**, Madison: v. 87, p. 208 - 213, 1995.
- 64 ROVIRA, L. A. A. **Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) var. Carioca**. Piracicaba : ESALQ, 1975. 86 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de PLantas) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz". 1975.

- 65 RUSSEL, R. S. Plant root systems - their function and interaction with the soil. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. (ed.). **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina : IAPAR, p. 3 - 19, 1981.
- 66 SANCHEZ, C. P.; MATA, A. R. R. Efecto del metodo de colocacion, fuente y dosis de fosforo sobre o rendimento del mani (*Arachis hypogaeae, L.*) y del frijol (*Vigna sinensis, Endl.*) en un suelo franco - arenoso de sabana. **Revista Fitotecnia Latinoamericana**, Caracas: v.8, p. 78 - 84, 1972.
- 67 SANDER, D. H.; PENAS, E. J.; EGHBALL, B. Residual effects of various phosphorus application methods on winter wheat and grain sorghum. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison: v. 54, n. 5, p.1473 - 1478, 1990.
- 68 SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas: v.9, n.1, p. 45 - 50, 1985.
- 69 SCHRODER, J; GROENWOLP, J;ZAHARIEVA, T. Root growth and development of maize during the juvenile stage - rhizolab experiments in 1992 and 1993. **Bodemvruchtbaarheidsonderzoek**, Wageningen: n. 20, 119p. 1994.
- 70 SHARRATT, B. S.; COCHRAN, V. L.. Skip-row and equidistant-row barley with nitrogen placement: yield nitrogen uptake, and root density. **Agron. J.**, Madison: v. 65, n. 2, p. 246 - 250, 1993.
- 71 SHAVIV, A.; HAGIN, J. Interaction of root distribution of corn with fertilizer placement and frequency of irrigation in lysimeters. **Fertil. Res.**, Dordrecht: v. 28, n. 1, p. 49 - 54, 1991.
- 72 SILVA, D. J. *et al.* Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas: v. 17, p. 203 - 209, 1993.
- 73 STRYKER, R. B.; GILLIAM, J. W.; JACKSON, A. Nonuniform phosphorus distribution in the root zone of corn: growth and phosphorus uptake. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison: v. 38, p. 334 - 340, 1974.
- 74 TAYLOR, H. M. Managing root systems to reduce plant water deficits. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. (Eds.). **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina : IAPAR, p. 45 - 60, 1981.
- 75 TAYLOR, H.M.; WILLATT, S. T. Utilization of rhizotrons in root research. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. (Eds.). **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina : IAPAR, p. 319 - 337, 1981.

- 76 TINKER, P. B. Root distribution on nutrient uptake. In: RUSSEL; R. S.; IGUE K.; MEHTA, Y. R. (Eds.). **The soil/root system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina : IAPAR, 1981. p. 115 - 136.
- 77 TOIT, W. du; HUMAN, J. J.; DU-TOIT, W. Fertilizer placement of maize: I . Grain yield and plant growth. **South African J. Plant Soil**, Potchefstroom: v. 9,n. 3, p.155 - 158, 1992.
- 78 VIEGAS,G. P.; CATANI, R. A.; FREIRE, E. S. Adubação do milho - IV. Adubação azotada em cobertura. **Bragantia**, Campinas: v. 29, p. 191 - 198, 1955.
- 79 VIETS JR., F. G. Fertilizers and the efficient use of water. In: R. M. HAGAN *et al.* (ed.). **Irrigation of agriculture lands agronomy**. ASA, Madison : 11: p. 223 - 263. 1967.
- 80 WERNER, V.; SCHERER, E. E. Quantity/intensity relation and phosphorus availability in south Brazilian latosols as affected by form and placement of phosphorus, and farmyard manure. Dordrecht, Kluwer: p. 129 - 133 1995.
- 81 YOST, R. S. et al. Phosphorus response of corn on an oxisoil as influenced by rates and placement. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison: v. 43, p. 338- 343.1979.
- 82 ZANETTE, F.; COMIN, J. J. Estudos do sistema radicular das plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (XX: 1992: Campinas). **Anais**. Campinas: Fundação Cargill. p. 395 - 403, 1992.

7. APÊNDICES

Apêndice 01. Laudo da análise química de solo do campo experimental/CEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR. 1993.

