

**ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DO CULTIVAR
AG 401 (*Zea mays* L.) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
PREPARO DO SOLO E POPULAÇÃO DE PLANTAS**

PAULO AUGUSTO MANFRON

Orientador : PAULO LEONEL LIBARDI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro de 1985

Aos meus pais, *Augusto e Inã*,
que com muita dedicação
souberam mostrar os caminhos da
responsabilidade e perseverança,
por vezes, caminhos penosos,
porém gratificantes

À esposa, *Melânia*,
que sempre incentivou e
dedicadamente auxiliou
na escolha de soluções
para os problemas

Aos meus filhos, *Fernando e Rafael*,
que são a razão de
todos os esforços

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi, pelo incentivo, orientação e amizade, que contribuíram para minha formação.
- Ao Engº Agrº Eloy Antonio Pauletto, pela labuta diária, cooperação e a grande amizade que nos cerca.
- Aos colegas e amigos do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, especialmente a Ailo Valmir Saccol, Arno Bernardo Heldwein, Flávio Miguel Schneider, Galileo Adeli Buriol e Valduino Stefanel, pelo incentivo e cooperação.
- Aos Professores do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" que, pelo seu esforço, experiência e amizade, contribuíram para minha formação.
- Aos amigos Sergio Oliveira Moraes, Eduardo Caruso Machado, João Eduardo Pilotto, José Ademir Rodrigues, Daciano Stenico, Hermes Alves Almeida e Otávio Minoru Matsumoto, pela cooperação e companheirismo.
- Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pela convivência sadia.

- Aos funcionários Luiz Angeleli e Manoel Israel, pela ajuda no experimento em sua parte de campo.
- À minha sogra, Jeni Vigil Palermo, pelo incentivo e ajuda nas horas difíceis.
- À Universidade Federal de Santa Maria e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade de realização do curso.
- Ao Plano Institucional de Capacitação Docente da CAPES, pelo auxílio financeiro.
- Em especial, agradeço Eloy Antonio Pauletto, Clara Manfron Morosini, Ailo Valmir Saccol e família, Almiro Almirante Zigler e família, Paulo Leonel Libardi e família e Marcelo dos Santos e família.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Efeitos ambientais no desenvolvimento do milho	4
2.2. Influência do sistema de preparo do solo na produtividade do milho	8
2.3. Densidade de plantas	13
2.4. Comportamento dos parâmetros fisiológicos na cultura	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Localização da área experimental	28
3.2. Caracterização da área experimental	28
3.2.1. Dimensões da área experimental	30
3.2.2. Solo	30
3.2.3. Planta	31
3.2.4. Clima	31
3.3. Instalação do experimento	32
3.3.1. Preparo do solo	32
3.3.2. Semeadura e população de plantas ...	33
3.4. Práticas culturais	34
3.4.1. Adubação	34
3.4.2. Capinas, aplicações de defensivos e amontoa	34
3.4.3. Irrigações	35

	<u>Página</u>
3.5. Determinações realizadas	37
3.5.1. Fenologia	37
3.5.2. Análise de raízes	37
3.5.3. Radiação solar e precipitação	39
3.5.4. Características morfológicas	39
3.5.5. Matéria seca	40
3.5.6. Área foliar	40
3.5.7. Produção por área	41
3.6. Tratamentos	41
3.6.1. Delineamento experimental	42
3.7. Obtenção de parâmetros fisiológicos	42
3.7.1. Índice de Área Foliar (IAF)	43
3.7.2. Produtividade Biológica (PB)	43
3.7.3. Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) ..	43
3.7.4. Taxa de Crescimento Relativo (TCR) ..	44
3.7.5. Taxa de Assimilação Líquida (TAL) ..	44
3.7.6. Razão de Área Foliar (RAF)	45
4. RESULTADOS	47
4.1. Condições meteorológicas	47
4.2. Características morfológicas	49
4.2.1. Altura das plantas	49
4.2.2. Número de folhas	49
4.2.3. Número de espigas por planta	52
4.2.4. Fenologia	52
4.3. Distribuição de raízes	55
4.4. Matéria Seca	55
4.4.1. Matéria seca dos colmos	55
4.4.2. Matéria seca das folhas	62

	<u>Página</u>
4.4.3. Matéria seca total	68
4.5. Parâmetros fisiológicos	68
4.5.1. Índice de área foliar	68
4.5.2. Produtividade biológica	74
4.5.3. Taxa de crescimento da cultura	80
4.5.4. Taxa de crescimento relativo	80
4.5.5. Taxa de assimilação líquida	85
4.5.6. Razão de área foliar	85
4.6. Produção por área	90
5. DISCUSSÃO	93
5.1. Radiação solar e precipitação	93
5.2. Matéria seca	94
5.3. Características morfológicas	96
5.4. Fenologia	97
5.5. Análise de raízes	97
5.6. Parâmetros fisiológicos	98
6. CONCLUSÕES	107
7. LITERATURA CITADA	109

LISTA DAS TABELAS

Tabela		<u>Página</u>
1	Identificação dos estádios de desenvolvimento de uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> , L.), segundo HANWAY (1963). Piracicaba, SP, 1984	36
2	- Valores médios de altura de plantas e número de folhas por planta, para as coletas do preparo do solo convencional, nos espaçamentos 0,70, 0,90 e 1,10 m, em milho (<u>Zea mays</u> L.). Piracicaba, SP, 1984 ..	50
3	- Valores médios de altura de plantas e número de folhas por planta, para as coletas do preparo do solo com subsolagem, nos espaçamentos entre linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, em milho (<u>Zea mays</u> L.). Piracicaba, SP, 1984	51
4	- Valores médios do número de espigas por planta e por metro quadrado, nos diversos tratamentos estudados em milho (<u>Zea mays</u> , L.), cultivado em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada" série "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 1984	53

Tabela

Página

5	-	Datas de emergência, início e fim dos estádios vegetativos e reprodutivos e maturação fisiológica (HANWAY, 1963), para uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), nos preparos do solo (convencional e subsolagem), em espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m. Piracicaba, SP, 1984	54
6	-	Distribuição porcentual de raízes no perfil do solo até a profundidade de 100 cm, massa, em gramas, de raízes secas por camada de solo e profundidade máxima do perfil onde foram visualizadas raízes, nos dois sistemas de preparo do solo (convencional e subsolagem), no espaçamento entre-linhas de 0,90 m, para a cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.).Piracicaba, SP, 1984 ...	56
7	-	Massa de matéria seca média das coletas de colmos, folhas e totais, nos diversos espaçamentos entre-linhas do preparo convencional, em milho (<u>Zea mays</u> L.). Piracicaba, SP, 1984	57
8	-	Massa de matéria seca média das coletas	

Tabela

Página

de colmos, folhas e totais, nos diversos espaçamentos entre-linhas do preparo com subsolagem, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 58

9 - Coeficientes do modelo ($Wf = a + bt + ct^2$) e coeficientes de determinação (R^2) para a massa da matéria seca das folhas (Wf), para os diversos tratamentos em função do número de dias decorridos após emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 ... 59

10 - Coeficientes do modelo ($Wc = a + bt$) e coeficientes de determinação (R^2) para a massa de matéria seca dos colmos (Wc), para os diversos tratamentos em função do número de dias decorridos após emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 60

11 - Coeficiente do modelo ($WT = a + bt$) e coeficientes de determinação (R^2), para a massa da matéria seca total da parte aérea das plantas (Wt) para os diversos tratamentos, em função do número de dias decorridos após a emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 61

TabelaPágina

- 12 - Valores médios do Índice de Área Foliar, nas datas de coletas dos diversos tratamentos, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 71
- 13 - Coeficientes do modelo ($IAF = a + b \cdot t + c \cdot t^2$) e coeficientes de determinação (R^2), para o índice de área foliar (IAF), nos diversos tratamentos, em função do número de dias decorridos após a emergência (t) em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 .. 75
- 14 - Coeficientes do modelo ($PB = a + bt$) e coeficientes de determinação (R^2), para a produtividade biológica (PB), nos diversos tratamentos, em relação ao número de dias decorridos após a emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 78
- 15 - Valores médios obtidos, em $g \cdot m^{-2}$, para a produtividade biológica (PB), nas datas de coletas dos diversos tratamentos, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984 . 79
- 16 - Valores médios obtidos experimentalmente, em $dm^2 \cdot g^{-1}$, para a razão de área foliar (RAF), nas datas

Tabela

Página

	de coletas dos diversos tratamentos, em mi- lho (<u>Zea mays</u> L.). Piracicaba, SP, 1984 ...	91
17 -	Valores médios da produção por hectare, nos diversos tratamentos estudados em mi- lho (<u>Zea mays</u> L.), cultivado em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada" série "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 1984	92

LISTA DAS FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	- Dimensões da área experimental, sob dois sistemas de preparo do solo: convencional (superior) e com subsolagem (inferior). Distribuição dos tensiômetros na ordem crescente de profundidades. Espaçamentos entre-linhas e distribuição dos aspersores para irrigação durante o ciclo do milho (<u>Zea mays</u> L.)	29
2	- Diagrama demonstrativo do arranjo dos monólitos de solo, para retirada do solo e raízes de milho, em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada", série "Luiz de Queiroz"	38
3	- Valores de precipitação pluviométrica diária e decadais médios de radiação solar global durante o ciclo de uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.)	48
4	- Massa média de matéria seca dos colmos em gramas, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	63

Figura

Página

5	-	Massa média de matéria seca dos colmos em gramas, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays L.</u>), durante o ciclo em dias após emergência	64
6	-	Massa média de matéria seca das folhas em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas de 0,70 m, em uma cultura de milho (<u>Zea mays L.</u>), durante o ciclo em dias após emergência	65
7	-	Massa média de matéria seca das folhas em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas de 0,90 m, em uma cultura de milho (<u>Zea mays L.</u>), durante o ciclo em dias após emergência ...	66
8	-	Massa média de matéria seca das folhas em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas de 1,10 m, em uma cultura de milho (<u>Zea mays L.</u>), durante o ciclo em dias após emergência ...	67
9	-	Massa média de matéria seca total das plantas em gramas, para o tratamento convencio	

Figura

Página

	nal, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	69
10	- Massa média de matéria seca total das plantas, em gramas para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	70
11	- Índice de Área Foliar (IAF), média para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zeamays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	72
12	- Índice de Área Foliar (IAF), média para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	73
13	- Produtividade Biológica (PB), média para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	76

Figura

Página

14	-	Produtividade Biológica (PB), média para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	77
15	-	Taxa de crescimento da cultura (TCC), para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	81
16	-	Taxa de crescimento da cultura (TCC), para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	82
17	-	Taxa de Crescimento Relativo (TCR), para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), durante o ciclo em dias após emergência	83
18	-	Taxa de Crescimento Relativo (TCR), para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea</u>	

Figura

Página

		<u>mays</u> L.), durante o ciclo em dias após e emergência	84
19	-	Taxa de Assimilação Líquida (TAL), para o tratamento convencional, nos diversos es- paçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea</u> <u>mays</u> L.), durante o ciclo em dias após e- emergência	86
20	-	Taxa de Assimilação Líquida (TAL), para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea</u> <u>mays</u> L.), durante o ciclo em dias após e- emergência	87
21	-	Razão de Área Foliar (RAF), para o tratamen <u>to</u> convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zea mays</u> L.), duran- te o ciclo em dias após emergência	88
22	-	Razão de Área Foliar (RAF), para o tratamen <u>to</u> com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (<u>Zeamays</u> L.), duran- te o ciclo em dias após emergência	89

ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DO CULTIVAR AG 401
(Zea mays L.), SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
PREPARO DO SOLO E POPULAÇÃO DE PLANTAS

Paulo Augusto Manfron

Paulo Leonel Libardi
Orientador

RESUMO

O presente experimento foi conduzido no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, na cidade de Piracicaba, SP. O local situa-se a 580 m acima do nível do mar, numa latitude de $22^{\circ}42'30''S$ e numa longitude de $47^{\circ}38'00''W$. O objetivo deste trabalho foi o de estudar o comportamento do cultivar de milho híbrido AGROCERES 401 num solo classificado como "Terra Roxa Estruturada", sob duas condições de preparo do solo (convencional e subsolagem) e três espaçamentos entrelinhas (0,70; 0,90 e 1,10 m), através da análise quantitativa de crescimento. A distribuição de raízes no perfil de

solo subsolado e não subsolado também foi estudada. De uma maneira geral, pôde-se concluir que: (i) nenhum dos tratamentos estudados teve influência nos estádios fenológicos da cultura; (ii) a produção de grãos foi maior para o espaçamento de 1,10 m, em ambos os preparos do solo; (iii) não houve diferenças dos parâmetros fisiológicos em todos os tratamentos estudados, e (iv) houve um bom desenvolvimento radicular nos dois tratamentos de preparo do solo, mas mais profundo no perfil subsolado.

QUANTITATIVE GROWTH ANALYSIS OF THE AG 401 (Zea mays L.)
CORN VARIETY, UNDER DIFFERENT SOIL PREPARATIONS
SYSTEMS AND DIFFERENT PLANT POPULATIONS

Paulo Augusto Manfron

Paulo Leonel Libardi
Adviser

SUMMARY

This work was carried out at the experimental fields of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil. The field site is 580 m above sea level, $20^{\circ}42'30''$ S and $47^{\circ}38'00''$ W. The objective of the work was to study the behaviour of a corn variety (AGROCERES 401) that were grown on Terra Roxa Estruturada (Oxic Paleudalf) under two soil preparation conditions (conventional and subsoiled) and with the plants spaced at three different intervals (0.70, 0.90 and 1.10 m); this was done by using the quantitative growth analysis. Besides, the root distribution along the soil

profile was also studied. From the results it could be concluded that (i) none of the studied treatments had influence on the phenological stages of the corn crop; (ii) the grain yield was higher for the plant rows 1.10 m apart in both soil preparation treatments; (iii) there was no differences of the physiological parameters in all studied treatments, and (iv) there was a good root growth in both soil preparation treatments, but deeper in the subsoiled profile.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma planta originária do continente americano que, pelas suas múltiplas utilizações, quer na alimentação humana, quer na animal, ou ainda, como matéria prima na indústria, constitui-se num dos cereais mais cultivados no mundo.

No Brasil, o nível de produtividade está muito abaixo do desejado, em comparação com outros países que utilizam mais tecnologia, mas as perspectivas são de aumentos substanciais. Dentre as espécies de plantas cultivadas, o milho tem sido o mais pesquisado técnica e cientificamente, o que tem contribuído para um crescimento da sua produtividade. De um modo geral, a produção de uma cultura está intimamente associada a uma série de fatores, tais como, água, luz, temperatura, tipo de solo, características da planta, sistemas de cultivo e manejo da planta durante o ciclo.

Vários pesquisadores têm estudado a influên-

cia dos sistemas de cultivo e de densidade de plantas, práticas agronômicas importantes por afetarem a emergência, o desenvolvimento radicular, o acamamento de plantas, a resistência à seca, a produção biológica e econômica. Entende-se por sistema de cultivo o preparo do solo, sendo que o mais difundido atualmente entre agricultores é o chamado sistema convencional, que consiste de uma aração e duas gradagens. Mas, formas alternativas de preparo do solo bastante conhecidas por pesquisadores, como a subsolagem mais grade pesada, somente a grade pesada, o cultivo mínimo e o plantio direto, também têm sido utilizadas em diferentes situações, para permitir uma melhora nas condições dos solos. A densidade de plantas é outro aspecto importante a ser considerado porque está relacionada com a capacidade da cultura em aproveitar a energia solar e, portanto, com a produção econômica, assim como a biológica, uma vez que essas dependem da capacidade fotossintética do vegetal.

Existe, na maioria dos casos, uma correlação positiva entre estas duas produções, pelo fato da planta ser uma integradora de estímulos e com isto permitir que a avaliação de sua produção primária seja realizada através da análise quantitativa do crescimento, a qual, além de fornecer ótimos resultados, requer informações que podem ser obtidas sem a necessidade de equipamentos sofisticados. Tais informações são a massa de matéria seca total da planta e de suas partes (folhas, colmos, raízes, etc) e o tamanho do apa

relho fotossintetizante (área foliar) obtidos a certos intervalos de tempo durante o ciclo da cultura. Os valores da massa de matéria seca e da área foliar, nos diferentes tempos, são utilizados posteriormente na estimativa de índices fisiológicos, tais como: Índice de Área Foliar (IAF), Produtividade Biológica (PB), Taxa de Crescimento da Cultura (TCC), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Assimilação Líquida (TAL) e Razão de Área Foliar (RAF). Visando um conhecimento mais consistente sobre o uso da Análise Quantitativa de Crescimento e de sua problemática quanto a coleta e a análise de dados, bem como, estudar a resposta da comunidade de plantas de milho quanto a diferentes sistemas de preparo do solo e população de plantas devido a diversificação de resultados encontrados na literatura.

O presente trabalho tem por objetivo (i) estudar através da análise quantitativa de crescimento convencional, o comportamento de um cultivar de milho híbrido (AGRO-CERES 401), sob dois sistemas de preparo do solo (convencional e subsolagem) e três espaçamentos entre-linhas (0,70, 0,90 e 1,10 m), e (ii) determinar a distribuição quantitativa de raízes no perfil do solo subsolado e não subsolado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão, há quatro aspectos a serem discutidos pela importância e associação que prestam ao presente estudo: efeitos ambientais no desenvolvimento do milho; influência do sistema de preparo do solo na produtividade do milho; densidade de plantas; e comportamento dos parâmetros fisiológicos na cultura.

2.1. Efeitos ambientais no desenvolvimento do milho

A produtividade de uma cultura depende de uma série de interrelações complexas entre plantas individuais, comunidade de plantas e meio ambiente. Segundo WATSON (1952), o crescimento e o desenvolvimento da planta são fenômenos complexos, pois envolvem o efeito de fatores externos nos processos fisiológicos, interrelações entre diferentes processos planta-ambiente e sua dependência dos fatores internos

determinados pela constituição genética da planta. Muitos fatores externos como condições climáticas e do solo, principalmente a radiação solar e a disponibilidade de água, influenciam a produtividade.

Um fator importante para o milho, responsável pelo aumento de produção, é a disponibilidade de água. A irrigação, segundo DOPPLER (1983), é a base do desenvolvimento, pois permite regular o fator água da produção. RHODES (1962) verificou a importância do modo de aplicação de água por irrigação e chegou à conclusão que o uso eficaz da irrigação permite produzir 140 kg de milho para cada 100 m³ de água aplicada, e que com irrigação menos eficaz, se produz 50 kg de milho, portanto, uma diferença de 90 kg para cada 100 m³ de água aplicada. Segundo SWAN e HICKS (1972) e HILLER et alii (1974), vários pesquisadores têm detectado redução de 60% no rendimento quando o déficit hídrico era simulado desde o estágio de floração até o enchimento de grãos, em comparação com reduções de 40 a 50% para plantas que sofreram déficit hídrico durante a iniciação floral e durante o enchimento de grãos, respectivamente. ESPINOZA et alii (1980) concluiu que a partir do décimo dia sem chuva ou irrigação, próximo ao período de floração, a redução do rendimento do milho pôde ser estimada em 100 kg/ha/dia, aproximadamente, e que a redução causada por déficit hídrico induzido na época seca, no estágio reprodutivo da cultura, atingiu a cifra de 40 a 60% em relação aos tratamentos em que não fal-

tou água. Na região do cerrado, ESPINOZA (1982), pesquisou a resposta de 12 cultivares de milho ao déficit hídrico em condições de campo, e verificou que as médias dos rendimentos sob irrigação permanente e em condições de déficit hídrico, foram, respectivamente, de 4557 e 3192 kg/ha e que não houve efeitos significativos do regime hídrico nos cultivares quanto ao número de espigas ou ao seu peso. Quanto ao efeito negativo do déficit hídrico, McPHERSON e BOYER (1977) verificaram que este seria devido a reduções no processo de translocação e principalmente na taxa de fotossíntese.

Naquelas regiões onde a prática da irrigação não tenha sido difundida ou mesmo não exista possibilidade para tal, o regime pluviométrico é o elemento fundamental para que não aconteça déficit hídrico em períodos críticos para a cultura. Segundo CANÉCHIO FILHO e ALMEIDA (1973), as regiões onde a precipitação varia de 250 a 5000 mm anuais, possibilitam a instalação da cultura do milho, sendo que um mínimo de 200 mm, durante o verão, bem distribuídos, são necessários para uma produção sem irrigação.

Outro fator ambiental a ser discutido é a radiação solar, isto porque ela é a fonte de energia para todos os processos biológicos existentes na superfície terrestre. LOOMIS e WILLIAMS (1963) estimaram o potencial de produtividade das culturas, baseado na quantidade total de energia solar que pode ser utilizada pelas plantas no processo

fotossintético, considerando perdas de albedo, absorção inativa e respiração. Para uma superfície que recebe 500 cal/cm²/dia de radiação solar, no estágio vegetativo, a estimativa é de uma produção de massa de matéria seca de 71 g/m² de superfície cultivada por dia. Se a contribuição dos constituintes inorgânicos consiste em 8% da massa de matéria seca, o potencial de produtividade será então de 77 g/m²/dia, o que corresponde a 770 kg/ha/dia. O auto-sombreamento das folhas e mesmo estruturas não fotossintetizadoras, como as panículas do milho, podem representar um fator de diminuição da quantidade de radiação disponível para a fotossíntese, que segundo DUNCAN et alii (1967), numa população de 50000 plantas/ha, atinge o percentual de interceptação de 9% da radiação solar global que chega ao topo do dossel de plantas.

MOSS et alii (1961) mostraram que 90% das flutuações horárias na fotossíntese líquida, em uma população de milho, podem ser explicadas pelas flutuações de luz, isto veio a ser confirmado por LOOMIS e WILLIAMS (1963), segundo os quais a eficiência na utilização de luz pela superfície da cultura de milho será maior com luz contínua, com baixa ou alta intensidade, do que com luz flutuante causada pela nebulosidade. Entretanto, pode ser esperada uma relação estreita entre total de radiação solar e a produção de uma cultura densa, com pequena perda de luz. BAKER e MUSGRAVE (1964) verificaram, em condições de campo, que uma população

de plantas de milho em concentrações normais de CO₂ e índice de área foliar maior do que 6 dificilmente alcançará o ponto de saturação de luz e, por conseguinte, o limite máximo de fotossíntese.

2.2. Influência do sistema de preparo do solo na produtividade do milho

A cultura do milho se ressentem muito da falta de aeração causada por uma drenagem insuficiente, por isto deve ser destinado ao milho, preferivelmente, solos férteis, profundos, soltos e de boa permeabilidade à água e ao ar. A compactação do solo, segundo TAYLOR et alii (1964) e BEZERRA DE OLIVEIRA (1967), impede o desenvolvimento das raízes, de modo que o espaço poroso do solo por eles explorado é pequeno, provocando uma absorção deficiente de nutrientes pela cultura (WIERSUM, 1961; PRIMAVESI, 1964; PRIMAVESI e PRIMAVESI, 1966; PERIGAUD, 1965). Considerando que os sistemas de manejo do solo poderão alterar a geometria dos poros, influenciando a sua estrutura, inúmeros pesquisadores têm estudado métodos alternativos de preparo do solo como (a) cultivo mínimo e plantio direto (PRIMAVESI e PRIMAVESI, 1971; ORTOLANI et alii, 1981); (b) enxada rotativa (PRIMAVESI e PRIMAVESI, 1971; ORTOLANI et alii, 1981); (c) subsolagem (SILVA, 1973a,

b, citado por VIEGAS, 1980; ORTOLANI et alii, 1981); e (d) o preparo convencional, que consiste de aração e gradagem (SÁ LEITE, 1959; ALOISI SOBRINHO e ARRUDA, 1960; MARQUES e BERTONI, 1961; BENEZ et alii, 1979; ORTOLANI et alii, 1981). Portanto, se reveste de suma importância para este trabalho, descrever dados obtidos por pesquisadores brasileiros nas nossas condições de clima e solo.

Em 1959, SÁ LEITE, estudando diferentes sistemas de preparo do solo para a semeadura do milho, no Estado do Rio Grande do Sul, verificou uma pequena mas constante vantagem de uma sobre duas arações. E que a aração profunda, além de mais dispendiosa, não se mostrou superior àquela de profundidade normal de 30-35 cm, dados estes semelhantes aos obtidos por PRIMAVESI e PRIMAVESI (1971), que observaram um aumento no rendimento com a utilização de aração superficial, em relação à aração profunda e a não-aração. Também ALOISI SOBRINHO e ARRUDA (1960) e MARQUES e BERTONI (1961) procuraram avaliar a produção do milho através dos sistemas de preparo do solo, com arações e gradagens. ALOISI SOBRINHO e ARRUDA (1960) trabalharam o solo com aração e gradagem complementar, em comparação com o preparo à enxada, para evitar a desagregação do solo. A diferença foi altamente significativa a favor do preparo mecânico, correspondendo a um rendimento de 2267 kg/ha para o preparo mecânico e 1746 kg/ha para o superficial. MARQUES e BERTONI (1961), durante sete

anos consecutivos, estudaram estes sistemas e verificaram que o uso do arado comum proporciona produções mais altas do que as obtidas com outros sistemas, inclusive com o arado de superfície. Em solo de estrutura mais compacta, duas arações apresentam ligeira vantagem (cerca de 4% de aumento na produção). Em área mais infestada de ervas daninhas verificaram também aumento da ordem de 13% na produção, com duas arações. Em solo de estrutura mais solta, apenas uma aração é suficiente. O efeito induzido pela roda do trator na população de plantas, devido às várias passagens para arações e gradagens, foi estudado por BENEZ et alii (1979). Os resultados obtidos revelam que, em solo arenoso, a compactação induzida pela roda do trator foi benéfica na obtenção de boas populações de plantas na época da colheita, somente para o preparo do solo com uma aração, sendo prejudicial para uma aração e uma gradagem, duas arações e uma gradagem, uma aração e uma gradagem e uma aração e duas gradagens.

