

34

**Circular
Técnica**

*Campina Grande, PB
Maio, 2000*

Autores

Luiz Carlos Silva
Eng. agrôn., D.Sc., da
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 – Centenário
58107-720 – Campina Grande, Pb
E-mail: lcsilva@cnpa.embrapa.br

**Napoleão Esberard de Macêdo
Beltrão**
Eng. agrôn., D.Sc., da
Embrapa algodão
E-mail: nbeltrao@cnpa.embrapa.br

Malaquias da Silva Amorim Neto
Eng. agrôn., D.Sc., da
Embrapa algodão
E-mail: amorim@cnpa.embrapa.br

Análise do Crescimento de Comunidades Vegetais



Introdução

A análise do crescimento se apresenta como uma técnica válida para estudar as bases fisiológicas da produção e, por em evidência, a influência exercida pelas variáveis ambientais, genéticas e

agronômicas. Esta técnica descreve as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas e propõe-se a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética avaliada através da acumulação de fitomassa seca. Vários pesquisadores têm-se dedicado à análise quantitativa do crescimento, destacando-se Watson (1952); Blackman (1968); Richards (1969); Kvet et al. (1971); Evans (1972); Hesketh & Jones (1980); Fitter & Hay (1981).

Este método tem sido bastante utilizado para a investigação do efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento como adaptabilidade de espécies em ecossistemas diversos, efeitos de competição de cultivares e influência de práticas agrônômicas sobre o crescimento; além dos fatores intrínsecos que afetam o crescimento e que estão associados a fenômenos fisiológicos básicos, como a fotossíntese, a respiração e os processos morfogenéticos, entre outros. Há de se considerar, também, os fatores ambientais associados às alterações do crescimento das plantas. Tais fatores como o suprimento de água, a radiação solar e a temperatura foram os mais estudados (Briggs et al., 1920; Radford, 1967; Blackman, 1968; Clawson, 1983; Vieira et al., 1990).

As bases metodológicas da análise de crescimento estabeleceram-se com os primeiros trabalhos realizados no início do século por Gregory, (1918); Blackman, (1919); Briggs et al., (1920), sendo, posteriormente, objeto de numerosos estudos que provocaram desenvolvimento adicional, especialmente em técnicas matemáticas (Vernon & Allison, 1963; Radford, 1967). Hoje pode-se afirmar que coexistem dois tipos de técnicas dentro desta metodologia, a "clássica" e a "funcional" ou "dinâmica".

O método clássico apoia-se na estimativa dos valores médios das variações dos dados de crescimento (fitomassa, IAF etc.) em intervalos de tempo fixados por duas amostras sucessivas ao longo do ciclo

biológico da cultura e requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados. O método funcional ou dinâmico consiste em adaptar uma função matemática do tipo logístico ou de outra natureza (polinomial, exponencial, etc.) aos dados de crescimento, e delas derivar os diversos índices de crescimento (Radford, 1967; Buttery, 1969; Richards, 1969; Hunt, 1979). As informações requeridas são a quantidade de material contido em toda a planta e em partes dela (folhas, colmos, raízes e frutos) e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar).

No presente trabalho, crescimento é definido como o aumento temporal e irreversível da fitomassa de uma planta individual ou de comunidades vegetais.

O objetivo deste trabalho é apresentar os conceitos da análise do crescimento de comunidades vegetais, as técnicas de amostragem, as dificuldades envolvidas na coleta dos dados e a utilização de funções matemáticas na estimativa dos índices fisiológicos.

Componentes do Crescimento e Índices Fisiológicos (Metodologia Clássica)

Os componentes do crescimento vegetal podem ser explicados por pelo menos dez diferentes equações. Estes componentes são conhecidos como taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), taxa de crescimento relativo (TCR), razão de peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE), taxa de crescimento relativo foliar (TCRF), taxa de expansão relativa da área foliar (TERAF), fator de partição da área foliar (FPAF) e área média por folíolo (AMPF).