AMOSTR. PROF.(cm)	pH	mmol c . dm ⁻³ solo					mg.dm ⁻³			g.dm ⁻³		%	
		CaCl	Al ⁺³	H+ Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	T	P	C	m	V	
0 -20	5,90	0	46	92	46	18	186	14,0	38	0,0	75,2		
20 - 40	5,30	0	62	54	32	5	149	2,0	26	0,0	58,2		

FONTE: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/Departamento de Solos/SCA/UFPR

Apêndice 02. Laudo da análise química de solo/substrato do experimento em RIZOTRON. SCA/UFPR. 1994.

pH	mmol c . dm ⁻³ solo						mg . dm ⁻³				g.dm ⁻³		%	
	CaCl ₂	Al ⁺³	H + Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	T	P	Fe	Mn	Cu	Zn	C	m
5,10	0	49	101	76	20	228	3,0	23,1	9,4	1,5	0,9	4,9	0,0	78,5

FONTE: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/Departamento de Solos/SCA/UFPR

Apêndice 03. Laudo da análise física do solo/substrato do experimento em RIZOTRON, SCA/UFPR. 1994.

COMPONENTES	%
AREIA	33
SILTE	19
ARGILA	48

FONTE: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/Departamento de solos/SCA/UFPR.

Apêndice 04. Temperaturas máximas e mínimas absolutas e as médias, em °C, no CEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, de outubro/1993 a abril/1994.

MESES ↓	TEMPERATURAS				COMPENSADA
	MÁXIMA	MÍNIMA	m MÁXIMA	m MÍNIMA	
OUTUBRO	30,5	5,9	28,5	13,7	17,6
NOVEMBRO	31,8	10,9	26,8	15,1	19,6
DEZEMBRO	32,0	12,7	24,9	16,5	19,9
JANEIRO	28,9	10,8	24,5	15,6	19,2
FEVEREIRO	31,0	15,2	26,0	17,6	21,0
MARÇO	28,6	12,5	24,0	15,4	18,7
ABRIL	28,6	10,2	22,6	14,4	17,6

FONTE: SEAB/Estações Meteorológicas IAPAR/INEMET

ABREVIATURA: m = média

Apêndice 05. Balanço hídrico (Thornthwaite) e precipitação pluviométrica, em mm, no CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, de outubro/1993 a abril/1994.

MESES	TOTAL (mm)	N ^o DIAS	E P (mm)	E R (mm)	P - E P (mm)	ALT (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	ARM (mm)
OUTUBRO	177,5	15	79,2	79,2	98,3	0,0	0,0	98,3	125,0
NOVEMBRO	73,6	8	93,2	92,6	- 19,6	- 19,0	0,6	0,0	106,0
DEZEMBRO	127,5	14	99,1	99,1	28,4	19,0	0,0	9,4	125,0
JANEIRO	211,2	17	91,3	91,3	119,0	0,0	0,0	119,9	125,0
FEVEREIRO	168,8	19	93,9	93,9	74,9	0,0	0,0	74,9	125,0
MARÇO	93,8	13	81,9	81,9	11,9	0,0	0,0	11,9	125,0
ABRIL	70,5	11	69,1	69,1	1,4	0,0	0,0	1,4	125,0

FONTE: SEAB/ Estações Meteorológicas IAPAR/INEMET

ABREVIATURAS: EP = evapotranspiração potencial; ER = evapotranspiração real; P = precipitação pluviométrica; ALT = alteração; DEF = déficit; EXC = excesso; ARM = armazenamento

Apêndice 06. Anotações de campo de seis variáveis, em quatro cultivares de milho, submetidas a fertilização a lanço e incorporação com arado de aivecas a profundidade média de 26 cm. CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR. 1993/1994.

VARIÁVEL	SEMEADURA	EMERGÊNCIA > 50%	FLORESCIMENTO > 50%	ESPIGAMENTO > 50%	COLHEITA	GRÃOS - %
CULTIVAR*	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	UMIDADE
C ₁	11/11/93	16/11/93	04/02/94	11/02/94	08/04/94	22,75
C ₂	11/11/93	16/11/93	04/02/94	11/02/94	08/04/94	22,95
C ₃	11/11/93	16/11/93	11/02/94	21/02/94	08/04/94	26,67
C ₄	11/11/93	16/11/93	30/01/94	07/02/94	08/04/94	24,90

* C₁ = AG 303; C₂ = P 3230; C₃ = DINA 170; C₄ = P 3207

Apêndice 07. Anotações de campo de seis variáveis, em quatro cultivares de milho, submetidas a fertilização em covas abertas a profundidade média de 13 cm. CEEEx - Canguiri, Pinhais, SCA/UFPR. 1993/1994.