Mais recentemente, SILVA et alii (1973 a,b), citado por VIEGAS (1980), observaram que a subsolagem em comparação com o emprego dos arados de discos e aiveca, na produção do milho, não favorece, chegando a prejudicar em 25% a produção. As produções médias foram de 4408,0; 4590,0 e 5839,0 kg/ha, para subsolagem, arado de discos e arado de aiveca, respectivamente. Ao analisar o efeito da profundidade da subsolagem, verificaram que, os resultados não foram

compensadores, principalmente devido ao custo desta operação. ORTOLANI et alii (1981), avaliando a resistência do milho ao acamamento, em diferentes preparos do solo, como convencional (aração e gradagem), subsolagem mais grade pesada, somente grade pesada, plantio direto e enxada rotativa, puderam concluir que os diferentes sistemas de preparo do solo não influíram nos caracteres resistência mecânica do colmo e porcentagem de plantas quebradas, o mesmo não ocorrendo com os caracteres diâmetro do colmo e produção de grãos, para os quais os sistemas convencional e enxada rotativa mostraram-se superiores aos demais.

Muito provavelmente, os diferentes sistemas de preparo do solo influem na profundidade do sistema radicular e no tipo de ramificações das raízes. Isto se reveste de grande importância, devido a serem estas raízes os elementos que melhor respondem pelas diferenças do grau de tolerância à seca das plantas cultivadas. Portanto, existe uma íntima associação entre o crescimento das raízes e o das partes aéreas, sendo que a relação parte aérea/sistema radicular (A/R) varia com os fatores ambientais e também nas várias fases do crescimento das plantas. FOTH (1962) constatou que ocorre mudanças consideráveis na taxa de crescimento da parte aérea como da parte radicular, durante o período de crescimento do milho, e que o desenvolvimento dos grãos aconteceu principalmente logo que o crescimento radicular cessou,

o que foi associado a um aumento da relação parte aérea/sistema radicular. Esta afirmativa é comprovada por MENGEL e BARBER (1974) que, estudando o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular do milho em condições de campo, verificaram que a máxima densidade de raízes foi de $4,1 \text{ cm/cm}^3$, na camada de 0-15 cm de profundidade, aos 79 dias. A massa e o comprimento de raízes frescas tiveram um incremento até 80 dias após o plantio, mantiveram-se constantes por uns 14 dias, e depois decresceram rapidamente no estágio reprodutivo da planta. A produção de grão obtida foi de 6160 kg/ha em 1970 e 11700 kg/ha em 1971. GERARD et alii (1982) afirmaram que a compactação é o fator mais importante de influência no crescimento de raízes e produtividade de culturas, devido influenciar numa propriedade fundamental do solo chamada porosidade. CRUZ e TAMES (1972), estudando a distribuição do sistema radicular de um cultivar de milho híbrido de ciclo curto, em cultivo irrigado em um solo franco, verificaram que mais de 60% da massa total de raízes das amostras encontrava-se nos 20 cm superficiais do solo, e depois da polinização, quando praticamente cessa o crescimento radicular, a máxima penetração alcançada pelas raízes foi ligeiramente inferior a um metro.

Estes resultados são confirmados por ESPINOZA (1982), que estudou a distribuição de raízes dos cultivares Cargill 111, AG 259 e AG 401, em um Latossolo Vermelho-Escu-

ro (Typic Haplustox) de cerrado do Distrito Federal. Os dados obtidos por este pesquisador indicaram que não houve diferença entre os cultivares quanto à densidade radicular para as diferentes profundidades do solo, quando submetidas ou não ao déficit hídrico. E a distribuição, em massa, de raízes mostrou uma concentração de 60 a 80% nas primeiras camadas do perfil do solo, e a partir dos 40 cm, a percentagem de distribuição diminuiu até 10-15%.

2.3. Densidade de plantas

Para determinada condição de solo, clima, cultivar e tratos culturais, existe um número de plantas por unidade de área que conduz a mais alta produção. Considera-se como limite, o número máximo de plantas que não concorram entre si por nutrientes, água e luz. Portanto, locais onde o solo é mais fértil e não esteja sujeito à seca, comportam maior número de plantas. Quando se modifica o espaçamento entre-linhas e/ou população de plantas, o estudo da produção se torna muito complexo, devido ao fato de surgir as mais variadas reações por parte da comunidade de plantas. Isto tem levado ao surgimento de inúmeros trabalhos no mundo inteiro, sobre a quantificação dos efeitos da modificação da população de plantas, entre os quais podem-se citar: TANNER

et alii (1960), YAO e SHAW (1964), DALE e SHAW (1965), ALESSI e POWER (1974, 1975), ALVIM e ALVIM (1969), GALVÃO et alii (1969), RUMAWAS et alii (1971), WINKLER (1972), LEITE e PATERNIANI (1973), GALVÃO e PATERNIANI (1975), CHING CHOY et alii (1977), MOLL e KAMPRATH (1977), MUDSTOCK (1978) e MACHADO et alii (1982).

Segundo GALVÃO et alii (1969) que estudaram o efeito da população de plantas e dos níveis de nitrogênio sobre a produção em dois ensaios realizados em Viçosa, Minas Gerais, sendo o primeiro com populações de 40, 50, 60 e 70 mil plantas por hectare; e o segundo com populações de 30, 40, 50 e 60 mil plantas por hectare. As maiores produções foram obtidas com populações variando de 40 a 60 mil plantas por hectare. A população ótima de plantas para grãos e forragem é da ordem de 30000 e 40000 plantas por hectare, segundo ALESSI e POWER (1974). Contudo, GALVÃO e PATERNIANI (1975) verificaram que mesmo nas densidades atualmente recomendadas, 40000 e 50000 plantas por hectare, que são populações moderadas, quando se aplicam adubações adequadas, observa-se, com frequência, elevado grau de acamamento e quebra de plantas, prejudicando a produção e tornando desaconselhável a colheita mecânica.

Em Itabuna, Bahia, ALVIM e ALVIM (1969) determinaram em ambiente tropical a eficiência da conversão da energia luminosa do milho e do feijão quando plantados em di

ferentes densidades. Verificaram que tanto a massa de matéria seca como a área foliar por planta diminuíram com o aumento de densidade de plantio e que a consorciação de culturas, em todas as densidades, ocasionou decréscimo na produção de matéria seca e área foliar por planta no caso do feijão e aumento no caso do milho. Já RUMAWAS et alii (1971) estudaram o desenvolvimento e produtividade de um milho híbrido, em uma população de 44000 plantas por hectare, com espaçamento de 50 e 75 cm entre-linhas. Verificaram que a porcentagem de carboidratos das plantas adultas em espaçamentos de 50 e 75 cm entre-linhas, foram similares e também a produtividade não apresentou diferenças estatisticamente significativas. Resultados semelhantes aos obtidos por WINKLER (1972), que mantendo a população em 60000 plantas por hectare, e mudando o sistema de espaçamento (1,00 x 0,25 e 0,5 x 0,5 m) não verificou diferenças significativas quanto à produção. Entretanto, LEITE e PATERNIANI (1973) analisaram o comportamento do milho braquítico em duas diferentes densidades de plantio (1,00 e 0,75 m entre-linhas) e três populações: 40, 80 e 120 mil plantas por hectare. Chegaram à conclusão que diminuindo o espaçamento entre-linhas, mas mantendo a mesma população entre-plantas, houve aumento da produção, da massa média da espiga e da grossura do colmo. No Rio Grande do Sul, MUDSTOCK (1978), estudando um híbrido precoce em diversos espaçamentos entre-linhas, procurou determinar a reação deste a sua interação com o número de plantas por uni

dade de área, testando qual a fase do desenvolvimento seria mais afetada pelos diferentes arranjos das plantas no solo. No primeiro ano não houve efeito do espaçamento entre-linhas no rendimento de grãos em razão da forte deficiência hídrica que ocorreu no período de polinização. No segundo ano, as linhas com afastamento de 50 cm foram superiores em rendimento de grãos às linhas com 80 a 110 cm apenas nas populações de 70000 e 90000 plantas por hectare. Em baixas populações a disposição das plantas não afetou nenhuma das características estudadas.

Em muitos estudos relacionados com o efeito da densidade de plantio, o fornecimento da água tem sido geralmente suficiente para satisfazer as necessidades da cultura. Conseqüentemente, a teoria de que uma elevada população aumenta a produtividade, devido à maior exposição à radiação solar e CO_2 , pode não ser aplicada em regiões onde a água pode limitar os rendimentos das culturas. Contudo, DALE e SHAW (1965) não observaram efeito da densidade de plantio de 20000 até 40000 plantas por hectare, sobre o rendimento do milho, em condições de déficit hídrico induzido. ALESSI e POWER (1975) mencionaram que na região Centro-Oeste dos Estados Unidos, sob condições semi-áridas, os melhores rendimentos foram obtidos com plantios de 30000 até 40000 plantas por hectare. O maior espaçamento originou espigas de maior peso e em maior número por planta. MOLL e KAMPRATH (1977) afirmam

que, sob condições em que a água do solo não é um fator limi
tante, um aumento na densidade de plantio, até 50000 plantas
por hectare, resulta em maiores rendimentos por hectare. TAN
NER et alii (1960) postularam que elevadas populações de mi-
lho apresentariam uma evapotranspiração (ET) mais elevada do
que as baixas populações, o que seria devido à diferença na
magnitude do componente transpiração da ET, embora YAO e
SHAW (1964) tenham encontrado que as maiores densidades de
plantio apresentam ET mais baixa, por ser menor a radiação
líquida que penetra na vegetação. Segundo CHING CHOY et alii
(1977), a literatura parece indicar que no caso de muitas cul-
turas com plantios em espaçamentos estreitos se obtém um som
breamento mais completo do solo, reduzindo, assim, a radia-
ção líquida que chega a todas as folhas da planta. Tal fato
gera uma ET que pode ser menor que aquela apresentada pela
mesma cultura, quando em menor densidade de plantio. Mais
recentemente, MACHADO et alii (1982), testando os cultivares
de milho Erecta Dente, Erecta Flint, Normal Dente e Normal
Flint, verificaram que a variação na densidade de plantio a-
carretou alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas,
sem, no entanto, alterar a distribuição relativa de matéria
seca entre os diversos órgãos componentes da planta.

2.4. Comportamento dos parâmetros fisiológicos na cultura

Ao analisar uma curva de crescimento de um vegetal em termos de massa da matéria seca ou altura do caule, observa-se que existem diferentes fases: um período inicial mais lento, seguido de uma fase de rápido aumento e finalmente um decréscimo na acumulação da matéria seca, ou na altura da planta. No início, a planta depende de reservas da semente para a produção dos órgãos que compõem a plântula. Após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, os processos anabólicos, dependentes da fotossíntese, se traduzem por um rápido crescimento. Atingindo o tamanho definitivo, a planta inicia uma fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica (MAGALHÃES, 1979). O crescimento de uma planta pode ser medido obtendo-se sua altura, mas através da utilização da análise quantitativa de crescimento, obtêm-se dados mais precisos e um número muito maior de informações. Segundo MAGALHÃES (1979), é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética avaliada através da acumulação de matéria seca. As técnicas de análise de crescimento foram desenvolvidas há mais de 60 anos pelos fisiologistas vegetais BLACKMAN (1919), BRIGS et alii (1920) e, mais recentemente, por BLACKMAN (1968), e é considerada in-

ternacionalmente como método padrão para se obter a estimativa do rendimento biológico das comunidades vegetais. A formulação, o significado e a análise dos índices fisiológicos estão descritos em diversos textos, por exemplo, MONTGOMERY (1911), BRIGGS et alii (1920), FISHER (1921), GREGORY (1926), WATSON (1952, 1958), RADFORD (1967), RICHARDS (1969), KVET et alii (1971), EAGLES (1971a,b), EVANS (1972), WALLACE et alii (1972), DUNCAN (1975), HUNT (1978), MAGALHÃES (1979) e REIS e MULLER (1979).

Mais especificamente, a análise quantitativa do crescimento para a cultura do milho tem sido utilizada por vários pesquisadores, podendo-se citar, dentre outros, ALLISON (1964a,b), WILLIAMS et alii (1965a,b), ALVIM e ALVIM (1969), LOPES e MAESTRI (1973), SILVA et alii (1974), LOPES e LOPES (1977), ROSSIELLO et alii (1981) e MACHADO et alii (1982). Deve-se salientar que o principal parâmetro mensurável é indiscutivelmente a área foliar desenvolvida pelo vegetal (WATSON, 1952) e, em menor grau, a taxa de assimilação líquida (TAL) e a taxa de crescimento relativo (TCR), apesar de serem estes últimos muito variáveis com a idade da planta e a densidade de cultivo, merecendo por isto a restrição de muitos. Segundo WATSON (1952) e ALLISON (1964a), de um modo geral, a área foliar é o elemento mais importante, devido às variações na produção de matéria seca estarem associadas, principalmente, com a variação da área foliar. A soma das áreas

de todas as folhas, dividida pela unidade de área do solo, constitui, segundo WATSON (1952), o que se chama de índice de área foliar (IAF), elemento que pode ser tomado como medida do sistema fotossintético. Segundo ALLISON (1964b), a eficiência fotossintética em milho apresenta um decréscimo substancial do topo para a base das folhas da planta, evidentemente como resultado do decréscimo do suprimento de luz e provavelmente também pelo aumento da idade das folhas. Verificou-se também que as lâminas e bainhas das folhas contribuem com quatro quintos e um quinto na produção de matéria seca, respectivamente, em relação às suas respectivas áreas.

À medida que aumenta o índice de área foliar (IAF), a absorção de luz e a taxa de produção de matéria seca também aumentam, embora muitos dados indiquem que o índice de área foliar ótimo varia com a cultivar e com a estação do ano (LOOMIS e WILLIAMS, 1963). Entretanto, WILLIAMS et alii (1965a e b), demonstraram que a eficiência de conversão da energia solar é de apenas 1%, significando uma perda quase total da radiação solar que chega à superfície terrestre. WATSON (1956) constatou que a fotossíntese realizada pela folha não é o único fator determinante na produção de grãos, pois este processo, nas espigas de trigo, produz cerca de um terço da matéria seca dos grãos, sendo que os pedúnculos e bainhas das folhas também contribuem para o enchimento dos grãos. ALLISON (1964a) e MONTEITH (1969) definiram que a ta

xa de produção de matéria seca para uma cultura pode ser expressa como o produto da área foliar pela taxa de assimilação líquida. Existe, entretanto, uma relação inversa entre o índice de área foliar e a taxa de assimilação líquida; nos valores mais elevados do índice de área foliar, causam mútuo sombreamento das folhas. Portanto, um aumento na área foliar não aumenta necessariamente a produção de matéria seca em culturas bem adubadas e irrigadas. CHANG (1968) constatou que, após o florescimento, a assimilação líquida cai bruscamente em razão da senescência das folhas, fator este que levou WATSON (1956) a sugerir que a produção de grãos pode ser aumentada se mantiver a área foliar em alto nível por mais tempo. Em muitas culturas anuais, onde as populações de plantas permitem rápido desenvolvimento com alto índice de área foliar, podem resultar baixa produção e má qualidade do produto (LOOMIS e WILLIAMS, 1963). Já, ENGLEDDOW e WADHAM (1923), citados por MEDEIROS e SCHLEHUBER (1971) estudaram a produção e seus componentes em cereais, isto é, o número de plantas por unidade de área, o número de espigas por plantas, o número de grãos por espiga e a massa de grãos. Eles tentaram, através de um sistema de síntese de hibridação, acumular numa planta uma combinação ótima dos componentes da produção. WATSON (1952) determinou que tais estudos não definiam os caracteres que controlam a produção. STOSKOPF e REINBERGS (1966) fizeram uma severa crítica aos chamados componentes da produção, afirmando que eles não determinam a

produção, pois são a própria produção. BONNER e GALSTON (1955) ressaltaram que no crescimento das plantas e de suas partes, além de substâncias minerais, absorvidas pelas raízes e hidratos de carbono, sintetizados nas folhas, existe a influência de substâncias químicas especiais, os fitohormônios, que determinam a correlação entre as partes da planta em crescimento.

No Brasil, ALVIM e ALVIM (1969) estudaram o efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (Zea mays L.) e pelo feijão (Phaseolus vulgaris L.), em culturas exclusivas e consorciadas. Obtiveram que a taxa de produção de matéria seca aumentou na proporção direta com a densidade de plantas, atingindo o valor máximo de $57,7 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com o milho na densidade de 100 plantas/ m^2 , correspondendo a uma eficiência de conversão de energia luminosa de 10,5% durante o primeiro mês de cultivo. O índice de Área Foliar variou para o milho, de 2,8 a 21,7 na cultura exclusiva e de 1,4 a 11,0 na consorciada, ultrapassando, nas maiores densidades de plantio, a média deste índice em cultivos tradicionais de milho, que varia de 4,0 a 5,0. Também, LOPES e MAESTRI (1973) analisaram o crescimento e a conversão da energia solar em populações de milho. As conclusões que chegaram estes pesquisadores foram que a produção biológica foi maior para as populações mais densas, enquanto que a produção econômica não diferiu estatisticamente nas três populações (4,6 e 8 plantas/ m^2). Os índices de á-

rea foliar máximos foram de 4,4, 5,8 e 6,8 em ordem crescente de populações, atingidos em torno do 92º dia após emergência. A taxa de assimilação líquida apresentou a tendência de menores densidades darem valores superiores. A taxa de crescimento relativo apresentou valores iniciais altos, decrescendo rapidamente até o 40º dia após a emergência, quando as curvas das três densidades se confundem, tendência esta similar à razão de área foliar. A eficiência de conversão da energia solar mostrou curvas irregulares, com valores máximos de 2,9, 3,4 e 3,6%, respectivamente, para as densidades de 4,6 e 8 plantas/m², no início do pendoamento. Na Estação Experimental Central do Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo, SILVA et alii (1974) estudaram o efeito da densidade de população e da conversão da energia solar em dois híbridos simples de milho, o HS 1227, do tipo duro, e HS 7777, de endosperma dentado. Verificaram que, apesar de não ter sido detectada diferença no Índice de Área Foliar dos híbridos, os parâmetros Produtividade Biológica, Taxa de Crescimento da Cultura e Eficiência Fotossintética mostraram ser afetados por genótipos na fase de maturação. O Índice de Área Foliar no plantio menos denso se estabilizou aos 48 dias após a emergência, fase correspondente à elongação do colmo. Na população mais densa, tal tendência ocorreu aos 65 dias, na fase do florescimento. O efeito da densidade de população foi altamente significativo sobre o Índice de área foliar na fase do florescimento, que passou de 3,46 a 6,08

quando o número de plantas foi duplicado. Esse aumento de 76% indica que o espaçamento parece ser um dos componentes mais importantes para explicar o aumento do índice de área foliar. Na fase de alongação do colmo, a produtividade biológica passou de 138 a 354 g.m⁻², correspondendo a um aumento máximo de 155% com relação à produtividade biológica obtida aos 36 dias. A taxa de assimilação líquida apresentou valor médio de 0,050 g.dm⁻².dia⁻¹, enquanto a taxa de crescimento relativo foi de 0,118 g.g⁻¹.dia⁻¹. A eficiência de conversão de energia solar foi cerca de 8%, correspondente a um índice de área foliar em torno de 6,3. LOPES e LOPES (1977) analisaram o crescimento e a conversão da energia solar em população de milho, em Pelotas, RS, no ano agrícola de 1974/75. Verificaram que a matéria seca total máxima de 1256,4 g.m⁻² foi atingida aos 121 dias após emergência. O valor médio do índice de área foliar dos dois híbridos (AGRO-CERES 196 e SAVE 231) atingiu o valor máximo de 2,9 aos 104 dias após emergência, correspondendo à fase do espigamento. A taxa de produção de matéria seca dos híbridos não acompanhou os índices de área foliar, pois o valor máximo obtido, no 68º dia, foi de 18,2 g.m⁻².dia⁻¹, não coincidindo com o máximo índice de área foliar encontrado. A taxa de assimilação líquida apresentou valores inicialmente altos, para assumir valores negativos no final do ciclo dos híbridos. A eficiência de conversão da energia solar, cujo valor máximo foi de 2,3%, ocorreu aos 60 dias da emergência, na média dos dois

híbridos.

MACHADO et alii (1982) analisaram quatro variedades de milho em três densidades, através de funções matemáticas ajustadas. Obtiveram dados em que a análise da variância revelou não haver diferença significativa entre as quatro variedades e a inexistência de interação com a densidade de plantio. Os rendimentos biológicos foram de 1754, 1479 e 1136 g.m⁻², para as densidades de 66,6, 50,0 e 33,3 plantas/m², correspondentes aos espaçamentos de 0,75, 1,00 e 1,50 m entre-linhas. Na ordem decrescente da densidade de plantas, a taxa de crescimento da cultura (TCC) atingiu valores máximos de 35, 30 e 24 g.m⁻².dia⁻¹. A taxa de crescimento da cultura, inicialmente foi pequena aumentando rapidamente até atingir o máximo por ocasião do florescimento, e diminuindo posteriormente até a maturação. A taxa de crescimento relativo (TCR) foi elevada no início do ciclo, decaindo continuamente até a maturação. A razão de área foliar (RAF) apresentou um máximo ao redor de 30 dias após emergência, decaindo posteriormente. A máxima razão de área foliar (RAF) acarretou a mínima taxa de assimilação líquida (TAL) no mesmo período. Os efeitos do secamento progressivo do solo sobre o conteúdo hídrico relativo, a área foliar, a taxa de crescimento relativo, a taxa de assimilação líquida e o nível de carboidratos solúveis em milho foram estudados em condições de casa de vegetação por ROSSIELLO et alii (1981). Estes pesquisadores verificaram que a deficiência hídrica ten-

deu a reduzir mais a acumulação de matéria seca na parte aérea do que nas raízes, 36,4 e 12,6%, respectivamente de redução com respeito aos controles, no final do período. Os efeitos sobre a área foliar dentro do grupo irrigado somente se manifestaram a partir do terceiro dia, devido a um abaixamento da ordem de 6 a 7% no conteúdo hídrico relativo nos primeiros dias, suficientes para suprimir a expansão foliar nestas plantas. Dentro do grupo não irrigado, a tendência da área foliar foi para diminuição. No último dia, a diferença com respeito ao controle diário foi de 37%. A análise de regressão mostrou que a taxa de assimilação líquida declinou linearmente com a diminuição de hidratação foliar. Sob condições de secamento progressivo do solo, a taxa de crescimento relativo declinou de forma contínua, refletindo os efeitos diretos da deficiência hídrica sobre a área foliar e a assimilação líquida. Quando as taxas de crescimento não são ótimas, os carboidratos solúveis tendem a se acumular e são usados como fontes de energia para o crescimento posterior, quando as folhas se reidratam.

Em resumo, de todos os fatores externos citados nesta revisão e que envolvem o crescimento e desenvolvimento de uma planta em uma região tropical, o que parece influir mais sobre o potencial reprodutivo, é o fator água. A sua distribuição irregular durante o ciclo da cultura permite que ocorra muitas vezes deficiências hídricas em períodos críticos como floração e estágio reprodutivo no caso do mi-

lho. Outros fatores como temperatura, preparo do solo e manejo de plantas, proporcionam uma melhor condição para que a planta possa exibir todo o seu potencial genético quanto a produção, permitindo com isto um máximo de aproveitamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental

A área experimental onde foi conduzido este experimento, localiza-se dentro do campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), na cidade de Piracicaba, SP. O local situa-se a 100 m do Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia e encontra-se a 580 m acima do nível do mar, numa latitude de $22^{\circ}42'30''S$ e numa longitude de $47^{\circ}38'00''W$.

3.2. Caracterização da área experimental

O local possui relevo ondulado, mas a área experimental era praticamente plana, com declividade em torno de 6% no sentido norte-sul (Figura 1). Muitas culturas foram pesquisadas anteriormente nessa área, sendo as princi-

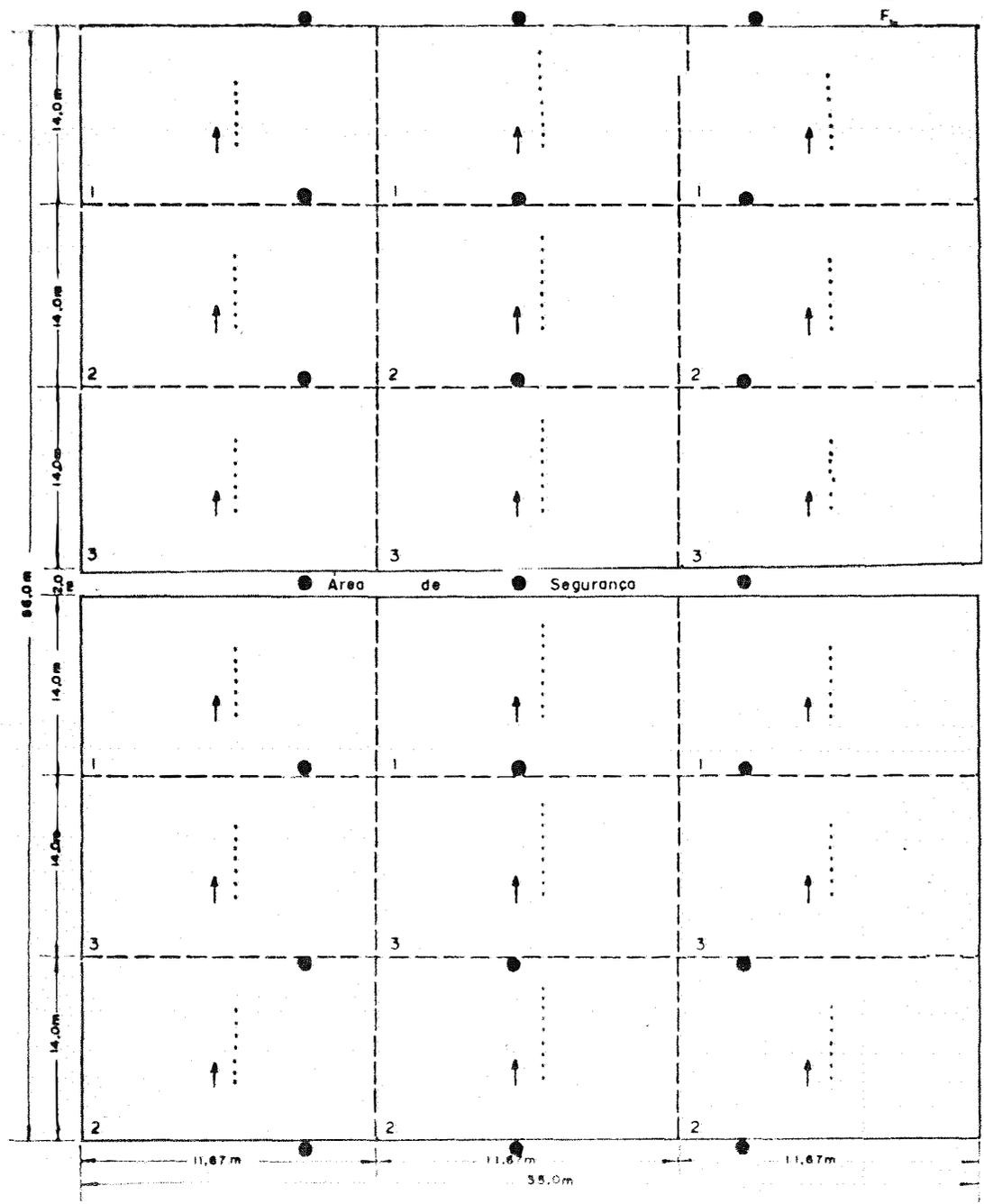
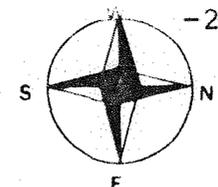


FIGURA 1 - Dimensões da área experimental, sob dois sistemas de preparo do solo: convencional (superior) e com subsolagem (inferior). Distribuição dos tensiômetros (.) na ordem crescente (↑) de profundidades (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 150 e 195 cm). Espaçamentos entre-linhas de 0,70 (1), 0,90 (2) e 1,10 m (3) e distribuição dos aspersores (●) para irrigação durante o ciclo do milho (*Zea mays* L.).

país: as pastagens, o café, o milho, a cana-de-açúcar, o arroz de sequeiro e, mais recentemente, o feijão.