As equações que especificam estas características do crescimento e suas respectivas unidades são:

$$TCC = \frac{dW}{dT} \quad \{g \text{ m}^{-2} \text{ área do solo dia}^{-1}\} \quad (1)$$

$$TAL = \frac{1}{A} * \frac{dW}{dT} \quad \{g \text{ m}^{-2} \text{ área foliar dia}^{-1}\} \quad (2)$$

$$RAF = \frac{A}{W} \quad \{m^2 g^{-1}\} \quad (3)$$

$$TCR = \frac{1}{W} * \frac{dW}{dT} \quad \{g g^{-1} \text{ dia}^{-1}\} \quad (4)$$

$$RPF = \frac{LW}{W} \quad \{g g^{-1}\} \quad (5)$$

$$AFE = \frac{A}{LW} \quad \{m^2 g^{-1}\} \quad (6)$$

$$TRCF = \frac{1}{LW} * \frac{dLW}{dT} \quad \{g g^{-1} \text{ dia}^{-1}\} \quad (7)$$

$$TREAf = \frac{1}{A} * \frac{dA}{dT} \quad \{m^2 m^{-2} \text{ dia}^{-1}\} \quad (8)$$

$$FPAF = \frac{dA}{dW} \quad \{m^2 g^{-1}\} \quad (9)$$

$$IAF = \frac{A_f}{S} \quad \{\text{adimensional}\} \quad (10)$$

onde:

T = Tempo (em dia)

W = Fitomassa {g m⁻² área de solo}

IAF = Índice de Área Foliar {m² área foliar m⁻² área de solo}

LW = Peso seco dos folíolos {g m⁻²}

Af = Área foliar {m²}

S = Área do solo correspondente à amostra {m²}.

Taxa de crescimento cultural (TCC) é o acúmulo da massa seca com o tempo e é aproximadamente igual à fotossíntese da cobertura vegetal por unidade de área de solo e representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, isto é, sua produtividade primária. Ela é o resultado da fotossíntese líquida durante as horas claras do dia menos as perdas respiratórias do dia e da noite. Uma vez que a TCC inclui a assimilação de nutrientes tais como nitrogênio, fósforo, potássio e outros, como CO₂, a TCC não é meramente uma medida das taxas de troca de carbono. Entretanto, a quantidade desses assimilados não carbônicos não é grande e abrange somente cerca de 10 a 15 por cento da massa total (Blackman, 1968). Por conseguinte, a TCC pode ser usada com propósitos de comparação como uma medida indireta da fotossíntese.

Matematicamente, a equação (1) representa a TCC instantânea, isto é, a tangente à curva de acúmulo de fitomassa no instante t. A taxa média (\overline{TCC}) no intervalo t₂ - t₁ é dada por:

$$\overline{TCC} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} dW = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (11)$$

onde W₁ e W₂ representam a massa seca, nos tempos t₁ e t₂, respectivamente. No limite, quando

$t_2 - t_1$ tende a zero, a \overline{TCC} tende para a TCC, ou seja, quando o intervalo de observação diminui, a taxa média se aproxima da instantânea.

A taxa assimilatória líquida (TAL) é o acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar durante a estação de crescimento. Assim como a TCC, a TAL não é uma medida das taxas de troca de carbono, mas pode ser usada para propósitos comparativos. A TAL é uma medida da eficiência fotossintética de uma planta (Fitter & Hay, 1981). O conceito de TAL foi proposto por Briggs et al. (1920). A TAL representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido através da respiração. A equação (2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$TAL = \frac{W}{IAF} * \frac{TCC}{W} = \frac{TCR}{RAF} \quad (12)$$

A equação (12) indica que a TAL pode ser interpretada como o quociente entre a taxa de crescimento relativo (TCR) e a razão de área foliar (RAF), ou seja, a RAF é um coeficiente de ajuste entre TAL e TCR.