VARIÁVEL	SEMEADURA	EMERGÊNCIA > 50%	FLORESCIMENTO > 50%	ESPIGAMENTO > 50%	COLHEITA	GRÃOS - %
CULTIVAR*	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	UMIDADE
C ₁	11/11/93	18/11/93	04/02/94	11/02/94	08/04/94	23,27
C ₂	11/11/93	18/11/93	04/02/94	11/02/94	08/04/94	22,65
C ₃	11/11/93	18/11/93	11/02/94	21/02/94	08/04/94	25,67
C ₄	11/11/93	18/11/93	04/02/94	10/02/94	08/04/94	25,72

* C₁ = AG 303; C₂ = P 3230; C₃ = DINA 170; C₄ = P 3207

Apêndice 08. Anotações de campo de seis variáveis, em quatro cultivares de milho, submetidas a fertilização em sulcos abertos a profundidade média de 7 cm. CEEEx - Canguiri, Pinhais, SCA/UFPR. 1993/1994.

VARIÁVEL	SEMEADURA	EMERGÊNCIA > 50%	FLORESCIMENTO > 50%	ESPIGAMENTO > 50%	COLHEITA	GRÃOS - %
CULTIVAR*	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	UMIDADE
C ₁	11/11/93	19/11/93	04/02/94	11/02/94	08/04/94	24,90
C ₂	11/11/93	19/11/93	02/02/94	11/02/94	08/04/94	23,32
C ₃	11/11/93	19/11/93	09/02/94	21/02/94	08/04/94	26,55
C ₄	11/11/93	19/11/93	04/02/94	10/02/94	08/04/94	25,77

* C₁ = AG 303; C₂ = P 3230; C₃ = DINA 170; C₄ = P 3230

Apêndice 09. Quadrados médios das análises de variâncias, de três características morfológicas de plantas de milho, em três técnicas de fertilização do solo. CEEEx -Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, 1994.

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	ESTATURA PLANTA	PONTO MÉDIO ISERÇÃO ESPIGA	DIÂMETRO COLMO
REPETIÇÃO	3	648,645	286,833	8,583
FERTILIZAÇÃO	2	138,250	170,646	19,000*
Erro (a)	6	173,361	37,396	2,667
CULTIVAR	3	14.650,410**	8.588,500**	17,583**
Erro (b)	9	158,484	42,778	1,935
FERTIL. X CULT.	6	164,306	97,563**	2,667
Erro (c)	18	109,451	107,979	2,630
TESTE BARTLET	-	17,42 ^{NS}	12,97 ^{NS}	8,20 ^{NS}
COEF. VAR. (%)	-	3,94	8,34	6,65

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Apêndice 10. Quadrados médios das análises de variâncias, do rendimento e componentes do rendimento de grãos de milho, em três técnicas de fertilização do solo. CEEEx - Canguiri, Pinhais. SCA/UFPR, 1994.

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	ESTANDE PLANTAS	POPULAÇÃO PLANTAS	Nº MÉDIO ESPIGA/PL	PESO MÉDIO ESPIGAS	PESO MÉDIO GRÃOS/ESP.	RENDIMENTO GRÃOS (13% U.)
REPETIÇÃO	3	19,806	24.447.524,167	0,010	811.572,222	143,333	488.391,410
FERTILIZAÇÃO	2	117,271*	144.780.036,021*	0,003	4.836.352,083**	4.491,521**	4.610.893,563**
Erro (a)	6	18,993	23.446.490,188	0,007	184.532,639	158,354	50.663,785
CULTIVAR	3	16,139	19.925.198,944	0,024	6.461.105,556**	974,389*	3.226.767,243**
Erro (b)	9	10,009	12.356.326,148	0,007	388.422,222	201,130	135.979,150
FERTIL X CULT	6	9,076	11.204.473,715	0,004	519.899,306	107,576	459.483,285*
Erro (c)	18	8,613	10.632.679,030	0,010	241.668,750	164,928	126.339,692
TESTE BARTLET	-	14,10 ^{NS}	14,00 ^{NS}	9,45 ^{NS}	5,93 ^{NS}	5,17 ^{NS}	3,13 ^{NS}
****	-	6,56	6,56	10,19	6,33	10,67	6,00