3.2.1. Dimensões da área experimental

A área experimental tem um total de 3325 m², com 2939,2 m² de área útil. As seis parcelas que compõem o experimento possuem dimensão de 14 x 35 m e estão distribuídas em três para cada preparo do solo (convencional, subsolagem), conforme pode ser observado na Figura 1.

3.2.2. Solo

O solo do local é classificado por RANZANI et alii (1966) como uma Terra Roxa Estruturada (Alfisol, de acordo com a 7ª aproximação), série "Luiz de Queiroz". De acordo com a classificação americana (EUA, 1975), é um Paleudalf óxido. Este tipo de solo apresenta um perfil homogêneo e muito profundo, com o lençol freático a vários metros abaixo de sua superfície. Segundo Moniz e Jackson, citados por LIBARDI (1984), estudando este mesmo solo sob o ponto de vista mineralógico, em local diferente, encontraram que o teor de óxido de ferro (Fe₂O₃) é de 15,3% no solo seco ao ar e que

na argila livre de Óxido de ferro existem 48% de caulinita, 10,7% de mica + vermiculita, 4,3% de gibsita e 31,7% de matéria amorfo.

3.2.3. Planta

Para estudo neste trabalho, escolheu-se um cultivar de milho (AGROCERES 401) que, além de ter bastante aceitação comercial na região, é um híbrido que se adapta às condições de semeadura tardia para a região centro-sul do país. Outro fator que influenciou na escolha de um híbrido é que estes apresentam alta capacidade de produção, superando amplamente qualquer outro cultivar disponível, principalmente quando em semeaduras tardias. O cultivar AGROCERES 401 apresenta como principais características: florescimento médio em 61 dias para o Brasil central, altura média de plantas 2,50 m, altura média de inserção das espigas 1,50 m, cor do sabugo branca, grão de cor alaranjada e tipo semi-duro (1/2 dente). É um híbrido indicado para colheita mecanizada, pois é resistente ao tombamento. A população média de plantas recomendada por hectare é de 45000 plantas e o espaçamento entre linhas de 0,90 a 1,00 m.

3.2.4. Clima

O clima da região, segundo a classificação climática de Wilhelm Köppen, que associa estudo da vegetação

com valores numéricos de temperatura e precipitação das regiões, é tipo Cwa: sub-tropical úmido de inverno seco, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a média do mês mais quente entre 22 e 24°C . Dados meteorológicos coletados na estação meteorológica permanente instalada no local desde 1917, e pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, mostram que o total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa, em média, 30 mm, com um total anual oscilando entre 1200 e 1300 mm (1247 mm), e que a maior parte da precipitação ocorre durante o verão (de novembro a fevereiro), principalmente como chuvas de alta intensidade e curta duração. VILLA NOVA et alii (1973) também observaram outros parâmetros climáticos, como: a temperatura média anual do ar é de $20,8^{\circ}\text{C}$, sendo que a mínima ocorre em julho e a máxima em janeiro, na ordem de 10 e 30°C , respectivamente. O período de brilho solar médio anual é de $6 \text{ h} \cdot \text{dia}^{-1}$, a umidade relativa média anual é 69% e a velocidade do vento média anual é $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.3. Instalação do experimento

3.3.1. Preparo do solo

Utilizaram-se dois tipos de preparo do solo: convencional, fazendo-se uma aração e duas gradagens com gra-

de pesada e grade leve; subsolagem a 50 cm, seguida de uma gradagem pesada e uma gradagem leve. O subsolador era do tipo bico de pato com duas hastes distanciadas entre si de 35 cm, que foi passado uma vez no sentido do declive norte-sul e duas vezes no sentido leste-oeste do experimento. A gradagem pesada atingiu uma profundidade média de 30 cm em ambos os tratamentos, enquanto a gradagem leve serviu para um melhor destorroamento do solo. Antes da sementeira, passou-se uma enxada rotativa em toda a área experimental para uma melhor uniformização dos primeiros 6 a 7 cm do solo.

3.3.2. Sementeira e população de plantas

A sementeira foi realizada no dia 7 de fevereiro de 1984, manualmente, em sulcos feitos com enxada, com aproximadamente 10 cm de profundidade. Foram semeadas 30% a mais de sementes como margem de segurança, para se obter uma população proporcional a 50000 plantas/ha posteriormente à emergência. Após realizada a sementeira, houve uma irrigação na área experimental, num período de 1 hora, para que fosse homogeneizada a umidade do solo. A emergência ocorreu no sexto dia após a sementeira e no décimo-quarto dia processou-se o desbaste, para uniformização do espaçamento entre plantas nas linhas.

3.4. Práticas culturais

3.4.1. Adubação

A adubação constou da aplicação de quantidades de adubo proporcionais a: 60 Kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples; 30 Kg/ha de K_2O , na forma de cloreto de potássio, e 30 Kg/ha de N, na forma de uréia. Todos os cálculos foram realizados considerando a área, o espaçamento e o comprimento da linha de plantas na parcela.

O nitrogênio foi aplicado 1/3 na semeadura (10 Kg/ha) e 2/3 em cobertura (20 Kg/ha), aos 45 dias após a semeadura. Os adubos foram pesados separadamente, misturados e colocados em copos plásticos, em quantidades equivalentes a uma linha, onde foram distribuídos e incorporados manualmente nos sulcos. Em cada linha dos dois preparos do solo foram distribuídos 327, 420, 513 g de P_2O_5 ; 49, 63, 77 g de K_2O , e 43, 55, 68 de N para os espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente.

3.4.2. Capinas, aplicações de defensivos e amontoa

As capinas foram em número de duas, no 18º e 54º dia após a semeadura, para evitar a competição por água, luz e nutrientes, das invasoras com o milho. Antes da implantação do experimento, a área apresentou-se infestada de tiririca (Cyperus rotundus L.), sendo necessária a aplicação

de Roundup (Glyphosate), na proporção de 3,0 litros/ha. No decorrer do trabalho, foram precisas aplicações de inseticida Folidol EM 50% (Parathion methyl), devido à presença de vaquinhas (Diabrotica speciosa) e a lagarta do cartucho (Spo-doptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae)), na proporção de 20 cm³/20 litros de água. Estas aplicações foram efetuadas no 16º, 20º, 23º e 36º dia após a semeadura. A amontoa foi realizada no dia 19 de março, isto é, 41 dias após a semeadura, com a finalidade de juntar terra próxima às raízes adventícias das plantas.

3.4.3. Irrigações

O controle da irrigação foi realizado através das observações diárias de tensiômetros instalados à profundidade de 45 cm na área experimental, devido ser a profundidade com maior concentração radicular no máximo desenvolvimento da cultura. As parcelas experimentais foram irrigadas toda vez que a tensão da água nessa profundidade do solo atingia 0,08 Mpa. Foram instalados de um modo longitudinal à área experimental, três linhas de sete aspersores, totalizando 21 aspersores, distribuídos conforme mostra a Figura 1. Ajustou-se a pressão desejada de água para os aspersores por meio de um registro instalado na saída da bomba, sendo os aspersores de engate rápido, com válvula automática, colocados sobre tubos de elevação de PVC de 25,4 mm de diâmetro e altura de 2,00, a fim de que houvesse perfeita cobertura de irri

TABELA 1 - Identificação dos estádios de desenvolvimento de u ma cultura de milho (Zea mays L.), segundo HANWAY (1963). Piracicaba, SP, 1984.

Estádios de Desenvolvimento da Cultura	Características Verificadas na Cultura do Milho
0	Emergência de plantas no solo.
0,5	Duas folhas completamente formadas, uma <u>se</u> mana após plantas emergirem.
1	Quatro folhas completamente formadas, duas semanas após plantas emergirem.
1,5	Seis folhas completamente formadas, <u>três</u> semanas após plantas emergirem.
2	Oito folhas completamente formadas, <u>qua</u> tro semanas após plantas emergirem.
2,5	Dez folhas completamente formadas, <u>cinco</u> semanas após plantas emergirem.
3	Doze folhas completamente formadas, <u>seis</u> semanas após plantas emergirem.
3,5	Quatorze folhas completamente formadas, <u>se</u> te semanas após plantas emergirem.
4	Dezesseis folhas completamente formadas, oito semanas após plantas emergirem.
5	Presença dos estigmas, pólen abrigado, 66 dias após emergência, início do <u>estádio re</u> produtivo.
6	Estágio final da formação dos estigmas, 12 dias após início do <u>estádio re</u> produtivo.
7	Estágio de formação de grão; o grão apre- senta aspecto pastoso, 24 dias após iní- cio do <u>estádio re</u> produtivo.
8	Começo do enchimento de grão propriamente dito; um pequeno número de grãos apresen- ta dentes, 36 dias após início do <u>estádio re</u> produtivo.
9	Todos os grãos completamente dentados, 48 dias após início do <u>estádio re</u> produtivo.
10	Maturação fisiológica, 60 dias após iní- cio do <u>estádio re</u> produtivo.

gação na área experimental, durante todo o ciclo da cultura.

3.5. Determinações realizadas

3.5.1. Fenologia

O acompanhamento diário do ciclo da cultura foi realizado através de observações fenológicas, propostas por HANWAY (1963) (Tabela 1), que permitem a identificação dos estádios de desenvolvimento do milho durante o ciclo.

3.5.2. Análise de raízes

Para a determinação das massas de raízes secas, nas camadas do perfil do solo e, conseqüentemente, sua distribuição no volume de solo, foram abertas duas trincheiras com dois metros de profundidade nas parcelas correspondentes ao espaçamento de 0,90 m. A coleta das amostras foi efetuada aos 71 dias após a semeadura, através de monólitos de solo com 0,20 x 0,20 x 0,20 m, conforme pode ser verificado na Figura 2, seguindo metodologia usada por Gorbing, citado por BOHM (1979); o volume total de solo coletado foi de 1,01 m³ (1,12 x 0,90 x 1,00 m, Figura 2). Cada amostra coletada foi colocada em saco plástico para posterior secagem ao ar, destorroamento e peneiramento. As raízes retidas na peneira (2,0 mm) foram coletadas por catação, lavadas, secadas em estufa com ventilação forçada, a 70°C, e pesadas em balança analítica.

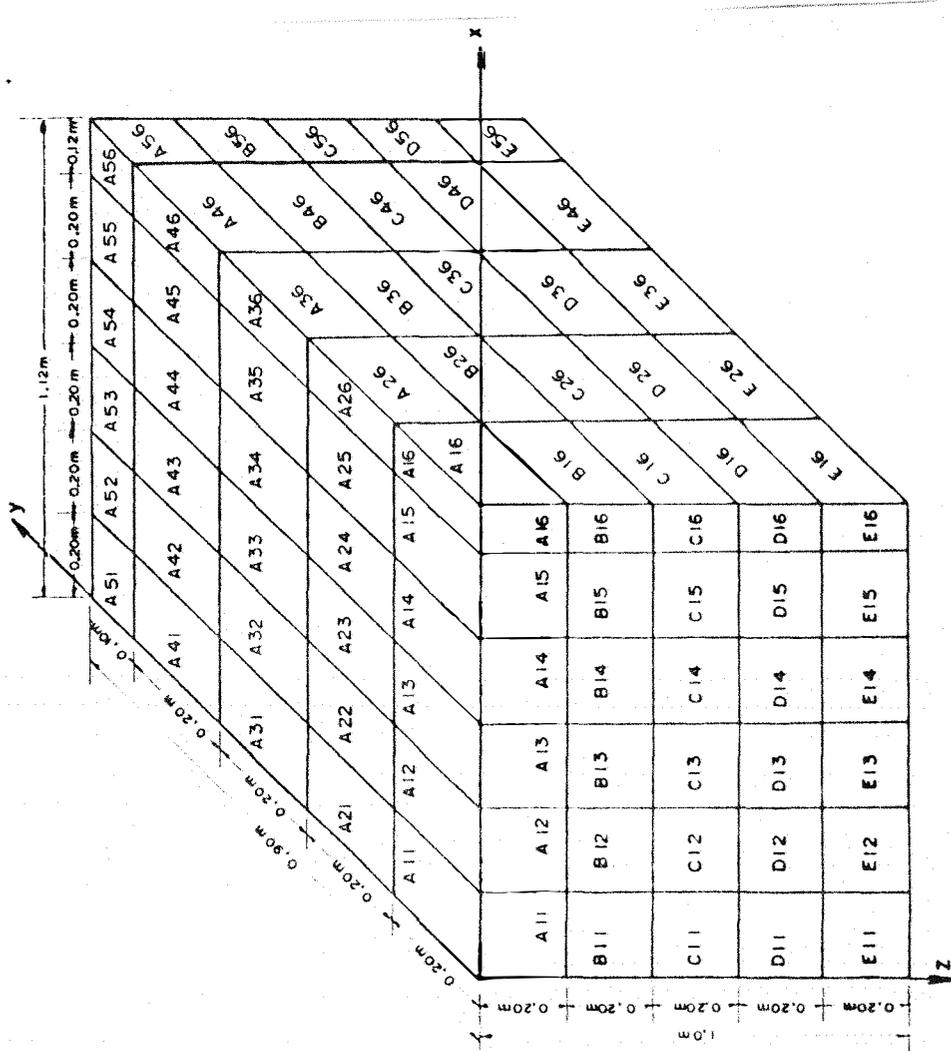


FIGURA 2 - Diagrama demonstrativo do arranjanento dos monólitos de solo, para retirada do solo e raízes de milho, em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada" série "Luiz de Queiroz".

3.5.3. Radiação solar e precipitação

A radiação solar global incidente foi obtida através de dados registrados em piranômetro Eppley, instalado na cúpula do prédio do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, distante 300 m do local do experimento. As características deste instrumento são: Eppley Radiometer Modelo E-48A Serial 13740 - The Eppley Laboratory Inc. Para quantificação dos valores da radiação solar global incidente utilizou-se um integrador eletrônico de áreas da Lambda, Modelo LI 3000, pertencente ao Setor de Climatologia Agrícola do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (RS).

A precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura foi determinada com o auxílio de um pluviômetro do tipo "H.H.", instalado a 1,50 m da superfície do solo, no Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, distante 100 m do experimento.

3.5.4. Características morfológicas

Durante todo o ciclo da cultura foi determinado o número de folhas por planta e altura de plantas, para cada tratamento, com três repetições. Estas observações foram realizadas em intervalos de dez dias, correspondendo a amostragens de 4, 5 e 6 plantas, dos espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. Também foi determinado o n \bar{u}

mero de espigas por planta, para os tratamentos estudados.

3.5.5. Matéria seca

As coletas de plantas para a determinação da matéria seca foram realizadas em intervalos constantes de dez dias, durante o ciclo da cultura. As plantas foram cortadas na linha e ao nível do solo, em número de 4, 5 e 6, para os espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente, nas duas condições de preparo do solo, com três repetições. A seguir, suas partes (folhas, colmos) foram separadas e levadas a uma estufa de ventilação forçada para secagem, a uma temperatura de 70°C, onde permaneceram até atingirem peso constante. A partir do aparecimento dos pendões e espigas, estes foram incluídos no peso dos colmos. Os dados de cada uma das partes das plantas (folhas e colmo) e da planta toda foram submetidos à análise da variância e também testada a regressão que melhor se ajustava a eles.

3.5.6. Área foliar

No laboratório, efetuaram-se as medições do comprimento do limbo (C) e da maior largura (L) de cada folha, de duas plantas, nas três repetições de cada tratamento. A área foliar (A) foi estimada através da expressão $C \times L \times 0,75$, proposta por MONTGOMERY (1911), e utilizada por inúmeros pesquisadores. O somatório das áreas foliares

individuais das plantas permitiram a obtenção da área foliar total de cada planta. As restantes 2, 3 e 4 plantas dos respectivos tratamentos e repetições, cuja massa do total de folhas secas por planta era conhecida, tiveram a estimativa de suas áreas foliares efetuadas a partir da relação entre a média das massas de folhas secas e áreas foliares conhecidas.

3.5.7. Produção por área

Para determinar a produção, por área, de sabugos, de espigas sem palha e de grãos e também do número médio de espigas por planta, foram coletadas amostras de plantas em cada subparcela, perfazendo um total de três repetições, para cada espaçamento no respectivo preparo do solo estudado. A área total de amostragem para cada espaçamento foi de 10,5, 13,5 e 16,5 m², correspondentes a cinco linhas de 1 metro linear.

3.6. Tratamentos

Neste experimento, foram utilizados seis tratamentos, a seguir relacionados: preparo do solo convencional com três espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, e preparo do solo subsolagem, com três espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente.

3.6.1. Delimitação experimental

O delineamento experimental usado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Cada bloco corresponde ao preparo do solo (convencional-subsolagem) e cada parcela corresponde aos espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. As três subparcelas dos tratamentos apresentam $163,38 \text{ m}^2$, correspondentes às repetições para as coletas das amostras de plantas.

3.7. Obtenção de parâmetros fisiológicos

A avaliação deste experimento foi realizada pela Análise Quantitativa de Crescimento, onde foram estudados os seguintes índices fisiológicos: Índice de Área Foliar (IAF), Produtividade Biológica (PB), Taxa de Crescimento da Cultura (TCC), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Assimilação Líquida (TAL) e Razão de Área Foliar (RAF). As definições de tais índices a seguir, foram baseadas nas formulações preconizadas por diversos autores, citados por WATSON (1952).

3.7.1. Índice de Área Foliar (IAF)

É a área foliar total, considerando-se apenas uma página da folha, por unidade de área de terreno ($L^2 \cdot L^{-2}$).

3.7.2. Produtividade Biológica (PB)

É a massa da matéria seca total da planta acumulada por unidade de área de terreno ($M \cdot L^{-2}$). No caso do presente experimento, foi feita uma análise de regressão entre a produtividade biológica com o tempo, ao longo do ciclo da cultura, tendo sido obtido para todos os tratamentos uma equação linear, isto é,

PB = a + bt (1)

3.7.3. Taxa de Crescimento da Cultura (TCC)

Também conhecida como Taxa de Produção de Matéria Seca Total, é a massa da matéria seca total acumulada por unidade de área de terreno e tempo ($M \cdot L^{-2} \cdot T^{-1}$), isto é,

TCC = $\frac{dPB}{dt}$ (2)

Nestas condições, tendo em vista a equação (1), é claro que:

TCC = b (3)

ou seja, a taxa de crescimento da cultura no presente estudo foi constante durante o ciclo e é igual ao coeficiente angular da curva PB x t.

3.7.4. Taxa de Crescimento Relativo

Definida como sendo a taxa de crescimento da cultura (TCC) por unidade de massa de matéria seca da planta (T^{-1}), ou seja,

$$TCR = \frac{1}{PB} \cdot \frac{dPB}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

Sendo $dPB/dt = TCC = \text{constante}$, é evidente que no presente caso, a equação (4) se transforma em:

$$TCR = \frac{TCC}{a + bt} \dots\dots\dots (5)$$

3.7.5. Taxa de Assimilação Líquida (TAL)

Também conhecida por alguns pesquisadores como Taxa de Assimilação Aparente (TAA), é definida como sendo a taxa de crescimento da cultura (TCC) por unidade de área foliar ($M \cdot L^{-2} \cdot T^{-1}$), isto é,

$$TAL = \frac{1}{A} \cdot \frac{dPB}{dt} \dots\dots\dots (6)$$

onde A é a área foliar. A partir da análise de regressão de A x t, a equação obtida neste experimento foi da forma:

$$A = a' + b't + c't^2 \dots\dots\dots (7)$$

portanto, tendo em vista a definição (2) e as equações (3) e (7), teremos que:

$$TAL = \frac{b}{a' + b't + c't^2} \dots\dots\dots (8)$$

3.7.6. Razão de Área Foliar (RAF)

É o quociente entre a área foliar e a massa da matéria seca total da planta, ou entre o índice de área foliar e a produtividade biológica ($M^{-1} \cdot L^2$), isto é:

$$RAF = \frac{A}{Wt} = \frac{IAF}{PB} \dots\dots\dots (9)$$

onde Wt é a massa da matéria seca total da planta. No caso dos resultados deste estudo, a relação entre o índice de área foliar (IAF) e o tempo (t) após a emergência, foi quadrática, do tipo:

$$IAF = a'' + b''t + c''t^2 \dots\dots\dots (10)$$

Portanto, substituindo (1) e (10) em (9), resulta:

$$\text{RAF} = \frac{a'' + b''t + c''t^2}{a + bt} \dots\dots\dots (11)$$

onde a'' , b'' e c'' são iguais a a'/At ; b'/At e c'/At , respectivamente, sendo At a área do terreno (L^2), considerada, no presente caso, para cada espaçamento; a' , b' e c' os coeficientes da equação (7).

4. RESULTADOS

4.1. Condições meteorológicas

Os elementos meteorológicos usados neste trabalho foram a radiação solar e a precipitação pluviométrica, por serem os mais importantes para a cultura do milho. Os dados destes elementos, durante o ciclo da cultura, estão apresentados na Figura 3.

A radiação solar global apresenta valores oscilantes devido a flutuações ocasionadas pela nebulosidade. Os meses de fevereiro, março, abril e maio apresentam valores médios da radiação solar global de 679, 531, 417 e 375 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. A média de radiação para o ciclo da cultura foi de 422 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Cada ponto da radiação global da Figura 3 corresponde à média dos dez dias anteriores.

O total de precipitação pluviométrica durante

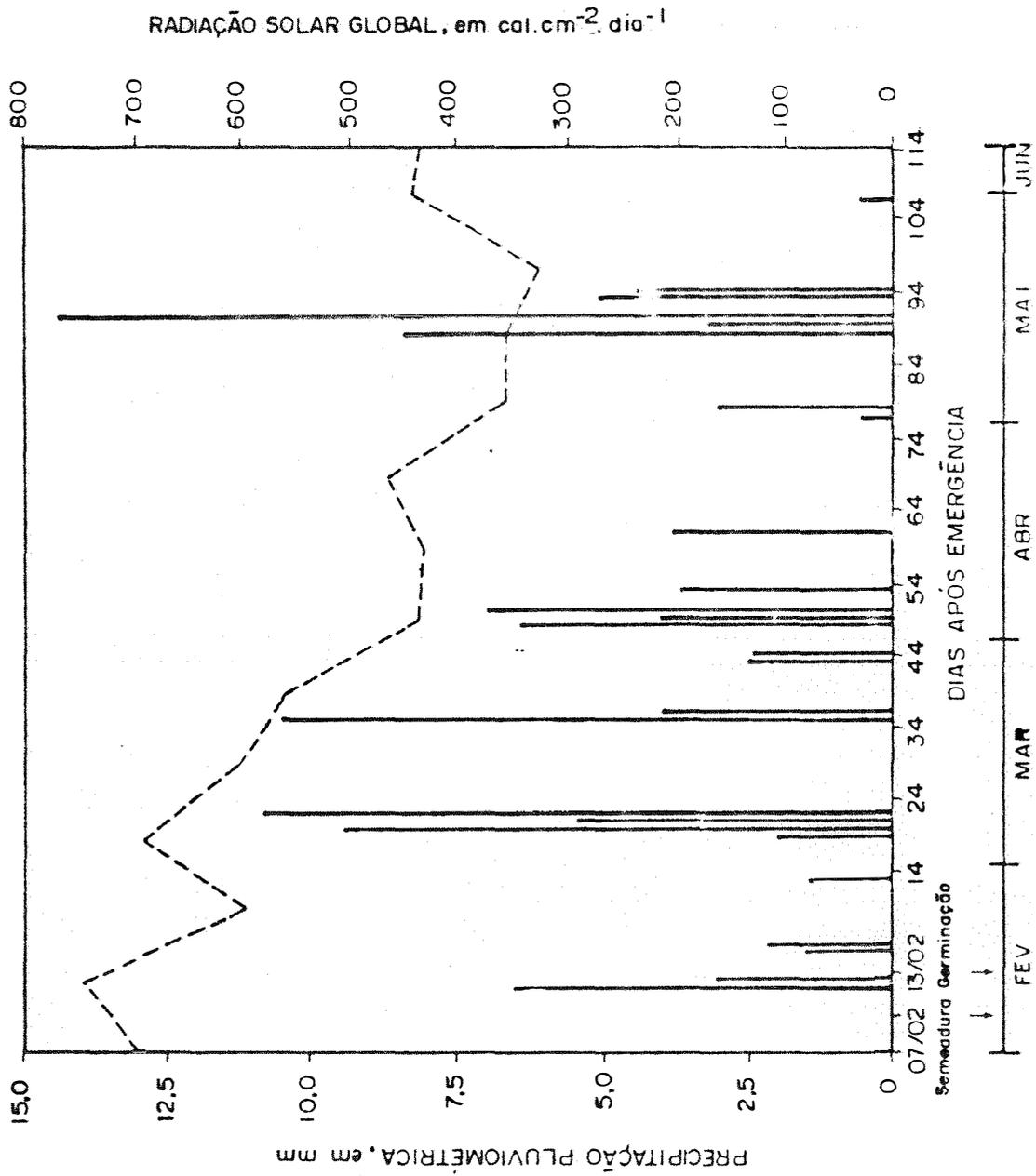


FIGURA 3 - Valores de precipitação pluviométrica diária (mm) e decadais médios de radiação solar global (cal.cm⁻².dia⁻¹), durante o ciclo de uma cultura de milho (*Zea mays* L.).

o período experimental foi de 136,2 mm, valor inferior à média de precipitação deste local no período considerado. Os valores de precipitação registrados para os meses de fevereiro, março, abril e maio foram de 18,7, 46,6 25,0 e 45,9, respectivamente. Foi realizado um grande número de irrigações, através do sistema de irrigação por aspersão instalado na área experimental (ver Figura 1 em "Material e Métodos").