A taxa média (\overline{TAL}) no intervalo de tempo ($t_2 - t_1$) é dada pela equação:

$$\overline{TAL} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{W_1}^{W_2} \frac{dW}{IAF} \quad (13)$$

Para que a equação (13) tenha solução analítica, faz-se necessário conhecer a relação entre W e IAF, que pode ser verificada através dos dados experimentais. Radford (1967) apresenta soluções para as relações mais comuns entre W e IAF. Por exemplo, se a relação for linear, isto é, $W = a + b.IAF$, a \overline{TAL} será dada por:

$$\overline{TAL} = \frac{W_2 - W_1}{IAF_2 - IAF_1} * \frac{\ln IAF_2 - \ln IAF_1}{t_2 - t_1} \quad (14)$$

Se a relação for do tipo potência, isto é, $W = a + b.IAF^n$, $n \geq 2$, a \overline{TAL} será dada por:

$$\overline{TAL} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} * \frac{IAF_2^{n-1} - IAF_1^{n-1}}{IAF_2^n - IAF_1^n} * \frac{n}{n-1} \quad (15)$$

Se a relação for do tipo polinômio de 2º grau, isto é,

$W = a + b.IAF + c.IAF^2$, a \overline{TAL} será dada por:

$$\overline{TAL} = \frac{b(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) + 2c.(IAF_2 - IAF_1)}{t_2 - t_1} \quad (16)$$

As constantes a, b, c, e n nas equações são determinadas experimentalmente e específicas para cada situação.

A RAF é definida como sendo a razão entre o tecido assimilatório e a fitomassa seca. A área foliar é tida como o órgão assimilatório primário e é, portanto, um dos dois componentes da equação (3). RAF é considerada como uma medida da capacidade fotossintética de uma planta (Fitter & Hay, 1981).

A TAL e a RAF podem ser combinadas para obter a taxa de crescimento relativo (TCR), dada por:

$$TCR = TAL * RAF$$

ou:

$$\frac{1}{W} * \frac{dW}{dT} = \left(\frac{1}{A} * \frac{dW}{dT} \right) * \frac{A}{W} \quad (17)$$

A TCR descreve a fase exponencial do crescimento de uma planta anual. Nos cálculos de TCR admite-se que novo crescimento é simplesmente uma função da matéria seca existente. A TCR é uma medida da eficiência da produção de nova matéria seca sobre a já existente e é, também, chamada de taxa de crescimento específico. Este conceito de relatividade foi introduzido por Blackman (1919), em analogia à taxa de juros compostos, como índice da eficiência de conversão de matéria seca.

A razão de peso foliar (RPF) é a razão entre a massa seca dos folíolos e a fitomassa total da planta, isto é, a fração da fitomassa total na forma de folhas (Evans, 1972). A RPF identifica a porcentagem de tecido assimilatório na fitomassa total.

A área foliar específica (AFE) é a razão entre a área foliar e a massa seca das folhas. Ela é uma medida da expansão média da folha, em área, por unidade de massa seca foliar. A AFE indiretamente define a densidade ou espessura das folhas. A AFE e a RPF podem ser combinadas para obter a razão de área foliar (RAF) por:

$$RAF = AFE * RPF$$

ou

$$\frac{A}{W} = \frac{A}{LW} * \frac{LW}{W} \quad (18)$$

Para a taxa de crescimento relativo foliar (TRCF) existe uma definição que é similar à TCR, mas TRCF aplica-se apenas ao crescimento das folhas. Assim, TRCF implica que o novo crescimento foliar é estritamente uma função do tecido foliar existente.

Matematicamente, a taxa de expansão relativa da área foliar (TERAF) tem forma semelhante à TCR e à TRCF, e explica a expansão de nova área foliar baseada na área foliar anterior.

A TERAF é obtida pela multiplicação de FPAF por TAL, desta forma tem-se:

$$\text{TERAF} = \text{FPAF} \times \text{TAL}$$

ou

$$\frac{1}{A} * \frac{dA}{dT} = \frac{dA}{dW} * \left(\frac{1}{A} * \frac{dW}{dT} \right) \quad (19)$$

O fator de partição da área foliar (FPAF) explica a mudança na área foliar como uma função da mudança na fitomassa total. É portanto uma medida da quantidade de novos fotossintatos disponíveis para a expansão da área foliar.