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Apêndice 11. Medidas do comprimento (cm) de raízes de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 x 207 cm) em RIZOTRON, dispostas em estratos de 10 cm de profundidade em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₁. SCA/UFPR 1995^(*)

ÉPOCAS ⇒ PROFUND ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL	MEDIA/ PLANTA
1	667	88	261	115	265	253	120	252	34	22	551	72	13	0	15	28	2756	459,33
2	330	169	240	69	258	320	203	338	115	15	285	157	47	0	48	17	2611	435,17
3	68	165	296	29	207	360	284	409	125	91	56	66	28	0	20	26	2230	371,66
4	41	153	162	79	148	360	196	519	102	98	40	59	42	26	11	10	2046	341,00
5	15	137	104	54	185	654	162	515	64	94	42	45	31	47	6	11	2166	361,00
6	10	57	123	78	97	544	266	387	82	91	25	99	36	17	14	22	1948	324,67
7	4	107	65	76	126	573	268	302	97	101	35	66	101	17	7	9	1954	325,67
8	-	100	58	49	96	282	340	375	112	110	5	35	59	0	11	0	1632	272,00
9	-	73	30	30	90	326	364	432	126	95	0	73	38	0	31	11	1719	286,50
10	-	74	23	18	33	196	306	411	164	124	25	56	32	6	20	0	1488	248,00
11	-	6	57	17	19	263	292	473	199	95	19	182	22	98	6	0	1748	291,33
12	-	14	13	21	18	225	384	587	286	133	40	130	22	83	0	0	1956	326,00
13	-	6	1	-	0	121	159	452	491	196	15	135	36	98	3	2	1715	285,83
14	-	-	-	-	4	48	98	271	653	476	65	234	29	80	16	40	2014	335,67
15	-	-	-	-	-	21	42	121	746	446	141	387	63	223	45	25	2260	376,67
16	-	-	-	-	-	10	15	58	341	393	288	458	129	479	210	66	2447	407,83
17	-	-	-	-	-	5	-	10	222	226	350	462	253	425	240	117	2310	385,00
18	-	-	-	-	-	10	-	-	197	127	215	262	224	498	218	241	1992	332,00
19	-	-	-	-	-	-	-	-	91	105	184	306	168	703	231	384	2172	362,00
20	-	-	-	-	-	-	-	-	5	14	148	375	229	296	220	424	1711	285,17
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	29	78	53	37	99	306	51,00
TOTAL	1135	1149	1433	635	1546	4571	3499	5912	4252	3052	2539	3688	1680	3149	1409	1532	41181	-
MÉDIA/ PLANTA	189,17	191,5	238,83	105,83	257,67	761,83	583,17	985,33	708,67	508,67	423,17	614,67	280,00	524,83	234,83	255,33	-	6863,50

(*) TRATAMENTO A₁ - Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

ÉPOCAS: 1 = emergência total (6 dias da semeadura); 2 = 7 dias após emergência; 3 = 14 dias após emergência; 4 = 21 dias após emergência; 5 = 28 dias após emergência; 6 = 35 dias após emergência; 7 = 42 dias após emergência; 8 = 51 dias após emergência; 9 = 58 dias após emergência; 10 = 65 dias após emergência; 11 = 72 dias após emergência; 12 = 79 dias após emergência (100% espigamento); 13 = 86 dias após emergência; 14 = 92 dias após emergência; 15 = 101 dias após emergência; 16 = 122 dias após emergência (maturação fisiológica)

Apêndice 12. Medidas do comprimento (cm) de raízes de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 x 207 cm) em RIZOTRON, dispostas em estratos de 10 cm de profundidade em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₂. SCA/UFPR.1995.^(*)