4.2. Características morfológicas

4.2.1. Altura das plantas

Nas Tabelas 2 e 3 se observam as alturas máximas atingidas pelas plantas no preparo do solo convencional, que foram de 279,7, 275,7 e 278,5 cm, aos 104 dias após emergência, para os espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. Para o preparo do solo com subsolagem, as máximas alturas de plantas foram de 274,2 cm aos 114 dias, e 280,5 e 285,2 cm aos 104 dias após emergência, na ordem crescente dos respectivos espaçamentos entre-linhas.

4.2.2. Número de folhas

O número médio de folhas por planta, em cada coleta, foi semelhante entre tratamentos e pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Os valores máximos para o preparo do solo

TABELA 2 - Valores médios de altura de plantas e número de folhas por planta, para as coletas do preparo do solo convencional, nos espaçamentos 0,70, 0,90 e 1,10 m, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Preparos do Solo	Coleta (dias após emergência)	Altura das Plantas (cm)			Número de Folhas / Planta		
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
Convencional	14	15,0	14,0	15,2	5,2	5,6	5,2
	24	72,1	71,1	74,3	11,0	10,7	10,2
	34	153,2	148,7	151,2	13,9	13,7	13,2
	44	189,9	185,0	192,0	15,1	15,3	15,4
	54	243,5	233,2	241,7	15,3	15,0	15,8
	64	270,8	266,1	269,8	14,2	14,1	14,9
	74	263,2	267,1	264,9	14,4	12,8	13,4
	84	265,1	271,7	258,7	13,3	12,3	12,8
	94	271,8	267,8	272,2	11,9	12,3	12,1
	104	279,7	275,7	278,5	9,8	9,1	10,2
	114	276,2	275,3	275,6	8,5	8,1	9,3

TABELA 3 - Valores médios de altura de plantas e número de folhas por planta, para as coletas do preparo do solo com subsolagem, nos espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10m, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Preparos do Solo	Coleta (dias após emergência)	Altura das Plantas (cm)			Número de Folhas / Planta		
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
	14	15,0	14,1	14,8	5,1	5,0	5,3
	24	71,9	71,7	72,5	10,7	10,8	11,1
	34	153,3	149,9	147,6	13,4	12,3	13,2
	44	190,0	186,5	187,4	15,3	15,6	14,9
	54	251,2	246,7	233,8	14,8	15,2	14,8
	64	269,0	262,8	258,7	14,2	15,5	14,6
	74	263,4	250,0	259,0	13,6	14,1	13,6
	84	265,4	265,9	277,1	13,0	13,0	12,6
	94	257,4	264,5	272,7	11,9	12,0	12,3
	104	273,7	265,3	285,2	10,0	10,3	10,2
	114	274,2	280,5	275,9	9,0	8,9	8,4
Subsolagem							

convencional (Tabela 2) foram de 15,3, 15,3 e 15,8 folhas por planta aos 54, 44 e 54 dias após emergência, para os espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. Para o preparo do solo com subsolagem (Tabela 3), foram de 15,3, 15,6 e 14,9, todos aos 44 dias após emergência, nos espaçamentos 0,70, 0,90 e 1,10 m, correspondentes.

4.2.3. Número de Espigas por planta

No preparo do solo convencional, obtiveram-se valores de 1,87, 1,92 e 1,94, enquanto que para o preparo do solo com subsolagem, para os espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente, 1,87, 1,95 e 1,98. Estes valores são dados médios de três repetições e estão contidos na Tabela 4.

4.2.4. Fenologia

O acompanhamento fenológico do experimento, apresentado na Tabela 5, mostra que não houve diferenças entre os períodos de cada estágio de crescimento, nos tratamentos estudados. A duração do ciclo do cultivar AGROCERES 401 utilizado neste trabalho foi de 118 dias, compreendido da emergência à maturação fisiológica.

TABELA 4 - Valores médios do número de espigas por planta, e por metro quadrado nos diversos tratamentos estudados em milho (Zea mays L.), cultivado em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada" série "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 1984

Parâmetro	Tratamentos					
	Convencional		Subsolagem			
	Espaçamento	Entre-Linhas	Espaçamento	Entre-Linhas		
	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
Espigas por planta	1,87	1,92	1,94	1,87	1,95	1,98
Espigas por m ²	8,30	8,72	8,94	8,30	8,85	9,13

TABELA 5 - Datas de emergência, início e fim dos estádios vegetativos e reprodutivos e maturação fisiológica (HANWAY, 1963), para uma cultura de milho (Zea mays L.), nos preparos do solo (convencional e subsolagem), em espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m. Piracicaba, SP, 1984.

Estádios Vegetativos Segundo HANWAY (1963)	Valor	Preparo do Solo					
		Convencional			Subsolagem		
		Espaçamento	Entre-Linhas	Valor	Espaçamento	Entre-Linhas	Valor
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
Emergência	0,0	13/02	13/02	13/02	13/02	13/02	13/02
Início do estágio vegetativo	0,5	17/02	17/02	17/02	17/02	17/02	17/02
Fim do estágio vegetativo	4,0	11/04	10/04	11/04	10/04	10/04	10/04
Início do estágio reprodutivo	6,0	15/04	15/04	15/04	16/04	15/04	15/04
Fim do estágio reprodutivo	9,0	03/06	02/06	03/06	03/06	02/06	02/06
Maturação fisiológica	10,0	11/06	09/06	11/06	10/06	09/06	09/06

4.3. Distribuição de raízes

A massa total de raízes secas, coletadas dos monólitos de solo, nos dois sistemas de preparo do solo, foi de 1124,3 g, sendo que 618,1 g corresponderam ao preparo do solo convencional e 506,2 g ao preparo do solo com subsola-
gem, conforme pode ser visto na Tabela 6. Para o preparo de solo convencional, a camada de 20-40 cm foi a que contribuiu com a maior massa de raízes (273,21 g), correspondendo a 44,20% do total no perfil. Para o preparo do solo com subso-
lagem, a maior contribuição foi da camada 40-60 cm (339,64g), com 67,10% do total existente no perfil.

4.4. Matéria Seca

Os dados referentes à massa de matéria seca dos colmos, folhas e totais, ao longo do tempo, dos dois sis-
temas de preparo do solo e três espaçamentos entre-linhas, es-
tão apresentados nas Tabelas 7 e 8. As equações de regres-
são que melhor se ajustaram aos parâmetros e os respectivos
coeficientes de determinação podem ser vistos nas Tabelas 9,
10 e 11.

4.4.1. Matéria seca dos colmos

As curvas ajustadas de Wc para os tratamentos

TABELA 6 - Distribuição porcentual de raízes no perfil do solo até a profundidade de 100 cm, massa, em gramas, de raízes secas, por camada de solo e profundidade máxima do perfil onde foram visualizadas raízes, nos dois sistemas de preparo do solo (convencional e subsolagem), no espaçamento entre-linhas de 0,90 m, para a cultura do milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Camadas do Solo para Amostras de Raízes	Profundidade no Perfil do Solo (cm)	Convencional		Subsolagem	
		% de Raízes	Massa Seca de Raízes (g)	% de Raízes	Massa Seca de Raízes (g)
A	0,0 - 20,0	4,74	29,31	5,60	28,33
B	20,1 - 40,0	44,20	273,21	14,57	73,75
C	40,1 - 60,0	41,93	259,18	67,10	339,64
D	60,1 - 80,0	7,00	43,30	9,57	48,46
E	80,1 - 100,0	2,23	13,81	3,16	16,02
Peso Seco Total de Raízes Coletadas (g)			618,1		506,2
Profundidade Máxima de Visualização das Raízes (cm)		171,0		199,0	

TABELA 7 - Massa de matéria seca média das coletas de colmos, folhas e totais, nos diversos espaçamentos entre-linhas do preparo convencional, em milho (zeamays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Dias Após a Emergência	Matéria Seca de Colmos (Wc), em gramas			Matéria Seca de Folhas (Wf), em gramas			Espaçamentos Entre - Linhas			Matéria Seca Total da Planta (Wt), em gramas		
	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
14	1,5	2,1	2,7	4,8	7,0	7,3	6,3	9,0	9,0	6,3	9,0	10,0
24	22,3	21,8	21,8	38,7	43,3	48,7	61,0	65,2	70,4	61,0	65,2	70,4
34	11,8	126,5	192,9	152,1	178,1	202,8	263,9	304,6	395,7	263,9	304,6	395,7
44	293,0	320,7	405,5	261,9	314,8	369,3	554,9	635,5	774,8	554,9	635,5	774,8
54	393,6	477,5	519,6	257,0	313,7	357,8	650,6	791,2	877,4	650,6	791,2	877,4
64	510,8	635,6	726,2	258,6	304,1	344,7	769,3	939,7	1072,9	769,3	939,7	1072,9
74	681,4	777,8	940,9	221,7	272,1	311,5	903,1	1049,9	1252,4	903,1	1049,9	1252,4
84	851,1	1062,4	1379,8	234,4	312,4	394,3	1085,5	1374,8	1774,1	1085,5	1374,8	1774,1
94	928,8	1241,4	1347,0	218,4	291,4	332,7	1147,2	1532,8	1679,7	1147,2	1532,8	1679,7
104	1073,5	1361,7	1742,7	210,9	258,7	362,8	1284,4	1620,4	2105,5	1284,4	1620,4	2105,5
114	1220,9	1521,4	1828,8	199,4	242,9	289,3	1420,3	1764,3	2118,1	1420,3	1764,3	2118,1

TABELA 8 - Massa de matéria seca média das coletas de colmos, folhas e totais, nos diversos espaçamentos entre linhas do preparo com subsolagem, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Dias Após a Emergência	Matéria Seca de Colmos (Wc), em gramas			Espaçamentos Entre-Linhas			Matéria Seca de Folhas (Wf), em gramas			Matéria Seca Total da Planta (Wt), em gramas		
	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
14	1,2	2,9	2,0	4,5	5,8	5,8	5,7	8,7	7,7			
24	15,1	27,8	20,9	24,9	33,1	45,6	40,0	60,9	66,5			
34	131,8	164,3	185,5	139,4	191,4	220,0	271,3	355,7	405,6			
44	269,0	324,1	392,6	257,2	315,6	383,6	526,2	639,7	776,3			
54	386,4	466,4	544,1	236,3	293,4	352,2	622,7	759,7	896,3			
64	525,1	679,3	776,6	251,4	327,9	357,3	776,5	1007,2	1133,9			
74	681,0	945,3	1000,3	226,0	294,6	315,6	907,0	1239,9	1315,8			
84	905,1	1138,1	1190,2	250,2	313,7	334,8	1155,2	1451,8	1525,0			
94	1010,0	1165,0	1319,1	232,5	271,7	332,5	1242,5	1436,6	1651,7			
104	1104,0	1401,8	1667,8	224,5	270,6	315,1	1328,4	1672,4	1982,9			
114	1171,5	1404,2	1768,0	194,2	249,4	280,4	1365,7	1653,5	2048,4			

TABELA 9 - Coeficientes do modelo ($Wf = a + bt + ct^2$) e coeficientes de determinação (R^2) para massa da matéria seca das folhas (Wf), para os diversos tratamentos, em função do número de dias decorridos após emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Coef.	Tratamentos					
		Preparo Convencional		Preparo com Subsolação			
		Espaços Entre-Linhas	1,10	Espaços Entre-Linhas	0,90		
		0,70	0,90	0,70	0,90	1,10	
Massa da	a	-183,773	-235,370	-268,761	-196,984	-245,191	-264,497
Materia Seca das Folhas (Wf)	b	10,878002	13,522068	15,298692	10,979714	13,870001	15,448914
	c	-0,066204	-0,081424	-0,089406	-0,065431	-0,083447	-0,093115
	R^2	0,8226	0,8549	0,8533	0,8560	0,8654	0,8310

TABELA 10 - Coeficientes do modelo ($Wc = a + bt$) e coeficientes de determinação (R^2) para a massa da matéria seca dos colmos (Wc), para os diversos tratamentos, em função do número de dias decorridos após emergência (t), em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Coef.	Tratamentos					
		Preparo Convencional		Preparo em Subsolagem			
		Espaços Entre-Linhas	1,10	Espaços Entre-Linhas	1,10		
Massa da Matéria Seca dos Colmos (Wc)	a	-347,386	-464,531	-562,048	-353,226	-418,998	-521,990
	b	12,869909	16,440091	19,860333	13,098364	16,010370	18,972839
	R^2	0,9652	0,9635	0,9492	0,9618	0,9663	0,9681

convencional e com subsolagem estão representadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente para os três espaçamentos estudados. Nas Tabelas 7 e 8 estão as médias de W_c calculadas para cada época de coleta. O valor máximo, em gramas, alcançados no preparo do solo convencional e nos espaçamentos entre linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, foram de: 1220,9, 1521,4 e 1828,8 g, respectivamente. No preparo do solo subsolagem com os mesmos espaçamentos entre-linhas, foram atingidos valores máximos de 1171,5, 1404,2 e 1768,0 g.

4.4.2. Matéria seca das folhas

As curvas ajustadas de W_f para os três espaçamentos estão representadas nas Figuras 6, 7 e 8, para os dois tipos de preparo do solo estudados. Os valores máximos, em gramas, alcançados no preparo do solo convencional, nos espaçamentos entre-linhas de 0,70, 0,90 e 1,10 m, foram de: aos 64 dias, 258,6; aos 44 dias, 314,8 e aos 44 dias, 369,3, respectivamente. No preparo do solo com subsolagem, para os mesmos espaçamentos, foram atingidos valores máximos de 257,2 aos 44 dias, 327,9 aos 64 dias e 383,6 g aos 44 dias após a emergência. Os valores médios de W_f calculados para cada época de coleta estão apresentados nas Tabelas 7 e 8.

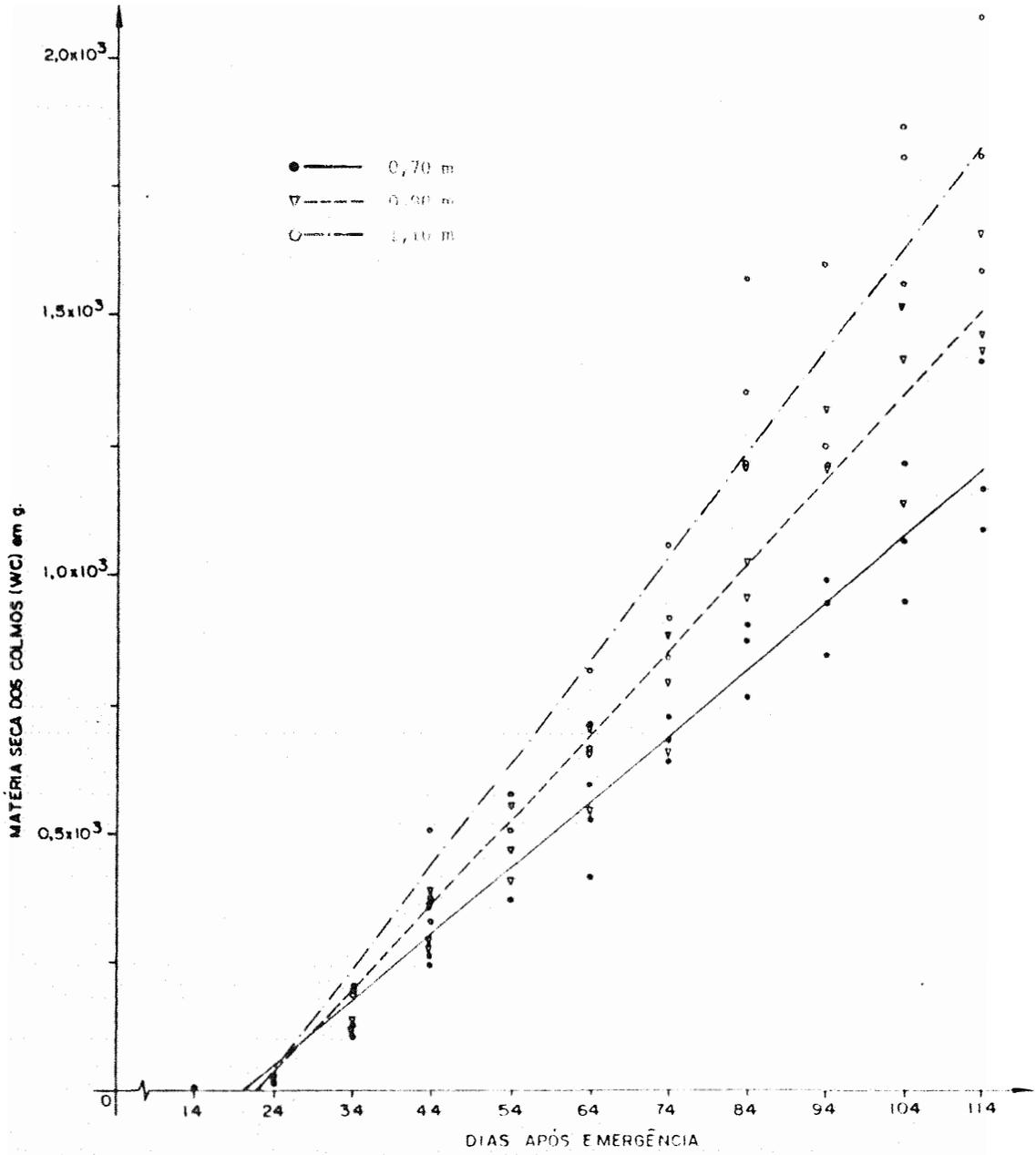


FIGURA 4 - Massa média de matéria seca dos colmos (Wc) em gramas, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após emergência (t).

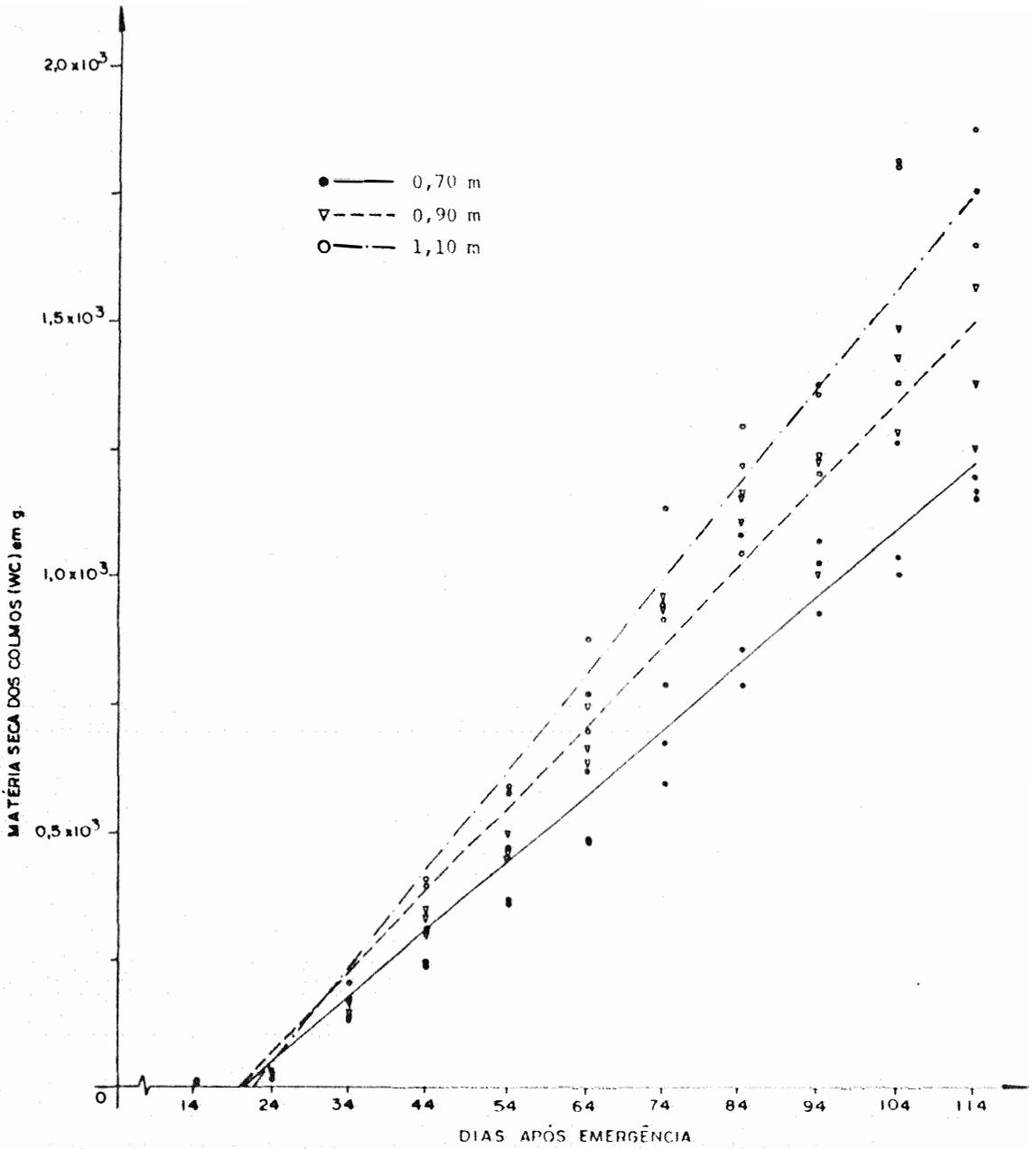


FIGURA 5 - Massa média de matéria seca dos colmos (Wc) em gramas, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após emergência (t).