A AMPF é definida como sendo a área média por folíolo da planta inteira (Blad & Baker, 1972). A variável geralmente é usada para comparação de cultivares. O seu significado fisiológico específico ainda não foi estabelecido.

Aplicações e Usos das Características do Crescimento

Existe uma hierarquia de importância no grande número de características do crescimento. TCR e os parâmetros fotossinteticamente embasados como TCC e TAL foram os mais intensamente estudados. Em pesquisas relativamente recentes essas variáveis foram correlacionadas com outras variáveis básicas da fisiologia tais como mudanças nas taxas de carbono.

Durante as três últimas décadas tem havido considerável atividade de pesquisa, em diversas

culturas, envolvendo técnicas de análise de crescimento para vários propósitos.

Buttery (1969) utilizou-se das TCC, TAL, TCR e TCFR para estudar os efeitos da densidade de plantio e níveis de nitrogênio na cultura da soja.

Buttery (1970) utilizou-se das TCC, TAL, TCR e RAF para explicar os efeitos de variações do índice de área foliar (IAF) na cultura da soja.

Blad & Baker (1972) compararam cultivares de soja utilizando o índice de crescimento AMPF.

Buttery & Buzzell (1972) fizeram uso dos índices TAL, RAF, TCR, AFE e TCRF para identificar e explicar diferenças entre cultivares de soja.

Enyi (1977) fez uso do IAF para estudar os efeitos da densidade de plantio sobre a cultura do amendoim.

Sivakumar & Shaw (1978) compararam métodos de cálculos (médias versus regressão) fazendo uso dos índices TCC, TAL, TCR, e TCRF para a cultura de soja.

DUNCAN et al. (1978) usaram a TCC de cultivares de amendoim com a finalidade de compará-las quanto ao aspecto de partição de assimilados.

Young et al. (1979) identificaram diferenças intervarietais de amendoim fazendo uso da TCC.

Clawson (1983) fez comparações em cultivares de soja fazendo uso dos índices TCC, TAL, RAF, TCR, RPF, AFE, TRCF, TERAF, FPAF e AMPF.

Sivakumar & Sarma (1986) empregaram o IAF para avaliar estresse hídrico nas diversas fases do crescimento do amendoim.

A TERAF foi utilizada por Ong (1986) para avaliar diferenças de potenciais de água nas folhas do amendoim.

Boote et al. (1986) empregaram a TCC e o IAF para modelagem do crescimento e da produção de cultivares de amendoim.

Bell et al. (1992) estudaram os efeitos da temperatura sobre a eficiência de uso da radiação e trocas gasosas na cultura do amendoim e tomaram como referência a TCC.

Wright et al. (1994) para estudarem a eficiência de uso de água e trocas gasosas na cultura do amendoim usaram como referências a TCR e a AFE.

Comparando os efeitos de várias lâminas de irrigação Silva et al. (1995) embasaram-se nas TCC e TCR.

A análise do crescimento tem a vantagem de poder representar o crescimento e o desenvolvimento de uma cultura ao longo de todo ciclo vital mediante o controle das variáveis que são susceptíveis de modificar-se com o tempo e são fáceis de quantificar (biomassa e área foliar, entre outros); além disso, mediante os índices de crescimento convencionais (TCC, TCR, TAL etc.) obtidos dos parâmetros anteriores, é possível, também, avaliar as relações entre os diversos fenômenos biológicos e a ação do ambiente, da variedade ou da prática cultural, como por exemplo a irrigação, sobre eles.