ÉPOCAS ⇒ PROFUND ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL	MÉDIA/ PLANTA
1	58	3	170	28	148	323	21	67	35	32	355	32	1	6	4	13	1296	216,00
2	52	143	169	32	262	419	122	179	94	44	291	35	8	0	12	3	1865	310,83
3	15	156	83	12	251	380	130	189	118	102	125	21	14	11	5	0	1612	268,67
4	3	216	86	25	242	333	121	216	92	71	43	9	16	56	5	0	1534	255,67
5	-	100	53	53	161	423	131	405	129	60	24	12	24	24	13	11	1623	270,50
6	-	110	27	19	105	488	199	565	167	39	23	10	16	10	13	2	1793	298,83
7	-	129	81	25	138	412	283	494	127	42	6	24	75	6	12	18	1872	312,00
8	-	67	53	3	37	329	202	362	82	44	0	46	52	5	10	22	1314	219,00
9	-	57	22	9	48	266	190	236	151	96	0	61	60	21	3	38	1258	209,67
10	-	40	6	5	21	166	248	272	74	47	26	28	68	4	14	18	1037	172,83
11	-	-	-	11	6	145	84	243	389	164	141	126	105	19	0	37	1470	245,00
12	-	-	-	-	-	85	58	262	305	279	381	111	71	67	0	28	1647	274,50
13	-	-	-	-	-	63	34	228	151	260	347	94	118	106	0	23	1424	237,33
14	-	-	-	-	-	54	40	212	153	191	274	141	142	170	5	45	1427	237,83
15	-	-	-	-	-	42	2	47	140	281	376	190	100	195	27	69	1469	244,83
16	-	-	-	-	-	8	-	9	92	202	373	213	205	204	47	135	1488	248,00
17	-	-	-	-	-	-	-	4	61	116	227	265	280	252	68	157	1430	238,33
18	-	-	-	-	-	-	-	-	20	64	147	250	209	177	146	174	1187	197,83
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	50	190	250	155	205	256	1125	187,50
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	122	107	63	157	239	699	116,50
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	2	2	2	9	23	3,83
TOTAL	128	1021	750	222	1419	3936	1865	3990	2380	2153	3220	1988	1923	1553	748	1297	28593	-
MÉDIA/ PLANTA	21,33	107,17	125,00	37,00	236,50	656,00	310,83	665,00	396,67	358,83	536,67	331,33	320,50	258,83	124,67	216,17	-	4765,50

^(*) TRATAMENTO A₂ - Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

ÉPOCAS: 1 = emergência total (6 dias da sementeira); 2 = 7 dias após emergência; 3 = 14 dias após emergência; 4 = 21 dias após emergência; 5 = 28 dias após emergência; 6 = 35 dias após emergência; 7 = 42 dias após emergência; 8 = 51 dias após emergência; 9 = 58 dias após emergência; 10 = 65 dias após emergência; 11 = 72 dias após emergência; 12 = 79 dias após emergência (100% espigamento); 13 = 86 dias após emergência; 14 = 92 dias após emergência; 15 = 101 dias após emergência; 16 = 122 dias após emergência (maturação fisiológica)

Apêndice 13. Medidas do comprimento (cm) de raízes de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 x 207 cm) em RIZOTRON, dispostas em estratos de 10 cm de profundidade em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₃. SCA/UFPR1995.^(*)

ÉPOCAS ⇒ PROFUND ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL	MÉDIA/ PLANTA
1	127	33	280	38	287	215	57	84	60	95	816	26	10	9	15	4	2156	359,33
2	15	54	298	51	336	273	171	266	162	147	273	39	23	62	20	22	2212	368,67
3	-	48	148	72	362	359	111	227	199	179	53	52	52	30	31	15	1938	323,00
4	-	50	55	50	269	337	172	222	127	163	37	38	24	43	15	10	1612	268,67
5	-	74	65	27	210	381	202	320	103	130	6	14	3	74	23	35	1667	277,83
6	-	104	132	39	200	292	184	308	114	142	13	3	24	33	5	17	1610	268,33
7	-	68	79	18	102	237	164	459	181	92	10	24	8	3	12	2	1459	243,17
8	-	70	31	3	45	174	249	471	186	127	0	33	3	0	7	36	1435	239,17
9	-	37	-	16	55	219	207	350	124	204	8	71	18	9	49	43	1410	235,00
10	-	18	-	29	48	192	250	255	79	51	19	24	43	5	7	27	1047	174,50
11	-	-	-	-	5	100	248	331	89	162	142	85	1	51	73	5	1302	217,00
12	-	-	-	-	-	56	200	319	140	174	109	68	4	56	6	12	1144	190,67
13	-	-	-	-	-	52	105	293	99	285	108	46	11	20	30	24	1073	178,84
14	-	-	-	-	-	22	59	214	126	206	122	93	35	13	25	12	1027	171,17
15	-	-	-	-	-	9	37	154	85	247	129	216	6	39	40	9	971	161,83
16	-	-	-	-	-	0	16	102	65	213	155	136	37	153	22	0	899	149,83
17	-	-	-	-	-	5	14	41	47	98	173	128	46	201	62	32	847	141,17
18	-	-	-	-	-	10	13	22	68	30	95	201	88	252	109	110	998	166,33
19	-	-	-	-	-	-	2	14	16	-	14	177	293	183	228	78	1005	167,50
20	-	-	-	-	-	-	-	2	9	-	-	9	334	132	134	136	756	126,00
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	2	2	-	66	11,00
TOTAL	142	556	1088	343	1919	2933	2461	4454	2089	2845	2282	1483	1125	1370	915	629	26634	-
MÉDIA/ PLANTA	23,67	92,67	181,33	57,17	319,83	488,83	410,17	742,33	348,16	474,17	380,33	247,17	187,33	228,33	152,50	104,83	-	4439,00