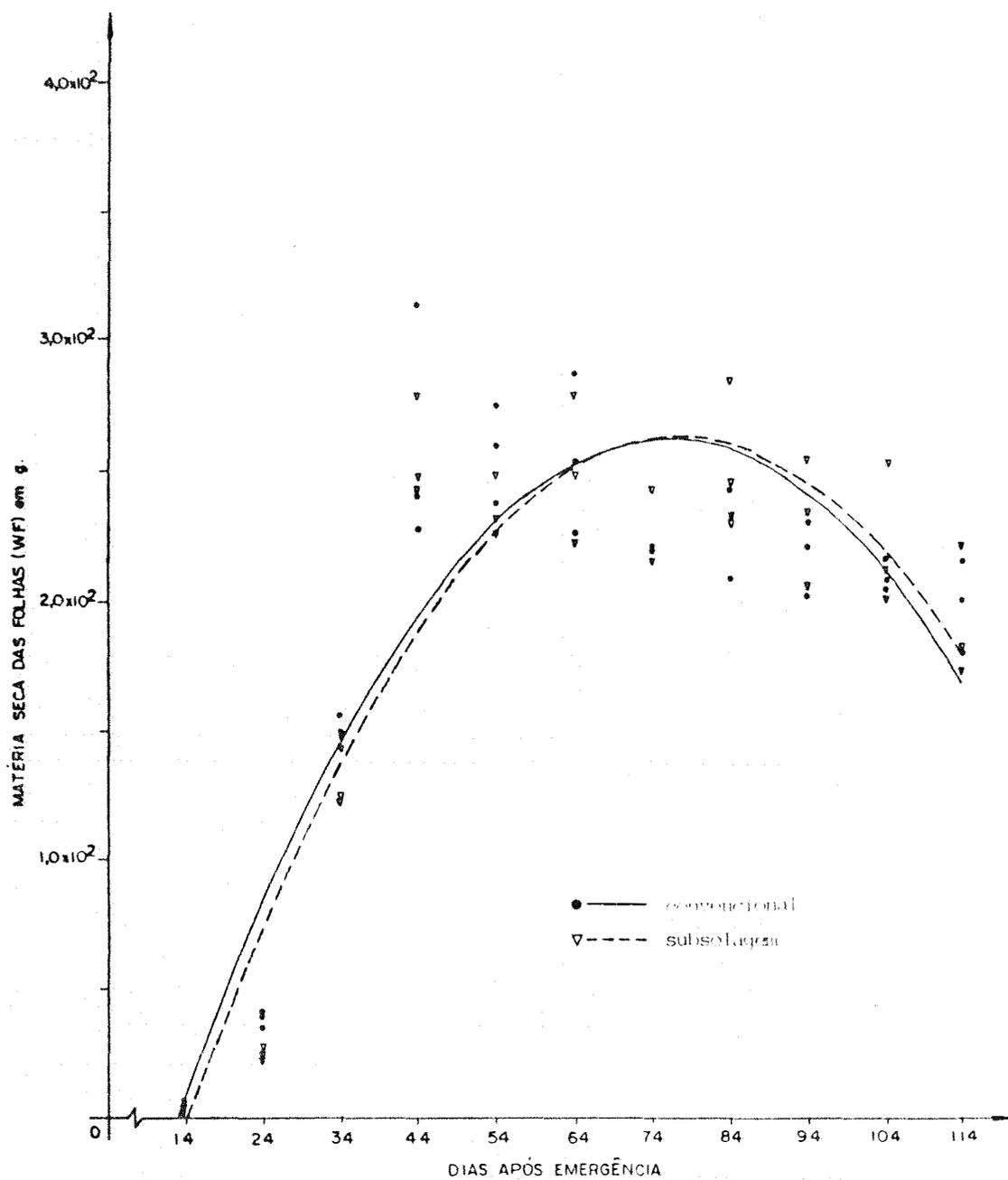


FIGURA 6 - Massa média de matéria seca das folhas (Wf) em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas, de 0,70 m, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

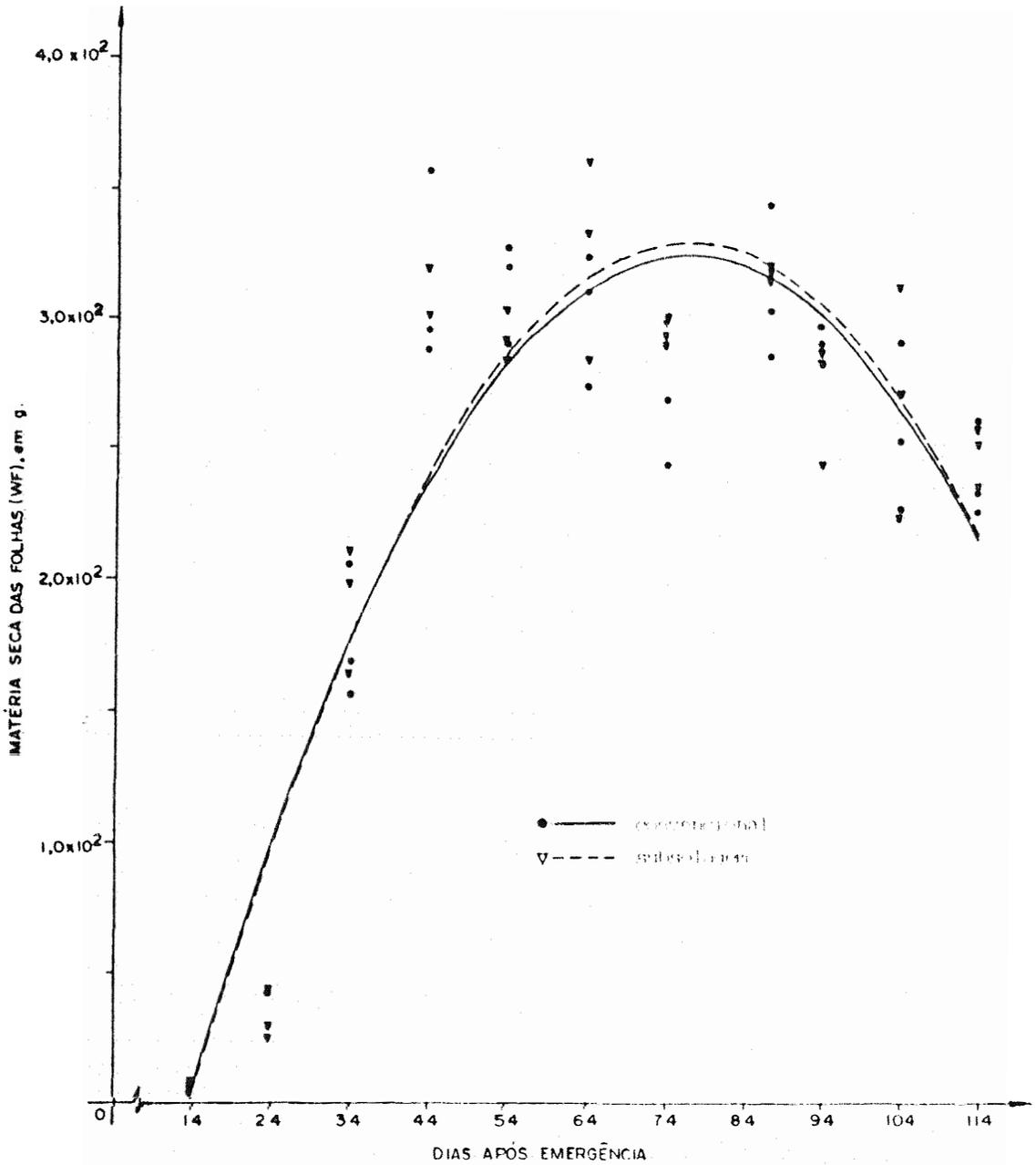


FIGURA 7 - Massa média de matéria seca das folhas (Wf) em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas de 0,90 m, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência.

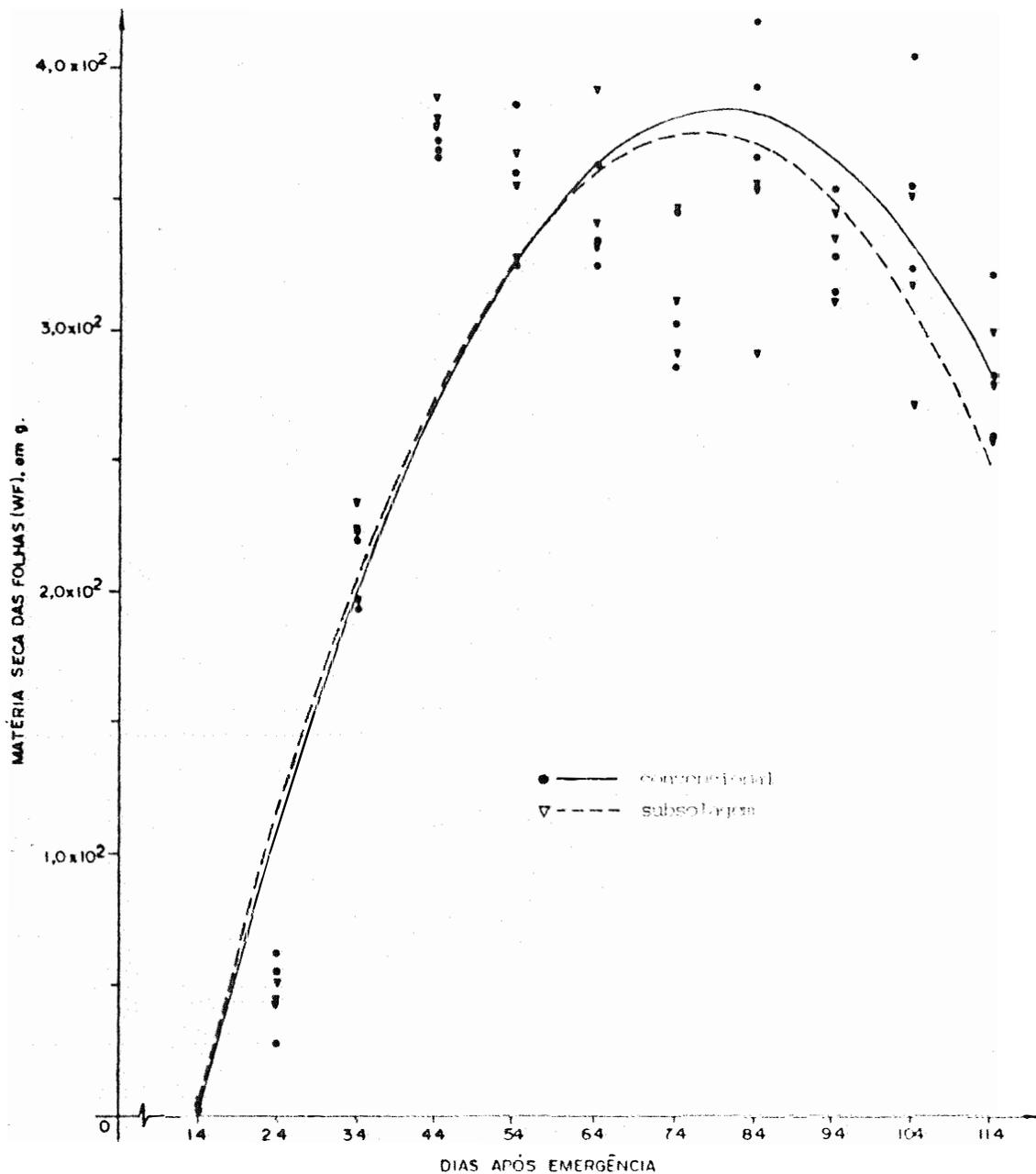


FIGURA 8 - Massa média de matéria seca das folhas (WF) em gramas, para os dois sistemas de preparo do solo, no espaçamento entre-linhas de 1,10 m, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

4.4.3. Matéria seca total

As curvas ajustadas de Wt estão representadas nas Figuras 9 e 10.

Os valores máximos na área com preparo de solo convencional, nos três espaçamentos 0,70, 0,90 e 1,10 m foram 1420,3, 1764,3 e 2118,1 g, respectivamente, e no preparo com subsolagem: 1365,7, 1672,4 e 2048,4 g. Os valores médios para cada coleta, durante o ciclo da cultura, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8.

4.5. Parâmetros fisiológicos

4.5.1. Índice de área foliar

Os índices de área foliar (IAF) por coleta nos tratamentos estudados, são apresentados na Tabela 12. As Figuras 11 e 12 mostram as curvas ajustadas do IAF ao longo do ciclo da cultura, para os tratamentos convencional e com subsolagem, respectivamente. De um modo geral, para o preparo do solo convencional, o valor máximo de IAF foi atingido aos 64 dias após emergência, enquanto que para o preparo do solo com subsolagem, aos 74 dias após emergência. Os valores máximos de IAF por espaçamento foram de 3,54, 3,26 e 3,43 para o preparo do solo convencional, e 3,33, 3,52 e 3,26 para o preparo do solo com subsolagem, nos respectivos espaçamen-

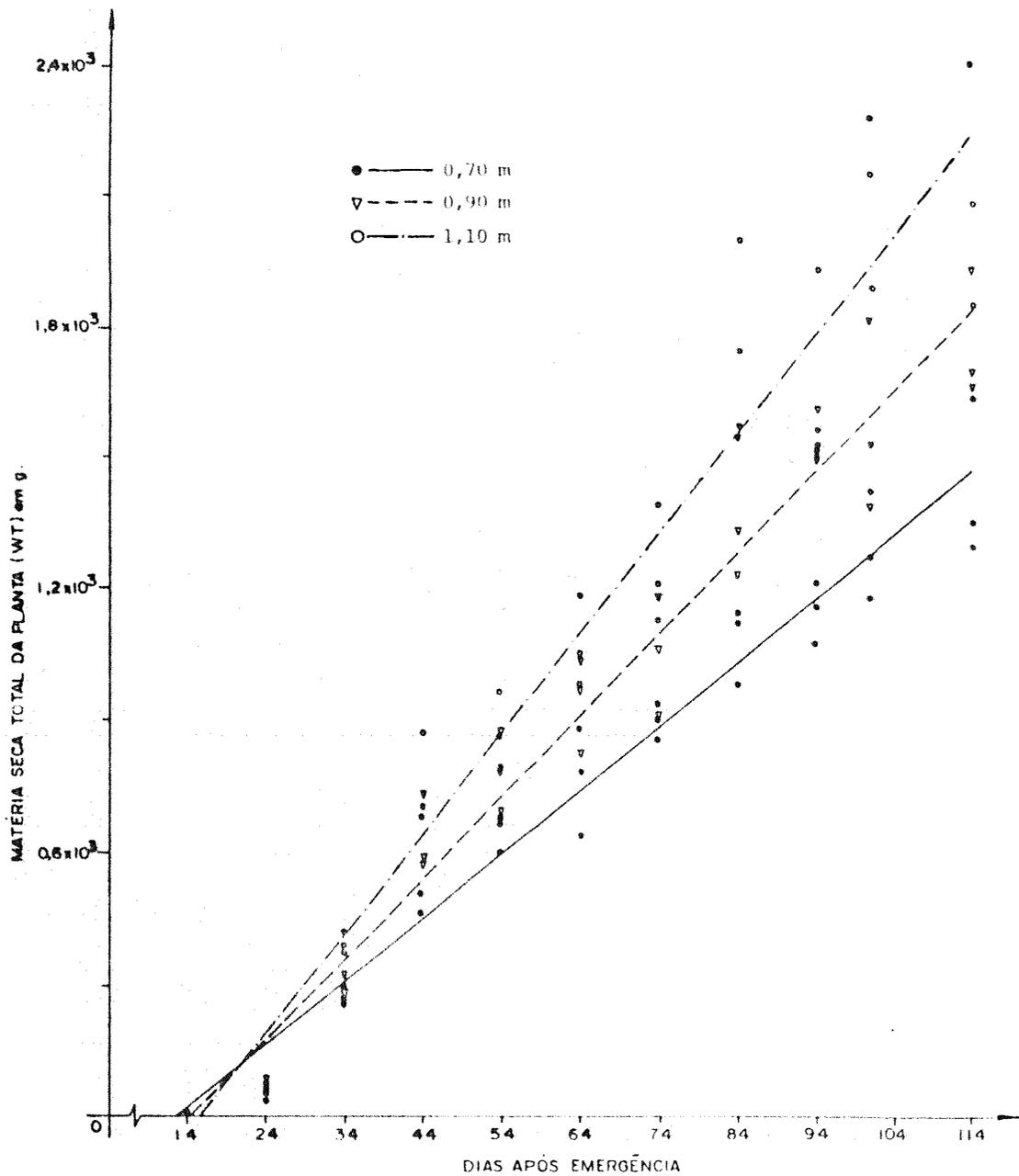


FIGURA 9 - Massa média de matéria seca total das plantas (Wt) em gramas, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

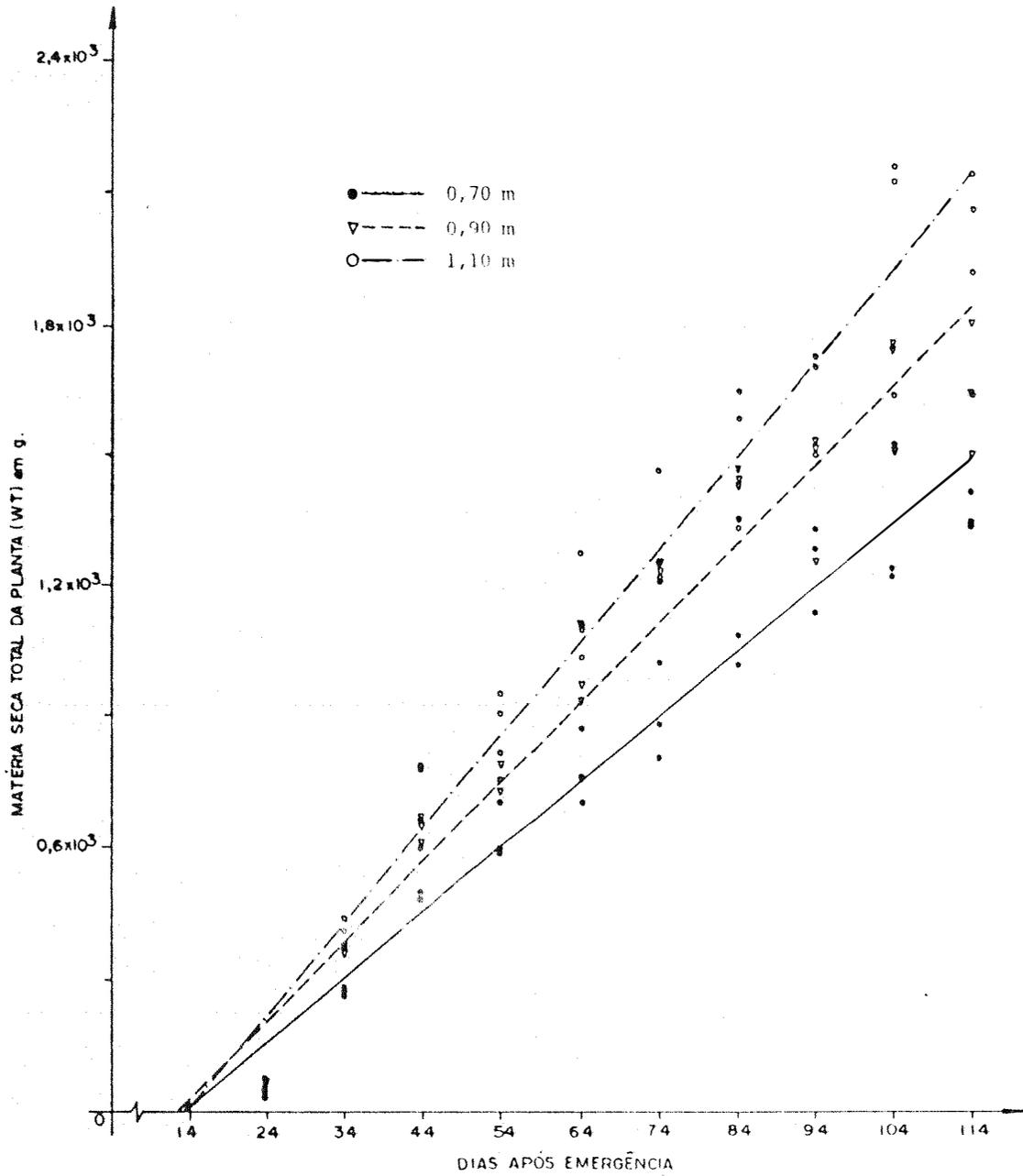


FIGURA 10 - Massa média de matéria seca total das plantas (Wt) em gramas, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

TABELA 12 - Valores médios do Índice de Área Foliar (IAF), nas datas de coletas dos diversos tratamentos, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Dias Após Emergência	Tratamentos					
		Preparo Convencional		Preparo com Subsolaagem			
		Espaçamento	Entre-Linhas	Espaçamento	Entre-Linhas	Espaçamento	Entre-Linhas
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
	14	0,10	0,15	0,13	0,13	0,15	0,14
	24	0,94	0,86	0,84	1,03	1,26	1,21
	34	2,17	2,00	2,22	2,00	2,06	2,25
	44	3,49	3,14	3,43	3,27	3,16	3,20
Índice de Área	54	3,54	3,25	3,22	2,90	3,06	3,12
Foliar (IAF)	64	3,47	3,22	2,90	3,17	3,40	3,26
	74	3,27	3,17	3,18	3,33	3,52	3,08
	84	3,04	3,26	3,30	3,10	3,36	2,82
	94	2,68	3,12	2,85	2,96	2,87	3,08
	104	2,08	1,87	2,39	2,12	2,41	2,32
	114	2,14	1,90	2,05	1,94	1,80	1,70

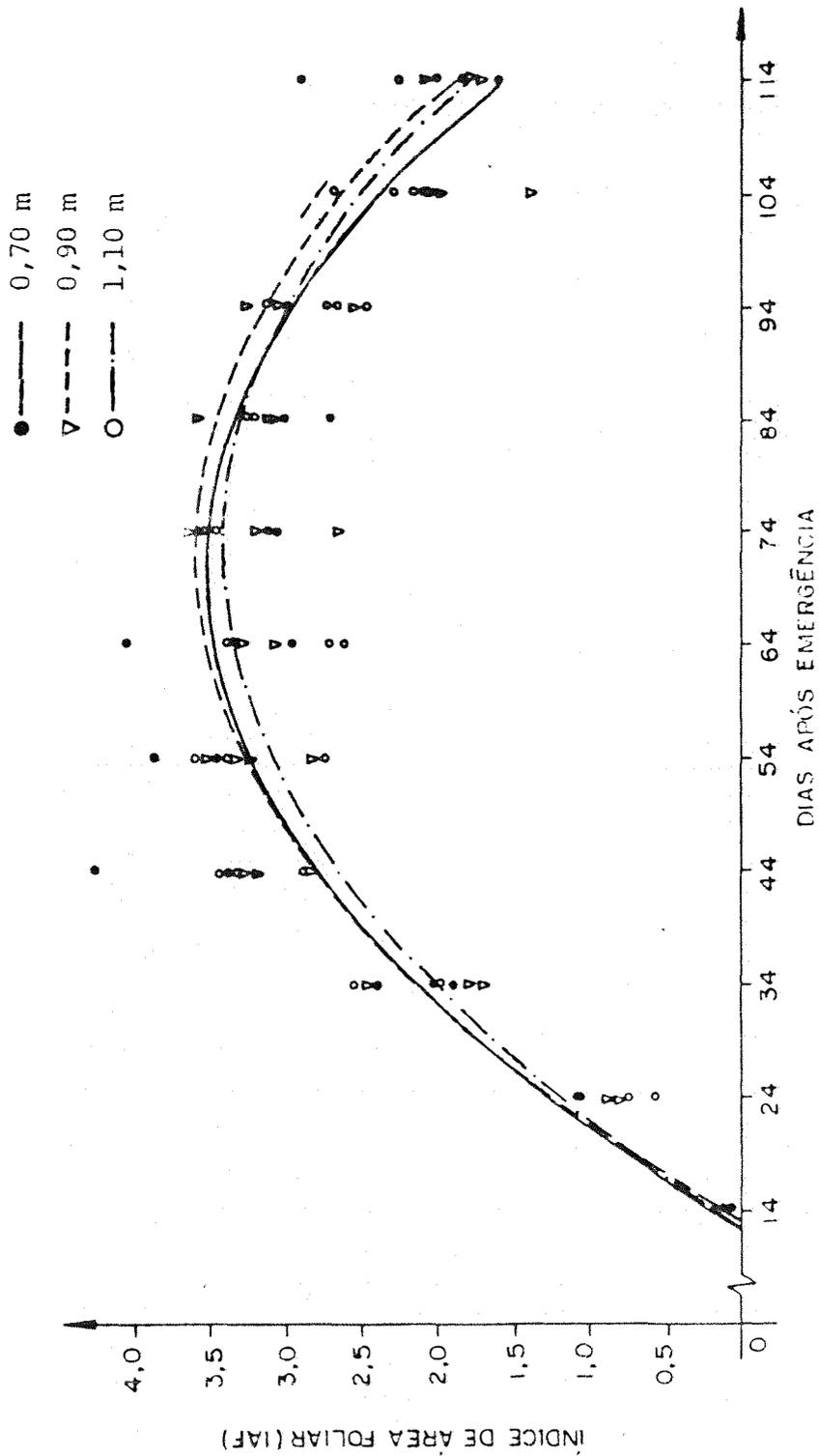


FIGURA 11 - Índice de área foliar (IAF), média para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

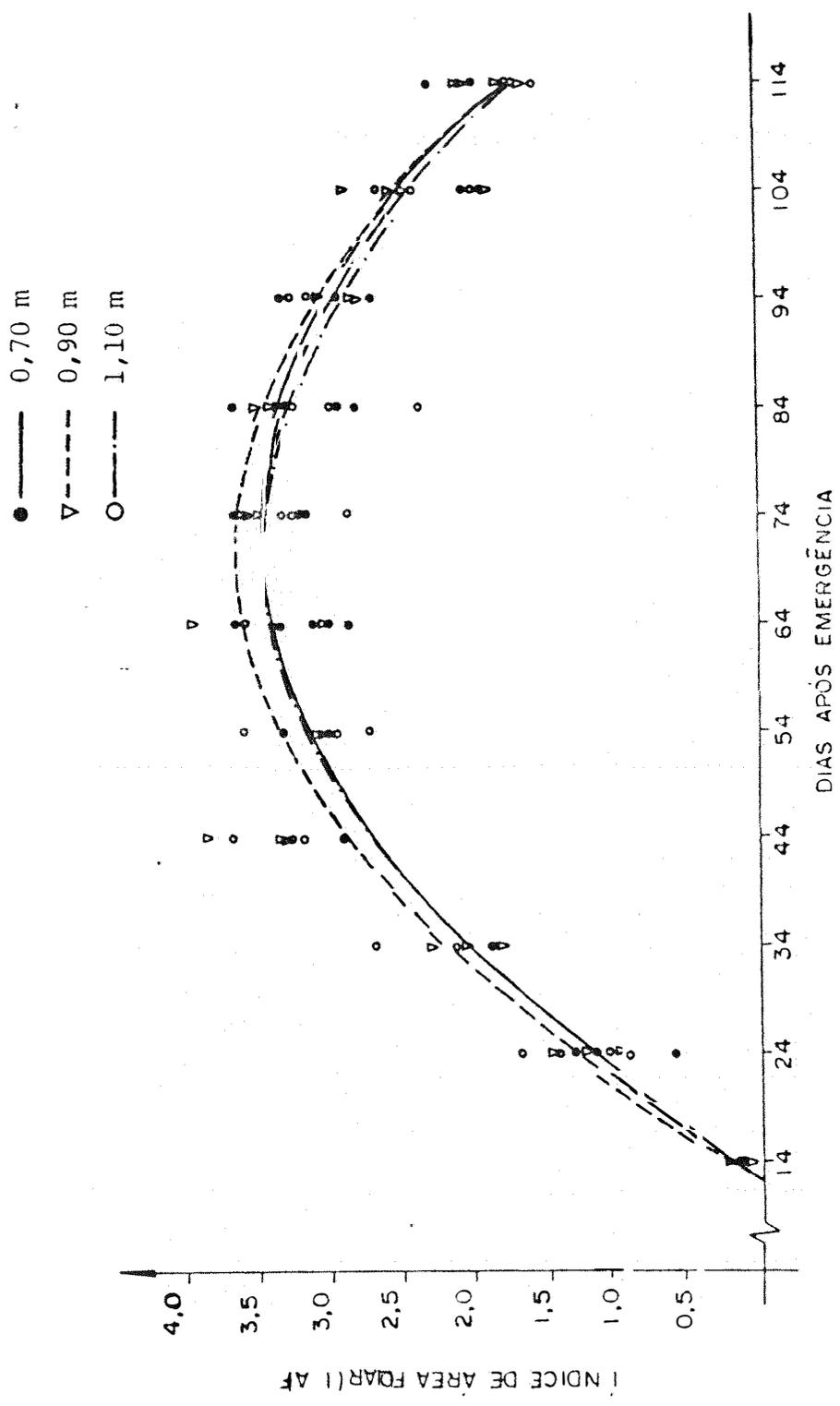


FIGURA 12 - Índice de Área Foliar (IAF), média para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

tos de 0,70, 0,90 e 1,10 m.

Os coeficientes das equações que melhor se ajustaram para o IAF e os coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 13.

4.5.2. Produtividade biológica

As curvas ajustadas da produtividade biológica (PB) com o tempo encontram-se nas Figuras 13 e 14, para os respectivos tratamentos estudados. Para o preparo do solo convencional, a maior produtividade biológica foi alcançada aos 114 dias após a emergência, cujos valores foram de 1578,1, 1603,9 e 1645,9 g.m⁻², nos espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. No preparo do solo com subsolagem, para os mesmos espaçamentos, obtiveram-se valores de 1517,5, 1503 e 1575,1 g.m⁻², aos 114 dias após emergência.