Tome-se, por exemplo, duas cultivares A e B de algodão que tenham a mesma TCC, embora com fitomassas diferentes, por exemplo a cultivar A com fitomassa igual 500 g.m^{-2} e a cultivar B com fitomassa de 1000 g.m^{-2} e suponha-se, que cada uma delas cresceu 100 g.m^{-2} no período de cinco dias. As duas cultivares apresentam, $\overline{TC} = 20 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ embora uma cultivar tenha a metade da massa da outra. Evidentemente, a cultivar A teve melhor desempenho que a B naquele período, embora, não se soubesse o quanto. Para a quantificação desse desempenho deve-se utilizar a TCC por unidade de massa existente (TCR). O cálculo da taxa de crescimento relativo médio (\overline{TCR}) da presente situação forneceu valores de $0,36 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para a cultivar B e de $0,19 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para a cultivar A. Assim, o desempenho da cultivar A foi cerca de 1,9 vez maior que o da cultivar B.

Metodologia Funcional ou Dinâmica

Pelas equações apresentadas para os diversos índices fisiológicos, verifica-se que a metodologia clássica de análise do crescimento permite apenas a

estimativa de valores médios no intervalo entre duas amostragens. Portanto, para que diferentes cultivares e tratamentos possam ser comparados, esse método exige que as amostragens sejam realizadas simultaneamente. Para que os princípios estatísticos possam ser aplicados, o delineamento experimental exige que haja repetições e que o número de plantas amostradas seja suficientemente grande para que o efeito do tratamento possa ser avaliado com boa precisão. Considerando que é fundamental conhecer a distribuição da matéria seca entre os diversos órgãos da planta, pode-se avaliar o trabalho envolvido na simples estimativa da massa seca de uma cultura em dado instante.

Uma das soluções para o problema é a utilização do método funcional ou dinâmico. Esse método utiliza funções matemáticas empíricas ajustadas aos dados primários de fitomassa e área foliar.

No método funcional, isto é, através de funções ajustadas, a execução de experimentos com vários tratamentos e repetições é facilitada, apresentando várias vantagens, como:

- a) as amostragens não precisam ser realizadas em intervalos regulares, podendo ser mais freqüentes nos períodos de maior crescimento;
- b) as amostras não precisam ser colhidas simultaneamente em tratamentos diferentes;
- c) não há necessidade de pressupor que o crescimento em si seja de determinado tipo ou que massa seca e área foliar tenham determinada relação, mas apenas que as funções se ajustem adequadamente aos valores primários;
- d) como o objetivo é estudar a tendência geral do crescimento, as amostras não precisam ser grandes, porque pequenos erros de amostragem são compensados pelas funções;
- e) as informações de todas as amostras são utilizadas na estimativa dos índices, em qualquer período do crescimento e não somente daquelas do período em questão (Radford, 1967; Richards, 1969; Kvet et al., 1971).

As funções do crescimento são contínuas, crescentes, monotônicas, tendo duas assintóticas

horizontais como extremos e inflexão no ponto de maior crescimento. Entre as funções de crescimento, as mais conhecidas e utilizadas são a logística e a Gompertz, que são funções clássicas. Recentemente, pesquisadores estão utilizando a função de Richards (1969) e a outra função sigmóide proposta por Arruda et al. (1973).

A função logística é representada, em sua forma expandida, pela equação:

$$Y = \frac{a}{1 + e^{(-b - ct)}} \quad (20)$$

onde $a > 0$, $c > 0$ e b são parâmetros, t é o tempo e $e \cong 2,71828$ é a constante base do logaritmo neperiano. A equação (20) é simétrica em torno do ponto de inflexão, que é dado pelas coordenadas $t = \frac{-b}{c}$ e $Y = \frac{a}{2}$; a é o valor assintótico superior. Empregando a lei dos expoentes, alguns autores usam a equação (20) numa forma mais compacta:

$$Y = \frac{a}{1 + BC^t} \quad (21)$$

onde $B = e^{(-b)}$ e $C = e^{(-c)}$.