^(*) TRATAMENTO A₃ - Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

ÉPOCAS: 1 = emergência total (6 dias da sementeira); 2 = 7 dias após emergência; 3 = 14 dias após emergência; 4 = 21 dias após emergência; 5 = 28 dias após emergência; 6 = 35 dias após emergência; 7 = 42 dias após emergência; 8 = 51 dias após emergência; 9 = 58 dias após emergência; 10 = 65 dias após emergência; 11 = 72 dias após emergência; 12 = 79 dias após emergência (100 % espigamento); 13 = 86 dias após emergência; 14 = 92 dias após emergência; 15 = 101 dias após emergência; 16 = 122 dias após emergência (maturação fisiológica)

Apêndice 14. Resultados da análise nutricional de raízes de milho de três técnicas de fertilização do solo/substrato, em RIZOTRON. SCA/UFPR, 1996.

TRATAM.*	%					
	UMIDADE	PROT.BRUTA	EXTR.ETER.	RES.MINER.	FIBRA BR.	EXTR.Ñ NITR.
A ₁	5,29	3,41	0,85	29,38	36,20	24,29
A ₂	6,10	3,93	0,95	22,26	34,62	32,14
A ₃	6,25	3,75	0,89	19,63	36,25	33,23

FONTE: Laboratório de Nutrição Animal e Agrostologia/Departamento de Zootecnia/SCA/UFPR

*A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Apêndice 15. Resultados da análise química de nutrientes, em raízes de milho, de três técnicas de fertilização do solo/substrato, em RIZOTRON. SCA/UFPR, 1996.

TRATAMENTO*	%						ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
A ₁	0,60	0,06	0,20	0,36	0,13	8062	85	6	17,5	
A ₂	0,66	0,07	0,43	0,31	0,12	7249	66	11	28,7	
A ₃	0,60	0,06	0,43	0,52	0,12	8250	69	5	20,0	

FONTE: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/Departamento de Solos/SCA/UFPR

* A₁ = Fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade

A₂ = Fertilizante aplicado em covas abertas a 13 cm de profundidade

A₃ = Fertilizante aplicado em sulcos abertos a 7 cm de profundidade

Apêndice 16. Vista geral macro, do desenvolvimento aéreo das plantas de milho em Rizotron, em três técnicas de fertilização do solo/substrato. SCA/UFPR. 1994/1995.



A₁

A₂

A₃

A₁-fertilizante homogeneizado ao solo/substrato até 25 cm de profundidade; A₂-fertilizante distribuído em covas abertas a 13 cm de profundidade; A₃-fertilizante distribuído em sulcos abertos a 7 cm de profundidade.

Apêndice 17. Vista geral do “mapa” de desenvolvimento de raízes, de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 X 207 cm), copiadas do Rizotron em escala original, em estratos de 10 cm de profundidade, em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₁. SCA/UFPR. 1996.



Apêndice 18. Vista geral do “mapa” de desenvolvimento de raízes, de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 X 207 cm), copiadas do Rizotron em escala original, em estratos de 10 cm de profundidade, em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₂-SCA/UFPR. 1996.



Apêndice 19. Vista geral do "mapa" de desenvolvimento de raízes, de seis plantas de milho em competição, em uma superfície de 33.741 cm² (163 X 207 cm), copiadas do Rizotron em escala original, em estratos de 10 cm de profundidade, em 16 épocas de leitura, no tratamento de fertilização A₃. SCA/UFPR. 1996.