Na Tabela 14, encontram-se os valores dos coeficientes da equação de regressão e respectivos coeficientes de determinação (R^2), para os tratamentos. Os valores deste parâmetro, para cada coleta, são apresentados na Tabela 15.

TABELA 13 - Coeficientes do modelo $IAF = a + b \cdot t + c \cdot t^2$ e coeficientes de determinação (R^2), para o Índice de Área Foliar (IAF), nos diversos tratamentos, em função do número de dias decorridos após a emergência (t) em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Preparo do Solo Convencional		Preparo do Solo Subsolagem	
	Espaçamento Entre - Linhas	1,10	Espaçamento Entre - Linhas	0,90
C	0,70	0,90	0,70	0,90
a"	-2,532	-2,611	-2,408	-2,180
b"	0,157939	0,155946	0,149269	0,158381
c"	-0,00103	-0,00101	-0,00096	-0,00103
R^2	0,8193	0,8925	0,8872	0,9169
				0,8771

Índice de Área Foliar (IAF)

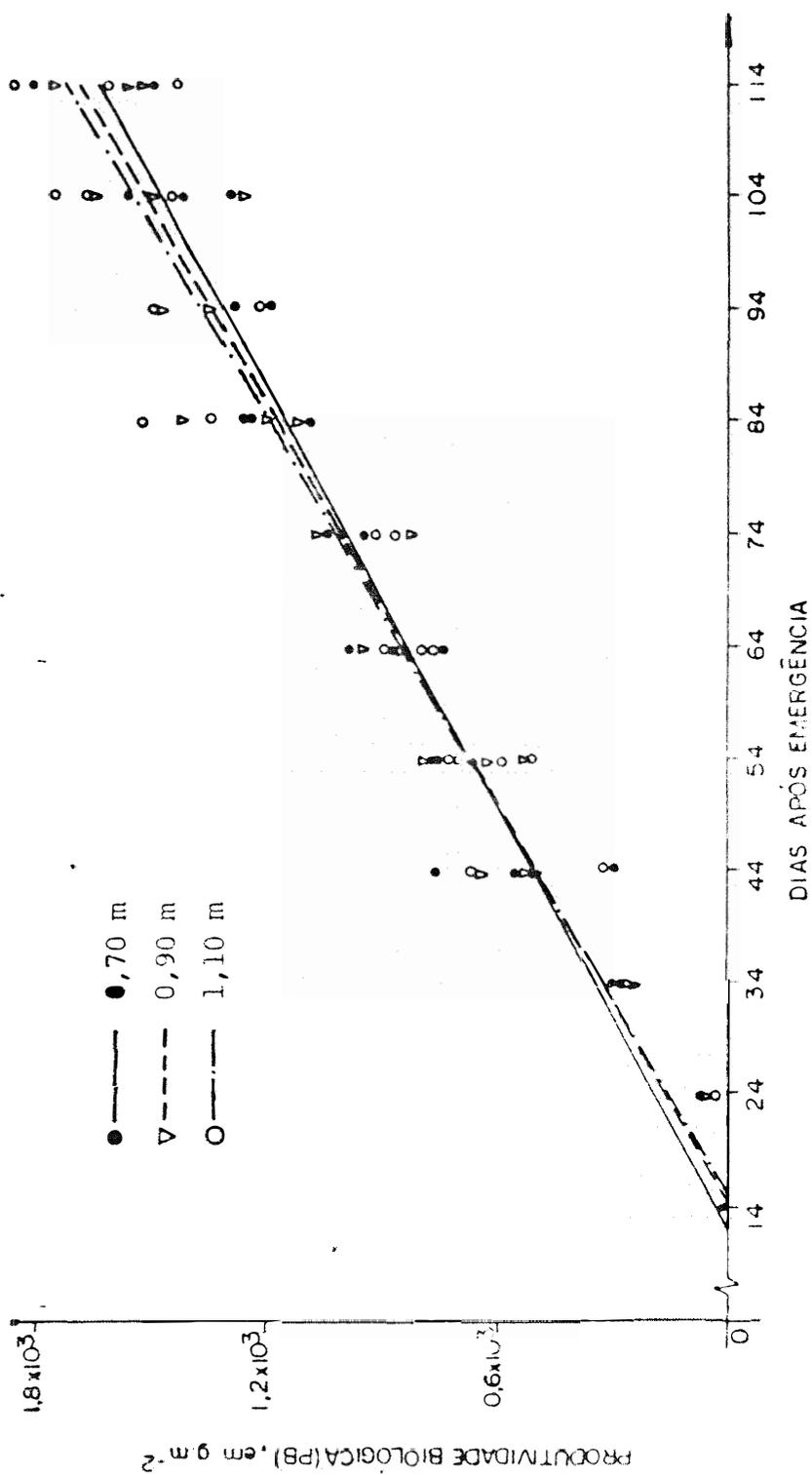


FIGURA 13 - Produtividade Biológica (PB) em g.m^{-2} , média para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

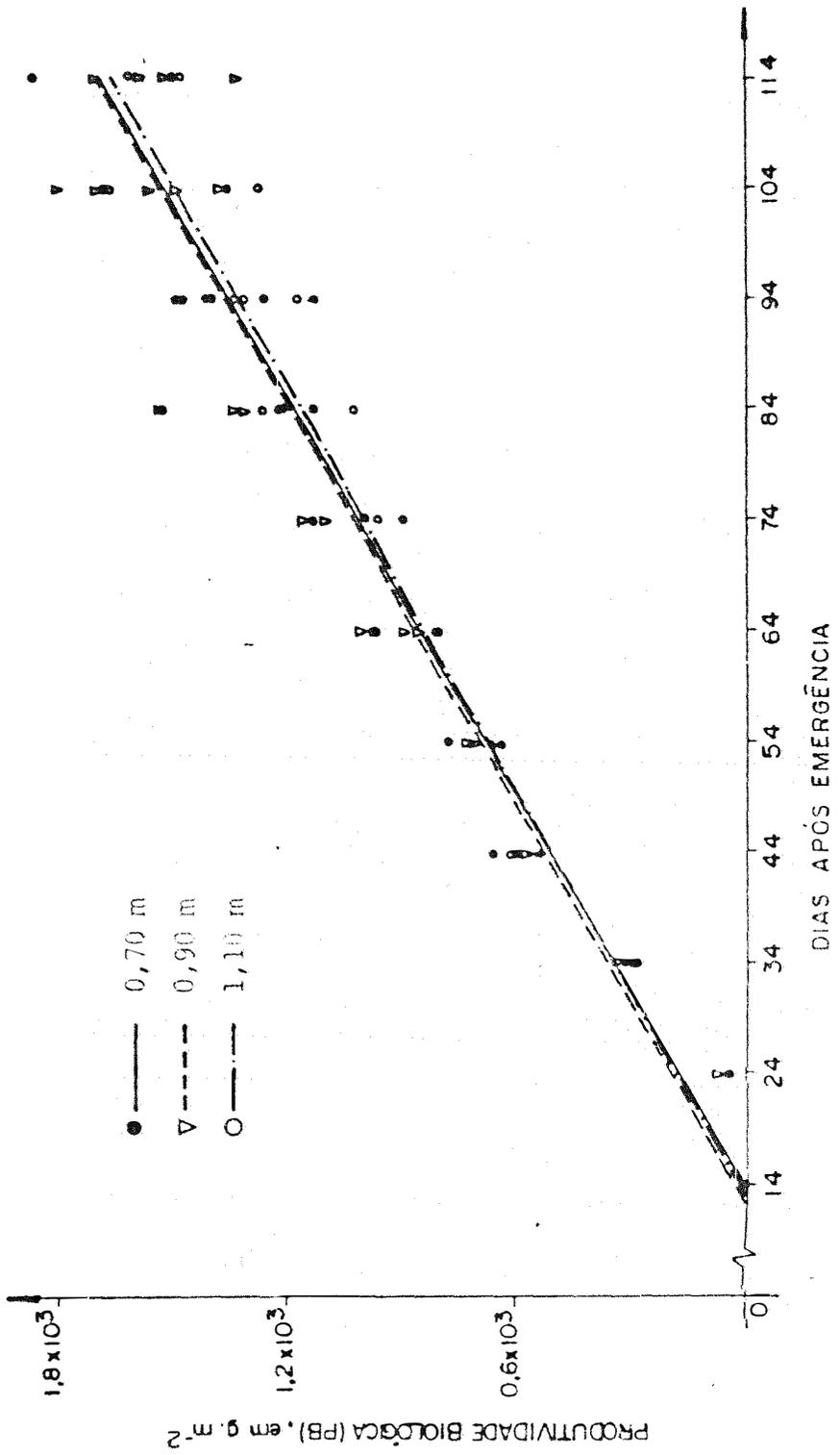


FIGURA 14 - Produtividade Biológica (PB) em $g.m^{-2}$, média para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após emergência (t).

TABELA 15 - Valores médios obtidos, em $g.m^{-2}$, para a produtividade biológica (PB), nas datas de coletas dos diversos tratamentos, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Dias Após Emergência	Tratamentos					
		Preparo Convencional		Preparo com Subsolagem		Espaçamento Entre-Linhas	Espaçamento Entre-Linhas
		Espaçamento	Entre-Linhas	Espaçamento	Entre-Linhas		
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
	14	7,0	8,2	7,7	6,4	7,9	6,0
	24	67,8	59,2	54,1	44,5	55,3	51,2
	34	293,2	277,0	304,3	301,4	323,3	311,7
	44	616,5	677,8	595,7	584,7	581,6	596,9
Produtividade	54	722,9	719,3	674,6	691,9	690,6	689,2
Biológica (PB)	64	854,8	854,3	825,0	862,8	915,6	871,9
	74	1003,4	954,5	963,0	1007,8	1127,2	1011,8
	84	1206,1	1249,8	1364,1	1283,6	1319,9	1172,6
	94	1274,7	1393,5	1291,5	1380,6	1306,1	1270,0
	104	1427,2	1473,1	1619,0	1476,0	1520,4	1524,7
	114	1578,1	1603,9	1645,9	1517,5	1513,3	1575,1

4.5.3. Taxa de crescimento da cultura

Nas Figuras 15 e 16 são mostrados os valores constantes de TCC calculados a partir da equação (2), os pontos experimentais calculados a partir dos dados da Tabela 15, por meio da equação

$$\overline{\text{TCC}} = \frac{\text{PB}_2 - \text{PB}_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (12)$$

e a curva média de todos os tratamentos traçada manualmente. Os valores constantes de TCC, calculados a partir da equação (2), valem: 16,09, 16,69 e 17,49 g.dm⁻².dia⁻¹, para o preparo do solo convencional, e 16,58, 16,59 e 16,44 g.dm⁻².dia⁻¹ para o solo com subsolagem, nos espaçamentos 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. A equação (12), utilizada para o cálculo da Taxa de Crescimento da Cultura Média, é deduzida a partir da integração da equação (2), no intervalo de tempo t₂ - t₁.

4.5.4. Taxa de Crescimento Relativo

As curvas da taxa de crescimento relativo, em g.g⁻¹.dia⁻¹, ao longo do ciclo da cultura, elaboradas a partir da equação (5), encontram-se nas Figuras 17 e 18, para os dois preparos do solo (convencional e subsolagem) e os três espaçamentos entre-linhas (0,70, 0,90 e 1,10 m), respectivamente. Os pontos mostrados nas Figuras 17 e 18 foram cal-

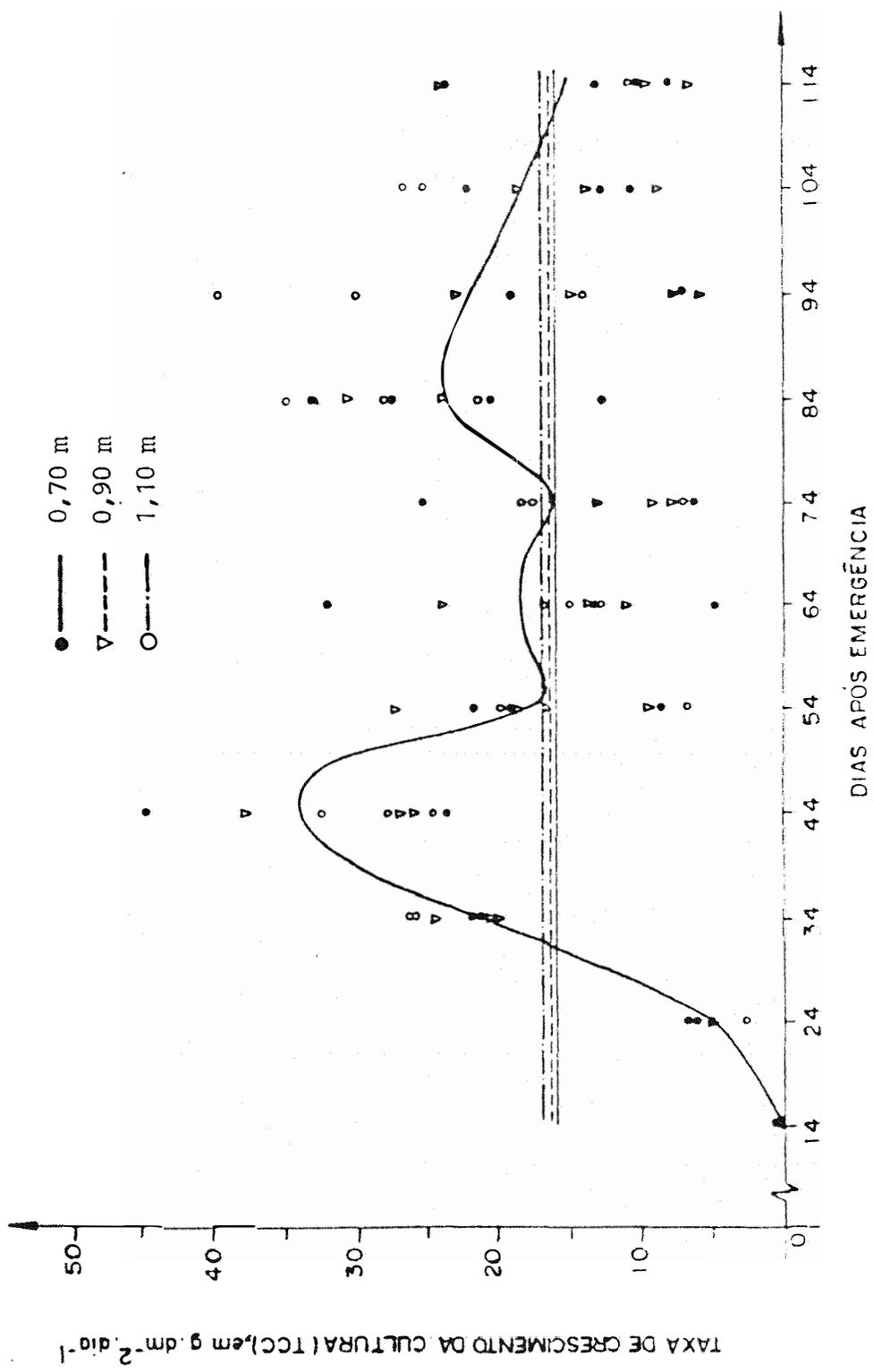


FIGURA 15 - Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) em g. m⁻².dia⁻¹, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

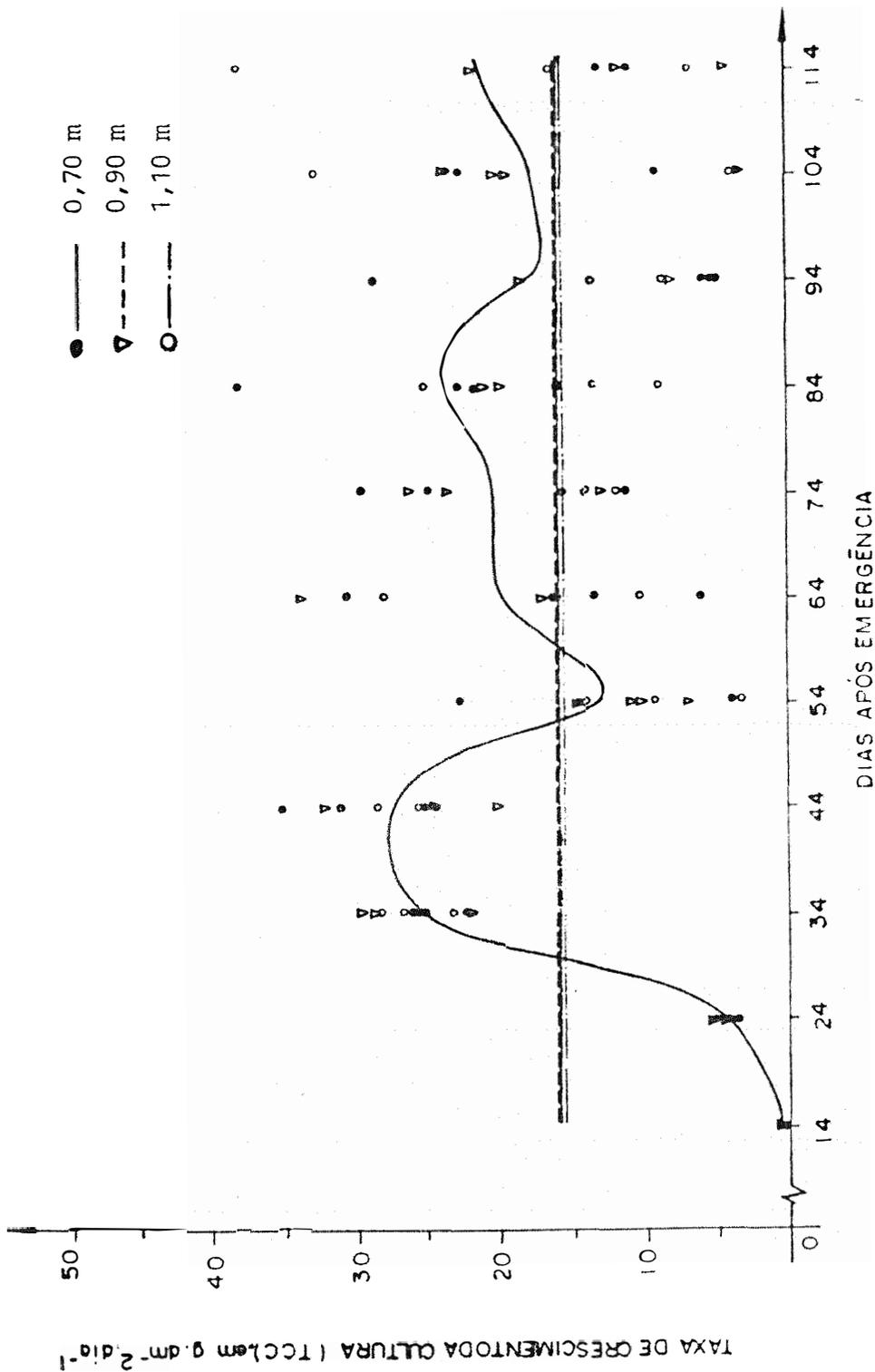


FIGURA 16 - Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) em $g \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

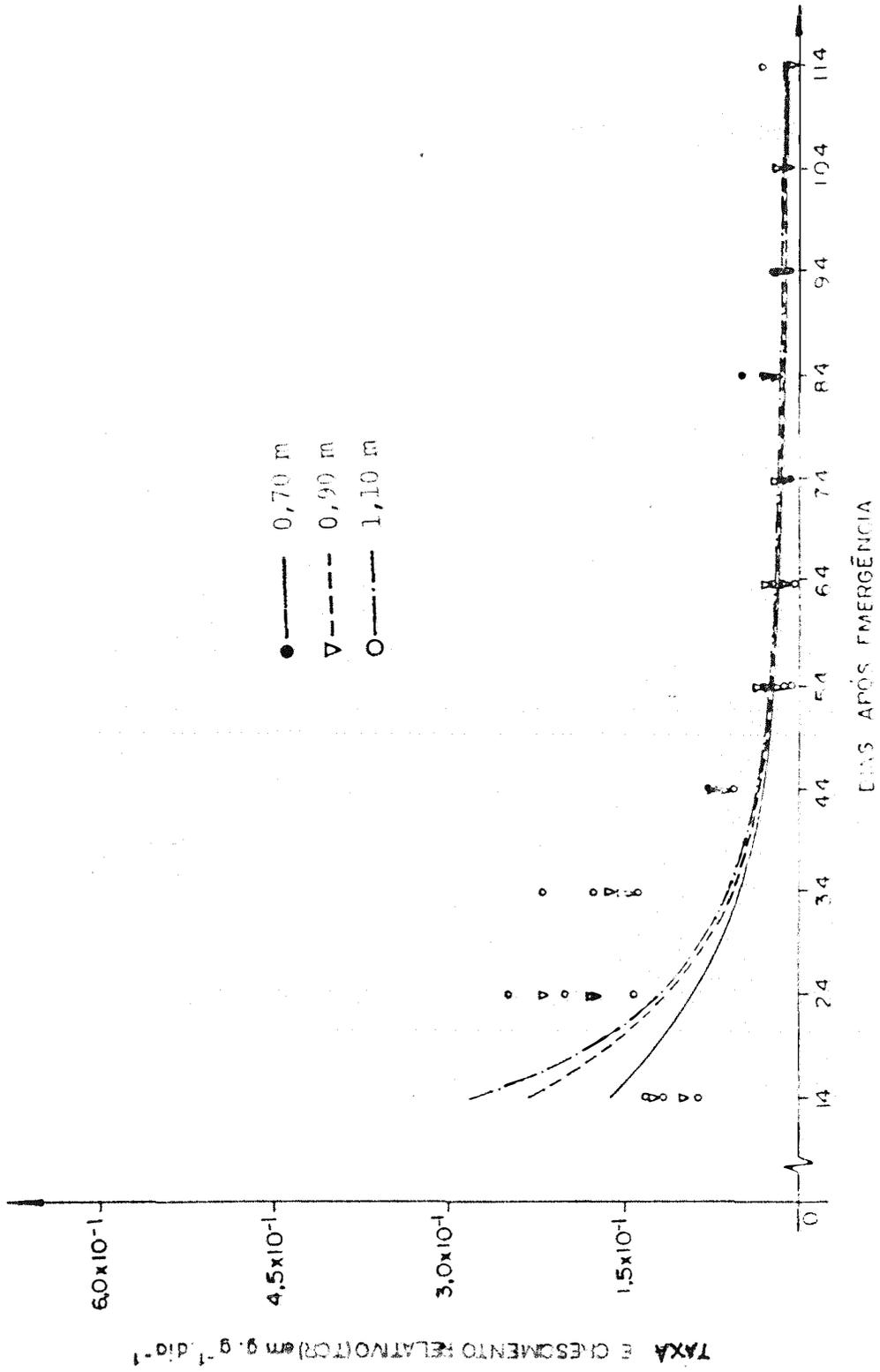


FIGURA 17 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em $g \cdot g^{-1} \cdot dia^{-1}$, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

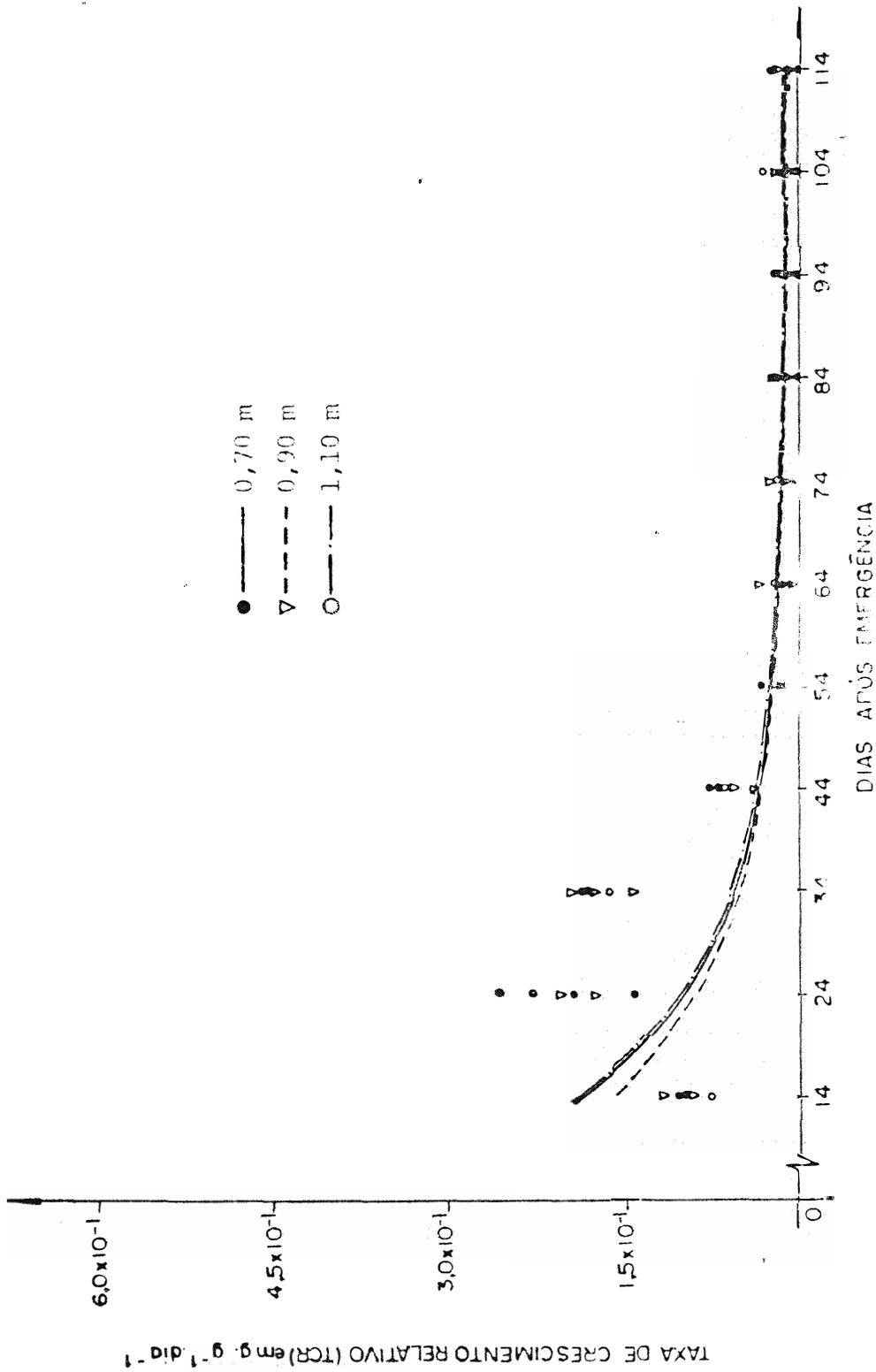


FIGURA 18 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em $g.g^{-1}.dia^{-1}$, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

culados a partir dos dados da Tabela 15, por meio da equação

$$\overline{\text{TCR}} = \frac{\ln \text{PB}_2 - \ln \text{PB}_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (13)$$

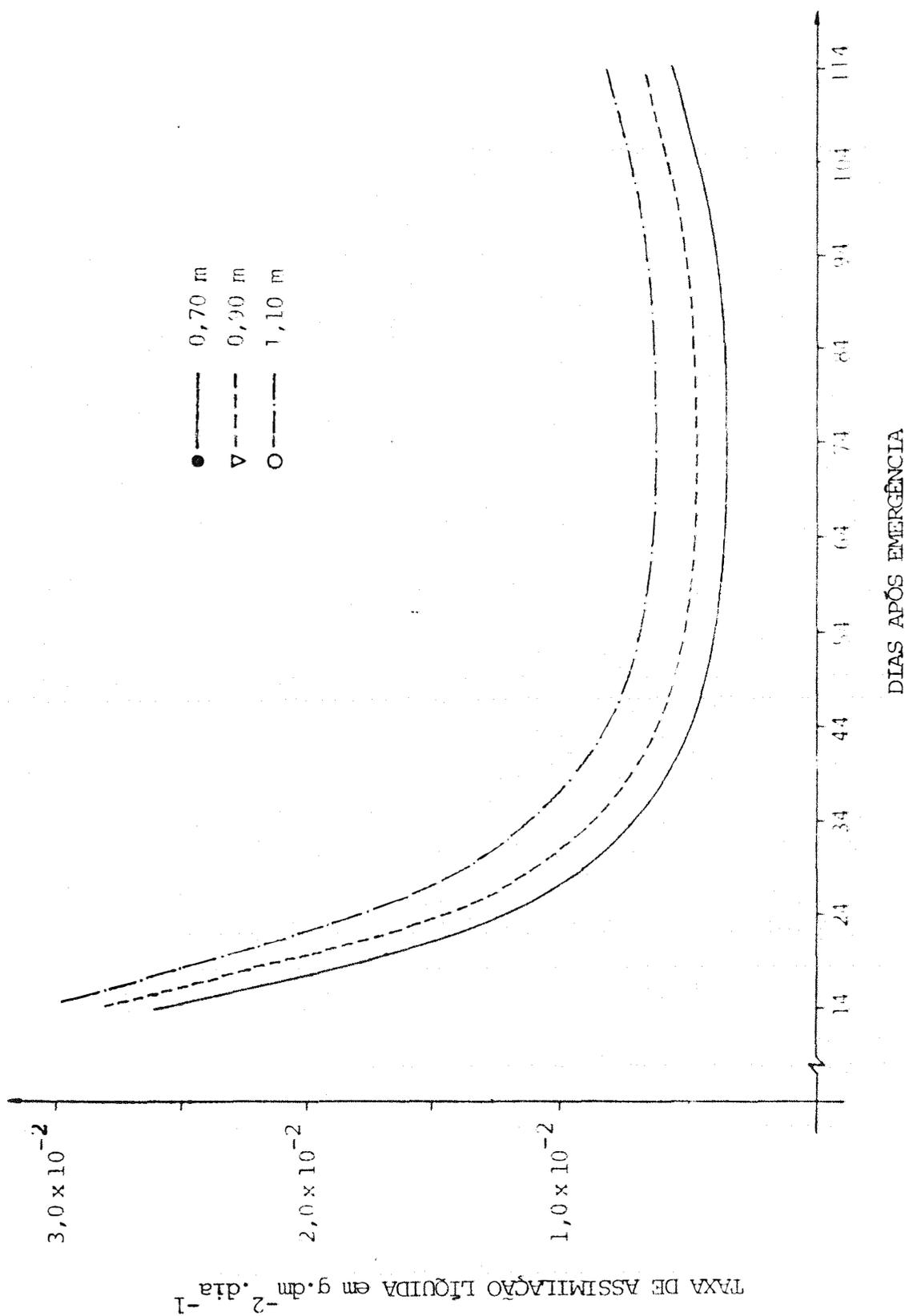
deduzida a partir da integração da equação (4), no intervalo de tempo $t_2 - t_1$, representando, portanto, o valor médio de TCR nesse intervalo.

4.5.5. Taxa de Assimilação Líquida

A partir da equação (8), elaboraram-se as curvas de TAL versus t. As Figuras 19 e 20 apresentam tais curvas para o preparo do solo convencional e o preparo com subsolagem, e para os três espaçamentos entre-linhas (0,70, 0,90 e 1,10m, respectivamente.

4.5.6. Razão de Área Foliar

A partir das Tabelas 12 e 15, que apresentam os dados experimentais de IAF e PB, respectivamente, elaboraram-se as curvas da razão de área foliar, ao longo do ciclo da cultura, de acordo com sua definição (equação 9). Estes valores, para os tratamentos convencional e com subsolagem, nos respectivos espaçamentos, encontram-se nas Figuras 21 e 22. Os pontos experimentais destas duas figuras foram obtidos a partir dos dados das Tabelas 12 e 15, pela aplicação da



DIAS APÓS EMERGÊNCIA

FIGURA 19 - Taxa de Assimilação Líquida (TAL) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

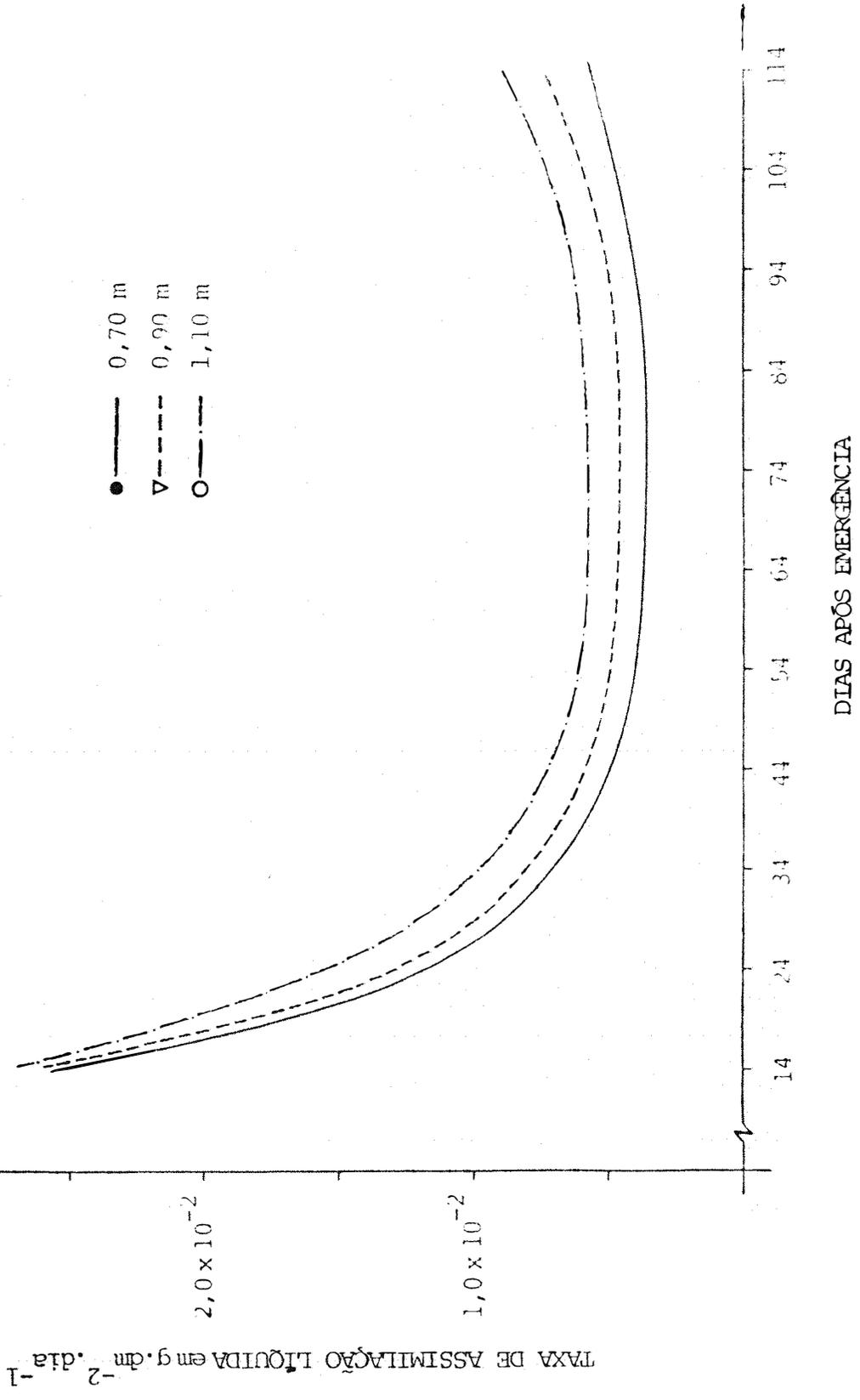


FIGURA 20 - Taxa de Assimilação Líquida (TAL) em g.dm⁻².dia⁻¹, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

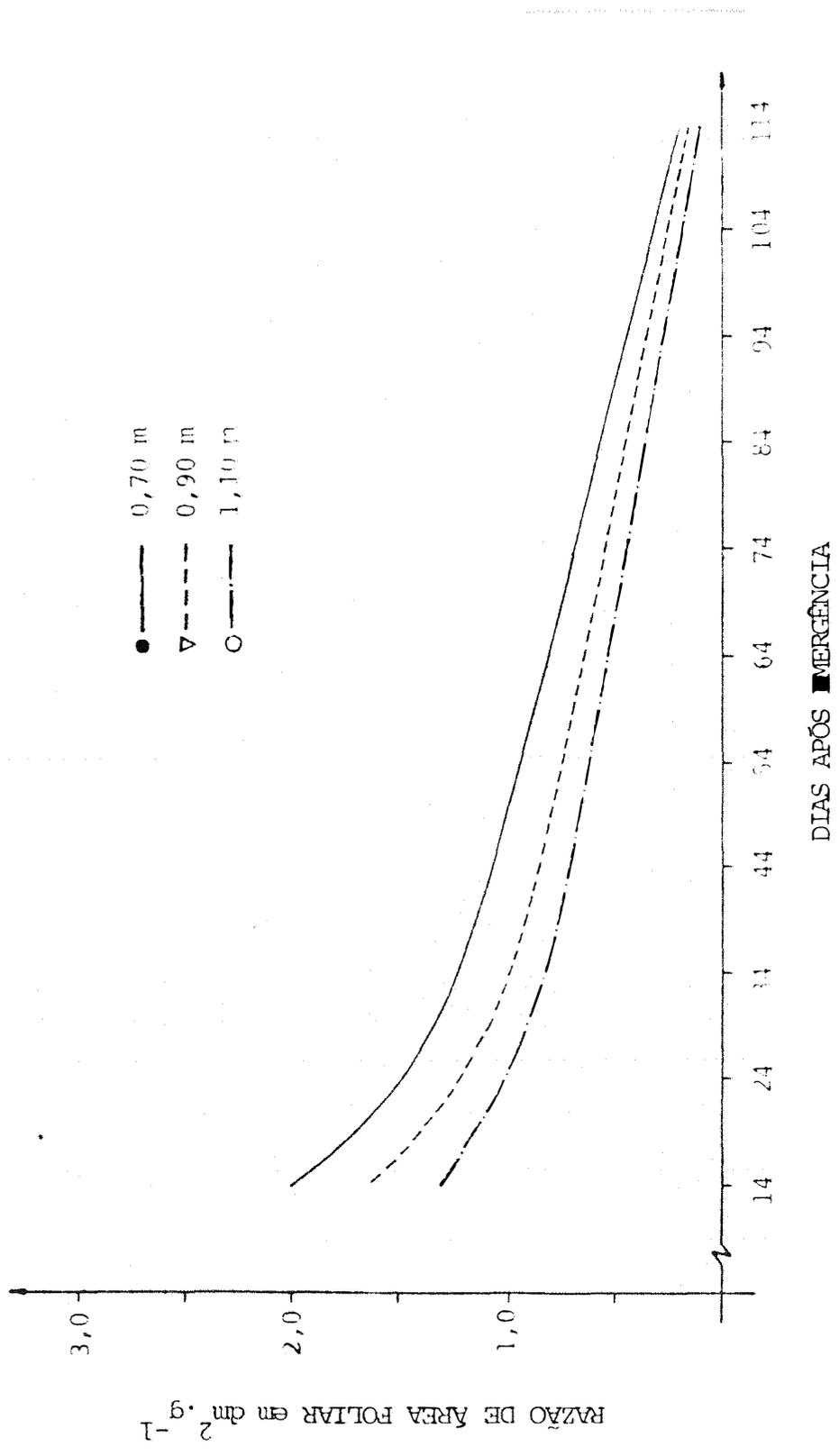


FIGURA 21 - Razão de Área Foliar (RAF) em $\text{dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, para o tratamento convencional, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (Zea mays L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

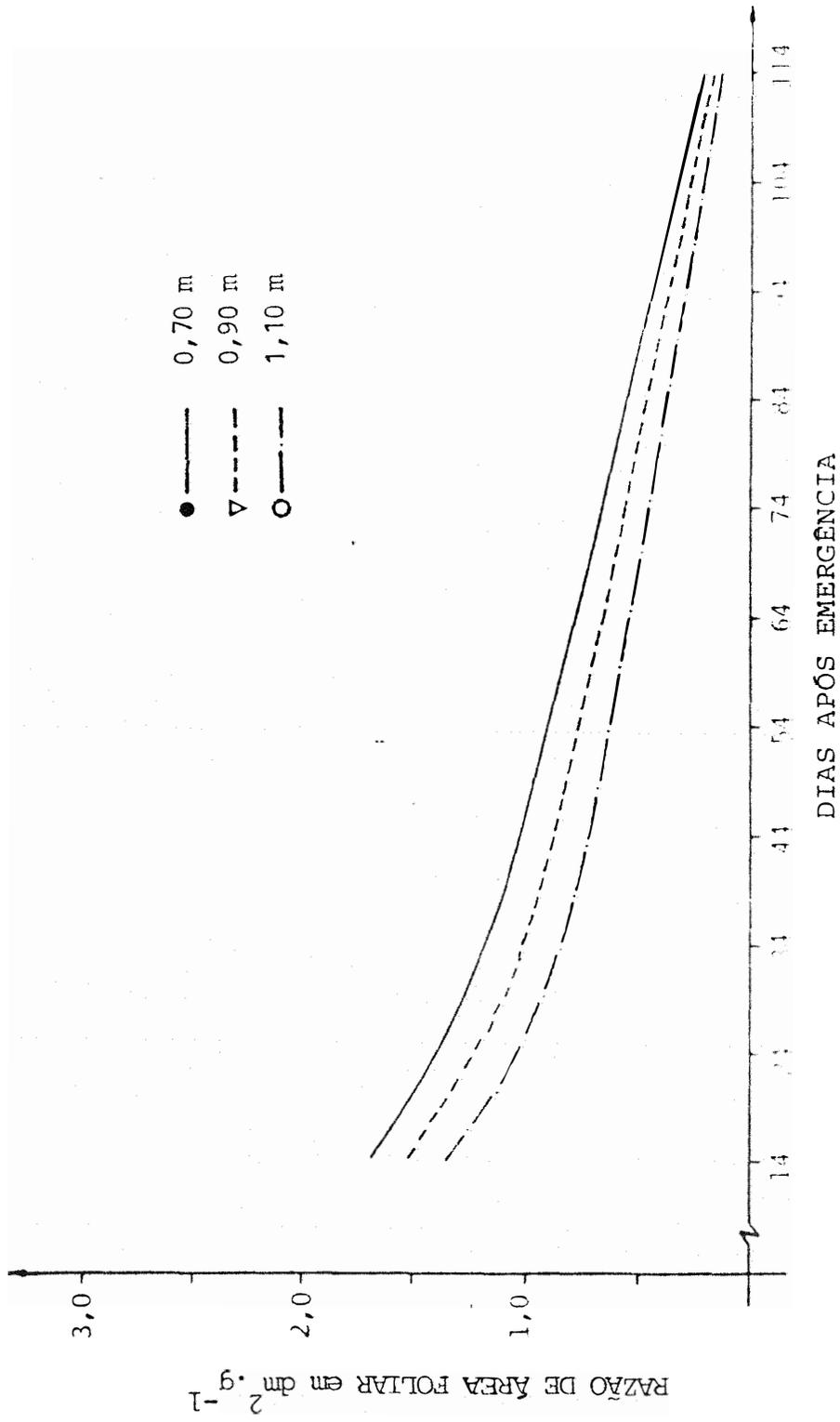


FIGURA 22 - Razão de Área Foliar (RAF) em $\text{dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, para o tratamento com subsolagem, nos diversos espaçamentos, em uma cultura de milho (*Zea mays* L.), durante o ciclo em dias após a emergência (t).

equação (9) e encontram-se dispostos na Tabela 16, em cada tempo correspondente. As curvas de regressão da razão de área foliar, foram realizadas a partir da equação (11). Os maiores valores da razão de área foliar alcançados para os espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, no preparo convencional, foram de 1,39, 1,80 e 1,64 $\text{dm}^2.\text{g}^{-1}$ aos 14 dias após emergência. Para o preparo com subsolagem, obtiveram-se valores máximos de 2,30, 2,30 e 2,43 $\text{dm}^2.\text{g}^{-1}$ aos 14 dias após a emergência.

4.6. Produção por área

A produção de grãos alcançou valores de 7836, 8242 e 10068 Kg/ha, para o preparo do solo convencional, nos espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m, respectivamente. O preparo do solo com subsolagem, nos respectivos espaçamentos, apresentou os seguintes resultados de massa de grãos por hectare: 7933, 8780 e 10421 Kg/ha. As massas de grãos, massas de espigas sem palha e as massas de sabugo (Tabela 17) foram obtidas com umidade de 20%.

TABELA 16 - Valores médios obtidos experimentalmente, em dm^2g^{-1} , para a razão de área foliar (RAF), nas datas de coletas dos diversos tratamentos, em milho (Zea mays L.). Piracicaba, SP, 1984.

Parâmetro	Dias Após Emergência	Tratamentos					
		Preparo Convencional		Preparo com Subsolagem			
		Espaçamento	Entre-Linhas	Espaçamento	Entre-Linhas		
		0,70	0,90	1,10	0,70	0,90	1,10
	14	1,39	1,80	1,64	2,30	2,30	2,43
	24	1,37	1,45	1,61	2,09	1,90	2,37
	34	0,74	0,72	0,73	0,66	0,64	0,72
	44	0,57	0,55	0,58	0,56	0,59	0,54
	54	0,49	0,45	0,47	0,44	0,45	0,45
	64	0,41	0,38	0,35	0,37	0,37	0,38
	74	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,30
	84	0,25	0,26	0,24	0,24	0,25	0,24
	94	0,21	0,22	0,22	0,21	0,22	0,24
	104	0,15	0,13	0,15	0,14	0,16	0,15
	114	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,08

TABELA 17 - Valores médios da produção por hectare, nos diversos tratamentos estudados em milho (Zea mays L.), cultivado em um solo classificado como "Terra Roxa Estruturada" série "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 1984.

Produção dos Elementos (Kg/ha)	Espaçamentos Entre-Linhas					
	Sistema Convencional		Sistema Subsolagem			
	0,70	0,90	1,10	0,90		
Sabugo	4758,6	4127,7	4825,4	4764,4	4329,7	4810,2
Espiga sem Palha	12594,7	12369,9	14892,9	12697,5	13109,7	15231,2
Grão (*)	7836,1	8242,2	10067,5	7933,1	8780,0	10421,0

(*) As massas obtidas foram com umidade de 20%.

5. DISCUSSÃO

5.1. Radiação solar e precipitação

Observa-se, pela Figura 3, que a radiação solar global durante o período da cultura teve um comportamento decrescente e oscilante. O decréscimo é normal em função dos meses do ano. As oscilações, por outro lado, são devidas à nebulosidade que, segundo LOOMIS e WILLIAMS (1963), acarretam uma utilização não satisfatória de luz pela planta de milho, que deve resultar numa redução da produção de matéria seca. Apesar disso, em termos quantitativos, a radiação solar foi suficiente para um bom desenvolvimento da cultura, embora tenha havido diminuição da fotossíntese em decorrência da nebulosidade.

Com relação à precipitação mostrada na Figura 3, pode-se verificar que até certo ponto foi bem distribuída, mas a sua quantidade muito baixa (o valor máximo obtido

não atingiu 15 mm). Isto se refletiu num total de precipitação (136,2 mm) inferior à média do local para o período considerado, e também inferior àquele preconizado por CANÉCHIO FILHO et alii (1973), necessários à cultura do milho e que, por conseguinte, exigiu a suplementação de água por irrigação, principalmente nas épocas de floração e polinização.

5.2. Matéria seca

Analisando os dados de matéria seca dos colmos, folhas e total, para os tratamentos convencional e com subsolagem, constantes das Tabelas 7 e 8, respectivamente, para os três espaçamentos utilizados, e os de produção por área, constantes da Tabela 17, pode-se verificar que para estes parâmetros, a operação de subsolagem não causou praticamente nenhuma variação em relação ao preparo convencional. Esta afirmativa pode ser melhor visualizada nos gráficos das Figuras 4 a 10, nos quais uma análise conjunta do comportamento dos tratamentos convencional e com subsolagem, indica uma coincidência quase que perfeita das curvas. As curvas apresentadas nessas figuras (4 a 10) foram obtidas por regressões lineares (Figuras 4, 5, 9 e 10) e quadráticas (Figuras 6, 7 e 8). Os coeficientes das equações representativas obtidas por estas regressões, assim como seus respectivos coeficientes de determinação podem ser vistos nas Tabelas 9, 10 e 11, através das quais observa-se que o ajuste das curvas

aos pontos experimentais foi bastante satisfatório, com o R sempre maior que 0,9. Fato importante a salientar é o da taxa constante da massa dos colmos (Figuras 4 e 5), pois não se verifica uma diminuição no valor deste parâmetro após o 105º dia da emergência, conforme salientam LOPES e MAESTRI (1973). Isto se deve ao fato de que, neste trabalho, desde o início da formação de espigas, estas foram adicionadas às massas dos colmos.

A não influência da subsolagem encontrada no presente experimento pode ser devida ao fato da cultura ter sido irrigada no decorrer do ciclo, o que, evidentemente, evitou a ocorrência de déficit hídrico, ofuscando, portanto, o contraste entre os tratamentos. Com relação à influência dos espaçamentos estudados na produção, verifica-se, através da Tabela 17, aumento da produção com o aumento do espaçamento, tanto para o sistema convencional como para o com subsolagem. O maior valor obtido no espaçamento 1,10 m entre-linhas, provavelmente, foi ocasionado pela melhor utilização da energia solar através do dossel de plantas, devido a uma melhor distribuição de luz nas suas camadas pelo maior afastamento entre-linhas. O outro fator que poderia contribuir para esta diferença seria a água, mas esta foi controlada, conforme já esclarecido anteriormente. Comportamento semelhante à produção também foi encontrado para os outros parâmetros das Tabelas 7 e 8 e Figuras 4 a 10, isto é, em média,

as massas de matéria seca do colmo e das folhas de uma planta, e da planta inteira, foram crescentes com o aumento do espaçamento.

5.3. Características morfológicas

Fazendo-se uma análise comparativa dos tratamentos convencional e com subsolagem das alturas de plantas e número de espigas por planta (Tabelas 2 e 3), é fácil de perceber que praticamente não houve diferença nos resultados obtidos. Informação semelhante pode ser extraída destas tabelas quando se comparam os diversos espaçamentos utilizados. O padrão de desenvolvimento deste cultivar de milho, notadamente no que diz respeito ao número de folhas por planta, foi aquele que se esperava quanto às suas características. Verifica-se, pelas Tabelas 2 e 3, que o número máximo de folhas coincide com a fase final do estágio vegetativo, isto é, aos 52 dias após a emergência em todos os tratamentos. Quando à característica morfológica, número de espigas por planta, também não houve praticamente influência nem da subsolagem e nem dos espaçamentos, muito embora com relação aos espaçamentos percebe-se uma leve tendência de aumento do número de espigas por planta com o aumento do espaçamento.

5.4. Fenologia

A partir dos dados da Tabela 5, elaboradas de acordo com o descrito por HANWAY (1963), para o presente experimento, verifica-se que comparativamente, todos os tratamentos, tanto os de preparo do solo como os de espaçamento, apresentaram períodos fenológicos semelhantes. Estes resultados mostram também que para este cultivar de milho, não houve influência da época de semeadura, uma vez que esta foi efetuada dia 7 de fevereiro de 1984, portanto, muito tardiamente.

5.5. Análise de raízes

As coletas dos monólitos de solo mais raízes do perfil do solo foram realizadas no dia 18 de abril, próximas ao início do estágio reprodutivo (Tabela 5), correspondendo ao 71º dia após a semeadura. A distribuição das raízes nos perfis de solo subsolado e não subsolado encontra-se na Tabela 6. Observa-se, por esta tabela, que a profundidade máxima atingida pelo sistema radicular no preparo do solo convencional foi de 1,71 m. Entretanto, 90,9% do seu volume foi encontrado nos primeiros 60 cm do solo. Na camada de solo entre as profundidades 20 e 40 cm já havia 44,2%, e nos primeiros 20 cm, cerca de 4,7% do total. O sistema radicular do preparo do solo com subsolagem atingiu a profundida

de máxima de 1,99 m. Nos primeiros 60 cm, obteve-se o valor 87,3% do total das raízes; a 40 cm, 14,6% e até 20 cm, 5,6% do total. As massas totais de raízes foram de 618,1 g no preparo do solo convencional e 506,2 g no preparo do solo com subsolagem. O sistema radicular do preparo convencional apresentou maior massa total, mas atingiu menor profundidade, enquanto o preparo com subsolagem, ao contrário, apresentou menor massa de raízes e um sistema radicular um pouco mais profundo. Até a profundidade de 1 m, ambos os tratamentos apresentaram boas massas de raízes, porém, o preparo convencional mostrou, nas camadas até 40 cm, maior massa de raízes que o preparo com subsolagem, o inverso ocorrendo nas profundidades maiores. Estes resultados divergem um pouco dos obtidos por CRUZ e TAMES (1972) e MENGEL e BARBER (1974), por serem valores mais elevados, mas se aproximam daqueles obtidos por ESPINOZA (1982). Segundo este autor, a distribuição em massa de raízes mostrou uma concentração de 60 a 80% nas primeiras camadas do perfil do solo e, a partir dos 40 cm, a porcentagem diminui até 10 a 15%.

5.6. Parâmetros fisiológicos

Conforme já comentado no item 3.7, o parâmetro produtividade biológica ao longo do ciclo da cultura, no presente experimento, teve um acréscimo linear no tempo para to

dos os tratamentos utilizados, isto é, preparo do solo convencional, preparo do solo com subsolagem e espaçamentos de 0,70, 0,90 e 1,10 m. Esta relação linear pode ser visualizada nos gráficos das Figuras 13 e 14, para os tratamentos convencional e com subsolagem, respectivamente. Observa-se por estas figuras, que o ajuste das curvas aos pontos experimentais foi satisfatório, mostrando que a produtividade biológica variou linearmente com o tempo no presente caso. Isto é confirmado pelos altos valores dos coeficientes de determinação (R^2) que foram sempre maiores que 0,95, conforme mostra a Tabela 14, na qual também se encontram dispostos os coeficientes linear e angular das respectivas retas. Analisando separadamente as Figuras 13 e 14, verifica-se que, independente do tipo de preparo do solo, praticamente não houve diferença no comportamento da produtividade biológica ao longo do tempo para os três espaçamentos estudados. Ao se analisar comparativamente estas figuras, verifica-se que este parâmetro não mostrou diferença de comportamento quando o preparo de solo foi convencional ou com subsolagem. Apesar de, via de regra, esta curva de PB x t apresentar a forma de uma sigmóide, mostrada por diversos trabalhos da literatura, como por exemplo, os de LOPES e LOPES (1977) e MACHADO et alii (1982), no presente caso isto não foi verificado, como bem atestam as Figuras 13 e 14, provavelmente pelo fato da última coleta de plantas (114 dias após emergência) ter sido efetuada antes da maturação fisiológica do milho. Portanto, o

comportamento decrescente da produtividade biológica não pôde ser verificado, e a regressão linear ter sido suficiente. O contrário ocorreu com o índice de área foliar, que aumentou com o tempo, atingiu um máximo, e depois decaiu até a última coleta de plantas, devido à senescência das folhas. Este comportamento do índice de área foliar foi quadrático com o tempo, conforme mostram as Figuras 11 e 12, para os tratamentos de preparo do solo convencional e com subsolagem, respectivamente. Também neste caso, praticamente não houve diferença entre os diversos tratamentos, isto é, nem a subsolagem e nem o espaçamento influenciaram no comportamento deste parâmetro ao longo do ciclo da cultura. Com relação ao ajuste dos pontos experimentais a uma equação do segundo grau, neste caso, também foi satisfatório, uma vez que os valores de R foram sempre maiores que 0,9, conforme pode ser visto na Tabela 13, que mostra também os coeficientes da equação para os diversos tratamentos, obtidos pela regressão. Apesar das curvas apresentadas nas Figuras 11 e 12 mostrarem um único ponto de máximo, ao redor do 75º dia após a emergência, analisando os dados realmente obtidos (Tabela 12), verifica-se uma diferença entre os tratamentos de preparo do solo convencional e com subsolagem, isto é, como já salientado no item 4.1, no preparo de solo convencional, o valor máximo médio de IAF foi aos 64 dias após a emergência, enquanto que, no preparo com subsolagem aos 74 dias após a emergência. Este comportamento quadrático do IAF ao longo do ciclo da cultura

é padrão, e no caso do presente experimento, o valor máximo obtido foi semelhante àquele de SILVA et alii (1974) que trabalharam com dois cultivares de milho, mas foi superior ao encontrado por LOPES e LOPES (1977) e inferior aos de WILLIAMS et alii (1965). Assumindo como válida a equação (1) para a produtividade biológica ao longo do ciclo da cultura, é evidente que, com base na definição da taxa de crescimento da cultura (equação 2), o gráfico resultante deste parâmetro ao longo do tempo, seria uma linha paralela ao eixo das abcissas, com o valor constante da ordenada igual ao coeficiente angular da equação 1 (Figuras 15 e 16). A Figura 15 mostra os valores constantes de TCC, ao longo do ciclo da cultura, para os três espaçamentos estudados no solo, que foi preparado convencionalmente, e a Figura 16, as mesmas informações, porém, para o solo subsolado. Como já foi discutido anteriormente, não houve praticamente diferença entre os diversos tratamentos, no que diz respeito ao PB ao longo do tempo (Figuras 13 e 14). Consequentemente, o mesmo deve ocorrer para o caso da taxa de crescimento da cultura. Em termos globais isto é verdade, mas em termos médios, pode-se dizer que existe uma ligeira diferença entre os TCC constantes para os tratamentos estudados, notadamente no caso do tratamento convencional. Neste caso, a tendência é de um aumento da TCC com o aumento do espaçamento entre-linhas. Esta situação (TCC constante ao longo do tempo) é aparentemente fora dos padrões normais existentes na literatura, nos quais, devido à forma

sigmóide de $PB \times t$, não leva a um valor constante de $TCC \times t$ e sim a uma curva de diferentes formas, dependendo do estágio da cultura estudado, conforme mostram diversos trabalhos, como ALVIM e ALVIM (1969), LOPES e MAESTRI (1973), LOPES e LOPES (1977) e MACHADO et alii (1982). No entanto, a adoção desta relação linear do $PB \times t$, que leva a TCC constante, tem um respaldo estatístico, de a regressão linear ter fornecido um bom valor de R^2 , além do que, quando se calculou a taxa de crescimento da cultura média a partir dos pontos experimentais, pela equação (12), o que se obteve foi uma variabilidade muito grande dos resultados, que um valor constante médio poderia ser mais representativo do que qualquer outra curva. Esta dispersão dos dados de TCC são os pontos das Figuras 15 e 16. Como não houve indicações de que pudessem afirmar que os tratamentos sejam diferentes, apenas com intuito de tentar visualizar melhor os detalhes da TCC (que a literatura não considera constante ao longo do ciclo de uma cultura), traçou-se manualmente a curva média de todos os tratamentos, que pode ser vista nas Figuras 15 e 16. Analisando os dados em termos desta curva, o que se pode dizer é que realmente existe um aumento da TCC dos 14 aos 44 dias após a emergência, e a partir deste ponto decresce e se torna praticamente constante até o final do ciclo. Com isto, pode-se dizer que em termos médios, também no caso deste experimento, desconsiderando a estatística, a TCC começa baixa, se eleva até um máximo e depois decresce até o final do ciclo da cultura.

Apesar da produtividade biológica, como foi discutido anteriormente, não ter sido bem representada por uma linha reta, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, a utilização da equação (5) para o cálculo da taxa de crescimento relativo, que considera a existência de uma relação linear entre $PB \times t$, mostrou um bom ajuste com os dados experimentais calculados de acordo com o descrito no item 4.5.4, o que pode ser visualizado nas Figuras 17 e 18, que mostram as curvas obtidas a partir da equação (5) e os valores obtidos experimentalmente (equação 13). Através das figuras se observa que a taxa de crescimento relativo foi decrescente com o tempo, como era esperado em função da literatura (LOPES e MAESTRI, 1973; SILVA et alii, 1974; MACHADO et alii, 1982). No entanto, fazendo-se uma análise semelhante àquela realizada para a TCC, caso fosse traçada manualmente a curva média de todos os tratamentos, verificasse para os tratamentos estudados que, no período de 14 a 44 dias após a emergência, a TCR cresce dos 14 aos 24 dias, decaindo posteriormente.

Com respeito aos resultados específicos do presente experimento, a comparação entre as curvas de $TCR \times t$ para cada tipo de preparo do solo e a comparação destas curvas entre os dois tipos de preparo, mostra a semelhança da produtividade biológica, índice de área foliar e da taxa de crescimento da cultura, não existir diferença entre os diversos tratamentos, ou seja, a subsolagem não modificou o com

portamento da taxa de crescimento relativo, assim como o espaçamento também não o fez. À semelhança da TCC e da TCR, existe também para a taxa de assimilação líquida, equações que calculam o seu valor médio num determinado período de tempo, pela integração da equação (6), durante este período. A mais utilizada destas equações assume que deva existir uma relação linear entre PB x A. Como no presente caso não existiu essa relação linear, porque a área foliar variou de uma forma quadrática com o tempo e a produtividade biológica de uma forma linear, não foram realizados os cálculos da taxa de assimilação líquida média. Portanto, a discussão restringir-se-á apenas às curvas obtidas a partir da equação (8). Analisando-se as curvas das Figuras 19 e 20, observa-se que para ambos os preparos de solo, o valor da taxa de assimilação líquida, em qualquer tempo ao longo do ciclo da cultura, foi sempre maior com o aumento do espaçamento. No entanto, devido à dispersão dos dados para os outros parâmetros estudados, pode-se dizer que praticamente esta diferença inexistente. Outro ponto a ser considerado é o comportamento das curvas; devido estas terem sido calculadas a partir da equação (8), deveriam ser semelhantes, tendo em vista que, para todos os tratamentos, a taxa de crescimento da cultura e índice de área foliar se comportarem semelhantemente. A diminuição da taxa de assimilação líquida com o aumento do índice de área foliar também foi verificada por WILLIAMS et alii (1965). Não levando em consideração a dispersão dos dados que obscurecessem a sua interpretação, ao analisar as curvas da razão

de área foliar apresentadas nas Figuras 21 e 22, para os preparos de solo convencional e com subsolagem, respectivamente, nos diversos espaçamentos estudados, e definidos com base na equação (11), verifica-se que o preparo do solo não teve nenhuma influência neste parâmetro. Entretanto, o espaçamento mostra que, embora de uma maneira não muito pronunciada, teve influência na razão de área foliar. Nota-se pelas curvas das Figuras 21 e 22, que o aumento do espaçamento diminuiu a razão de área foliar ao longo do ciclo da cultura, principalmente no início do ciclo e com maior intensidade no tratamento convencional. Ponto importante a ser frisado com relação aos espaçamentos em ambos os preparos do solo, é que o comportamento da razão de área foliar em relação ao comportamento da taxa de assimilação líquida são inversos. Isto é, para os dois preparos de solo, a razão de área foliar é maior para as plantas do espaçamento menor, ao mesmo tempo que apresentam uma menor taxa de assimilação líquida, enquanto que as plantas do maior espaçamento, com menor razão de área foliar, apresentam uma maior taxa de assimilação líquida. Certamente, este fato não se deve ao número de folhas das plantas destes tratamentos (Tabela 2), mas a uma menor absorção de energia solar por parte destas plantas com menor espaçamento. Este maior sombreamento entre as folhas no espaçamento menor, ocorreu devido à proximidade das linhas de plantio, ocasionando uma menor distribuição de luz no dossel e, consequentemente, uma menor taxa de assimilação líquida. Quanto

aos valores da razão de área foliar serem maiores no início do estágio vegetativo, para todos os tratamentos estudados, provavelmente se deve ao fato de que, na fase inicial, a maior parte do material fotossintetizante foi convertido em folhas, visando maior captação da radiação solar disponível. Posteriormente, a razão de área foliar decresce, devido a uma maior acumulação de matéria seca no colmo e espiga. Por outro lado, ao se analisar os valores médios da razão de área foliar, verifica-se que os encontrados por SILVA et alii (1974) foram superiores àqueles encontrados neste experimento, apesar de haver semelhança no comportamento das curvas.

6. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi conduzido este experimento, pode-se concluir que:

- A subsolagem, em comparação com o preparo do solo convencional, não tem influência sobre nenhum dos fatores fisiológicos estudados.

- Com relação aos espaçamentos estudados, o que apresenta maior produção é o de 1,10 m, para ambos os preparos do solo; portanto, pode-se dizer que este é o melhor espaçamento dos três estudados (0,70; 0,90 e 1,10 m).

- Os estádios fenológicos da cultura não foram afetados pelos espaçamentos estudados, muito embora, em termos médios, houvesse variações dos parâmetros fisiológicos.

- Para o sistema radicular, o solo que recebeu a subsolagem o apresentou mais profundo, apesar do seu desenvolvimento ter sido satisfatório para ambos os preparos do solo (subsolagem e convencional).

- Os problemas metodológicos encontrados para coleta e análise dos dados, em um estudo usando a análise quantitativa de crescimento são: (i) aumentar o número de repetições na coleta de plantas; (ii) a definição prévia das áreas de coleta do material; (iii) na separação da massa de matéria seca da parte aérea das plantas o grande volume de material para secagem; (iv) a coleta de solo com raízes do perfil, a separação destas raízes do solo e sua respectiva limpeza, não apresentam metodologia consistente, além de ser muito trabalhosa; (v) para análise dos dados as fórmulas preconizadas para valores médios de TCC, TAL e TCR, não ajustaram satisfatoriamente para as condições deste experimento.

7. LITERATURA CITADA

ALESSI, J. e J.F. POWER, 1974. Effects of plant population, row spacing and relative maturity on dryland corn in the Northern Plains. I. Corn forage and grain yield.

Agronomy Journal, 66: 316-319.

ALESSI, J. e J.F. POWER, 1975. Effect of plant spacing on phenological development of early and midseason corn hybrids in a semiarid region. Crop Science, 15: 179-182.

ALLISON, J.C.S., 1964a. A comparison between maize and wheat in respect of leaf area after flowering and grain growth.

Journal of Agricultural Science, 63: 1-4.

ALLISON, J.C.S., 1964b. Physiological studies of the post-flowering period in Zea mays L. University of London.

(Tese de Ph.D.).

- ALOISI SOBRINHO, J. e H.V. ARRUDA, 1960. Efeito do preparo do solo na produção do milho. Bragantia, 19: 215-219.
- ALVIM, R. e P.T. ALVIM, 1969. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (Zea mays L.) e pelo feijão (Phaseolus vulgaris L.), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba, 19: 389-393.
- BAKER, D.N. e R.B. MUSGRAVE, 1964. Photosynthesis under field conditions. V. Further plant chamber studies of the effects of light on corn. Crop Science, 4: 127-130.
- BENEZ, S.H., C. PIEDADE Jr., C.A. GAMERO e A.E. KLAR, 1979. Preparo do solo e lotações na cultura do milho (Zea mays L.). Eng. Agric., 3: 21-28.
- BEZERRA DE OLIVEIRA, L., 1967. O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. Boletim Técnico Pesquisa Agropecuária Brasileira. Rio de Janeiro. Vol. 2.
- BLACKMAN, V.H., 1919. The compound interest law and plant growth. Ann. Bot., 33: 353-360.
- BLACKMAN, G.E., 1968. The application of the concepts of growth to the assessment of productivity. In: UNESCO. Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Paris, p. 243-259.

- BOHM, W., 1979. Methods of studying root systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York. 128 p.
- BONNER, J. e A.W. GALSTON, 1955. Principles of plant physiology. W.H. Freeman and Company Publishers. San Francisco-Cal.
- BRIGGS, G.E., R. KIDD e C. WEST, 1920. Quantitative analysis of plant growth. Ann. appl. Biol., 7: 103-123, 202-223.
- CANÉCHIO FILHO, V. e T.C. ALMEIDA, 1973. Principais culturas, t.II. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 405 p.
- CHANG, JEN-HU, 1968. Climate and agriculture. An ecological survey. Aldine Publishing Chicago. 304 p.
- CHING CHOY, W., J.F. STONE e J.E. GARSTON, 1977. Row spacing and direction effects on water uptake characteristics of peanuts. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 428-532.
- CRUZ, G. e C. TAMES, 1972. Desarrollo y distribución del sistema radicular del trigo y maíz evaluado en condiciones de campo. Anales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Serie Producción Vegetal, Madrid, (2): 75-101.
- DALE, R.F. e R.H. SHAW, 1965. Effect on corn yields of moisture stress and stand at two fertility levels. Agronomy Journal, 57: 475-479.

- DOPPLER, W., 1983. Plant research and development. In: Irrigation as a basis for development. Institute for Scientific Co-operation, Tubingen, p. 26-36.
- DUNCAN, W.G., R.S. LOOMIS, W.A. WILLIAMS e R. HANAV, 1967. A model for simulating photosynthesis in plant communities. Hilgardia, 38: 181-205.
- DUNCAN, W.G., 1975. Maize. In: EVANS, L.T. Crop physiology some case histories. London, Cambridge University Press, p. 23-50.
- EAGLES, C.F., 1971a. Changes in net assimilation rate and leaf-area ratio with time in Dactylis glomerata. Ann. Bot., 35: 63-74.
- ESPINOZA, W., J. AZEVEDO e L.A. ROCHA, 1980. Densidade de plantio e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico na região dos cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 15: 85-95.
- ESPINOZA, W., 1982. Resposta de doze cultivares de milho ao déficit hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro (Typic haplustox) de cerrados do Distrito Federal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17: 905-915.
- EVANS, G.C., 1972. The quantitative analysis of plant growth. England, Oxford. Blackwell Scientific Publications.

- FISHER, R.A., 1921. Some remarks on the methods formulated in a recent article on the quantitative analysis of plant growth. Ann. Appl. Biol., 7: 367-372.
- FOTH, H.D., 1962. Root and top growth of corn. Agronomy Journal, 54: 49-52.
- GALVÃO, J.D., S.S. BRANDÃO e F.R. GOMES, 1969. Efeito da população de plantas e níveis de nitrogênio sobre a produção de grãos e sobre o peso médio das espigas de milho. Experimentiae, 9: 39-82.
- GALVÃO, J.D. e E. PATERNIANI, 1975. Comportamento do milho "Piranão" (Braguítico-2) e de milhos de Porte Normal em diferentes níveis de nitrogênio e populações de plantas. Experimentiae, 20: 17-52.
- GERARD, C.J., P. SEXTON e G. SHAW, 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. Agronomy Journal, 74: 875-879.
- GREGORY, F.G., 1926. The effect of climatic conditions on the growth of barley. Ann. Bot., 40: 1-26.
- HANWAY, J.J., 1963. Growth stages of corn (Zea mays L.). Agronomy Journal, 55: 487-492.
- HILER, E.A., T.A. HOWEL, R.B. LEWIS e R.P. BOOS, 1974. Irrigation timing by the stress day index method. Trans. ASAE, 17: 393-398.

- HUNT, R., 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology nº 96. 68 p.
- KVET, J., J.P. ONDOK, J. NECAS e P.G. JARVIS, 1971. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z. et alii, Eds. Plant photosynthetic production. Manual of methods. Haia, Dr. W. Junk N.V. Publishers. p. 343-391.
- LEITE, D.R. e E. PATERNIANI, 1973. Comportamento de milho (Zea mays L.) braquítico-2 em diferentes densidades de plantio. Relatório Científico Inst. Genética-ESALQ/USP. Piracicaba, SP, 7: 74-82.
- LIBARDI, P.L., 1984. Balanço de nitrogênio em culturas agrícolas e desvios encontrados na sua quantificação. Piracicaba, ESALQ/USP, 130 p. (Tese de Livre-Docência).
- LOOMIS, R.S. e W.A. WILLIAMS, 1963. Maximum crop productivity: an estimate. Crop Science, 3: 67-72.
- LOPES, O. e F.N. LOPES, 1977. Análise de crescimento e conversão da energia solar em dois híbridos de milho (Zea mays L.). Revista Ceres, 24: 289-296.
- LOPES, N.F. e M. MAESTRI, 1973. Análise de crescimento e conversão da energia solar em populações de milho (Zea mays L.) em Viçosa, Minas Gerais. Revista Ceres, 20:189-201.

- MACHADO, E.C., A.R. PEREIRA, J.I. FAHL, H.V. ARRUDA, W.J. SILVA e J.P.F. TEIXEIRA, 1982. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17: 825-833.
- MAGALHÃES, A.C.N., 1979. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G., Ed. Fisiologia vegetal. São Paulo, EDUSP, Vol. 1, p. 331-350.
- MARQUES, J.Q.A. e J. BERTONI, 1961. Sistemas de preparo do solo em relação à produção e à erosão. Bragantia, 20: 403-459.
- MCPHERSON, H.G. e J.S. BOYER, 1977. Regulation of grain yield by photosynthesis in maize subjected to a water deficiency. Agronomy Journal, 69: 714-718.
- MEDEIROS, M.C. e A.M. SCHLEHUBER, 1971. Produção de grãos e componentes da produção das variedades brasileiras de trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 6: 46-52.
- MENGEL, D.B. e S.A. BARBER, 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agronomy Journal, 66: 341-344.
- MOLL, R.H. e E.J. KAMPRATH, 1977. Effects of population density upon agronomic traits associated with genetic increases in yield of Zea mays L. Agronomy Journal, 69: 81-84.

- MONTEITH, J.L., 1969. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN, J.D. et alii, Eds. Physiological aspects of crop yields. Madison, USA. p. 89-111.
- MONTGOMERY, E.G., 1911. Correlation studies of corn. S.1. Nebraska Agr. Sta., Annual Report, 24. p. 109-159.
- MOSS, D.N., R.B. MUSGRAVE e E.R. LEMON, 1961. Photosynthesis underfield conditions. III. Some effects of light, carbon dioxide, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration corn. Crop Science, 1: 83-196.
- MUDSTOCK, C.M., 1978. Efeitos de espaçamentos entre-linhas e de populações de plantas em milho (Zea mays L.) de tipo precoce. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 13: 13-18.
- ORTOLANI, A.F., O. COAN, J. AYALA OSUNA e D.A. BANZATTO, 1981. Avaliação da resistência do milho (Zea mays L.) ao acamamento, em diferentes sistemas de preparo do solo. Científica, 9: 215-219.
- PERIGAUD, S., 1965. Effet du résistance mécanique et du manque d'oxygène sur le développement des racine. Compt. Rend. Acad. Agric. France, 51: 1209-1220.

- PRIMAVESI, A., 1964. Wheat crops in relation with improving soil structures and root development. VIII Intern. Contr. Soil Sci. Trans. Bucharest, IV: 879-890.
- PRIMAVESI, A. e A.M. PRIMAVESI, 1966. Causas de resultados incertos de adubações químicas feitas somente na base da análise química do solo. Bodenkultur Wien, 17: 34-38.
- PRIMAVESI, A.M. e A. PRIMAVESI, 1971. Influência da técnica de plantio no rendimento de milho (Zea mays L.). Revista do Centro de Ciências Rurais UFSM, 1: 45-58.
- RADFORD, P.J., 1967. Growth analysis formulae: their use and abuse. Crop Science, 7: 171-175.
- RANZANI, G., O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Levantamento da carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 85 p. (mimeografado).
- REIS, G.G. e M.W. MULLER, 1979. Análise de crescimento de plantas, mensuração do crescimento. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Serviço de Documentação e Informação. 39 p.
- RHODES, H.F., 1962. El uso eficaz dellagua para la produccion de maiz. Agricultura de las Americas, 11: 50-52.

- RICHARDS, F.J., 1969. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C., Ed. Plant physiology, a treatise. Academic Press, London. Provides in-depth coverage of the process of dry weight increase, from a mathematical point of view. p. 1-76.
- ROSSIELLO, R.O.P., M.S. FERNANDES e J.P.O. FLORES, 1981. Efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e a acumulação de carboidratos solúveis em milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 16: 561-566.
- RUMAWAS, F., B.O. BLAIR e R.J. BULA, 1971. Microenvironment and plant characteristics of corn (Zea mays L.) planted at two row spacings. Crop Science, 11: 320-323.
- SÁ LEITE, C.A., 1959. Pesquisas agrícolas com milho. Porto Alegre. Secretaria da Agricultura, p. 27-41.
- SILVA, W.J., J.C. MONTOJOS e R.A. PERGIRA, 1974. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. Ciência e Cultura, 26: 360-365.
- STOSKOPF, N.C. e E. REINBERGS, 1966. The basis of breeding for yield in wheat. Wheat Newsletter, Canada Department of Agriculture, 13: 13-20.
- SWAN, J.B. e D.R. HICKS, 1972. Irrigated corn production. S.1. University of Minnesota. Extension Folder, 263.

- TANNER, C.B., A.E. PETERSON e J.R. LOVE, 1960. Radiant energy exchange in a corn field. Agronomy Journal, 52: 373-378.
- TAYLOR, H.M., A.P. MATHERS e F.B. LOTSPEICH, 1964. Pans in the Southern plaine soil. Why root-restricting pans occure. Agronomy Journal, 56: 328-332.
- VIEGAS, G.P., 1980. Práticas culturais. In: PATERNIANI, E., Ed. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Piracicaba, Fundação Cargill, Marprint, Cap. XI, p. 376-428.
- VILLA NOVA, N.A., R. VENCovsky, J.C. OMETTO e A. DECICO, 1973. Contribuição ao estudo dos ventos da região de Piracicaba. II Semana de Estudos de Meteorologia Agrícola do Paraná. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- WALLAGE, D.H., J.L. OZBUN e H.M. MUNGER, 1972. Physiological genetics of crop yield. Adv. Agron., 24: 97-146.
- WATSON, D.J., 1952. The physiological basis of variation in yields. Adv. Agron., 4: 101-145.
- WATSON, D.J., 1956. Leaf growth in relation to crop yield. In: MILTHORPE, F.L., Ed. The growth leaves. London, Butterworths, p. 178-191.
- WATSON, D.J., 1958. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Ann. Bot., 22: 37-54.

- WIERSUM, L.K., 1961. Utilization of soil by the plant root system. Plant and Soil, 15: 189-192.
- WILLIAMS, W.A., R.S. LOOMIS e C.R. LEPLEY, 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf-area index. Crop Science, 5: 211-219.
- WINKLER, E.I.G., 1972. Espaçamento quadrangular em milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO, 9ª Recife, p. 185-189.
- YAO, A.Y.M. e R.H. SHAW, 1964. Effect of plant population and planting pattern of corn on the distribution of net radiation. Agronomy Journal, 56: 165-169.