Se a função logística estiver representando a fitomassa total da cultura, a taxa de crescimento da cultura (TCC) será dada pela derivada da equação (20) com relação ao tempo, dY/dt , isto é,

$$TCC = cY \left(\frac{1-Y}{a} \right), \quad (22)$$

e a taxa de crescimento relativo (TCR), por

$$TCR = c \left(\frac{1-Y}{a} \right) \quad (23)$$

A função Gompertz é definida pela equação:

$$Z = e^{[c - e^{(-d - ft)}]} \quad (24)$$

onde $c > 0$, $d > 0$ e $f > 0$ são parâmetros e t é o tempo. Essa função tende assintoticamente ao valor máximo $Z_{max} = e^c$. Fazendo-se $D = e^{-d}$ e $F = e^{-f}$, obtém-se a forma reduzida:

$$Z = e^{(c - DF^t)} \quad (25)$$

onde $0 < F < 1$. A função Gompertz é assimétrica, com ponto de inflexão definido pelas coordenadas $t = -d/f = \ln D / \ln F$ e $Z = 0,37 Z_{max}$.

Se a função Gompertz representar a fitomassa total da cultura, a TCC e a TCR serão dadas, respectivamente, por:

$$TCC = Z \ln(c) [\ln(Z) - c] \quad (26)$$

$$TCR = \ln(c) [\ln(Z) - c] \quad (27)$$

As estimativas dos parâmetros para o ajuste das funções assintóticas são feitas através de cálculo iterativo, a partir de estimativas preliminares. Por sua natureza, os métodos iterativos exigem o uso de computadores ou que o usuário tenha experiência estatística e bom conhecimento matemático.

Análise do Crescimento Não Destrutiva

A análise clássica de crescimento é um método padrão para se estimar a produção fotossintética líquida de populações de plantas, sendo este o primeiro passo para a análise da produção primária dos fitossistemas. O fundamento da análise clássica do crescimento é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica e sua determinação é feita normalmente considerando-se a massa seca da planta ou grupo de plantas (Magalhães, 1979). Apesar de ser relativamente fácil obter-se os valores primários necessários para se estimar as características do crescimento, como taxa assimilatória líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento da cultura, entre outras, há uma grande dificuldade, pois é necessário que as plantas sejam sacrificadas (mortas), em cada fase da análise, uma vez que os valores primários são massa seca e área foliar. Como a variabilidade é uma constante nos biossistemas, também, é muito difícil chegar-se próximo da realidade, porque se trabalha com indivíduos distintos em cada período de tempo. Além disso, para a obtenção da fitomassa é necessário que o pesquisador disponha de uma estufa com ventilação forçada que muitas vezes inexistem nas estações experimentais. Existem, por outro lado, medidas não destrutivas, como altura da planta, que podem retratar o crescimento da mesma. A análise de crescimento não destrutiva, como o próprio nome indica, visa estudar o aumento dos fitossistemas eucarióticos, sem destruir as plantas e, assim, os mesmos indivíduos podem ser mensurados durante o ciclo biológico. Neste caso, os valores primários são a altura das plantas, o diâmetro caulinar, a área foliar e o volume e área externa dos frutos.

Dependendo do ciclo da cultura, se curto ou longo, o período é dividido em intervalos de tempo iguais, de modo que pelo menos seis a sete medidas sejam tomadas de cada valor primário em um grupo de plantas (não menos que cinco) por unidade experimental. Assim, por exemplo, no caso do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch.) cultivares precoces e de curto período de floração, cujo ciclo nas condições edafoclimáticas do Nordeste, tem duração de 90 a 115 dias, do plantio à primeira colheita, o intervalo entre as mensurações deve ser de 15 dias. Para uma espécie de ciclo mais longo, como a mamona (*Ricinus communis*, L) o intervalo entre as medidas pode ser maior, como por exemplo, 30 dias, a contar da emergência das plântulas.

Com base nas medidas dos valores primários em cada intervalo de tempo, estimam-se as características do crescimento.

a) Taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC)

$$TCAC = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} \text{ [cm/dia]} \quad (28)$$

onde L_1 é a medida da altura da planta no tempo t_1 e L_2 a altura da planta no tempo t_2

b) Taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC)

$$TCRC = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{t_2 - t_1} \text{ [cm/cm.dia]} \quad (29)$$

Esta característica do crescimento mensura o que a planta cresceu por dia em altura, por unidade de altura já existente.

c) Taxa de crescimento absoluto em espessura caulinar (diâmetro caulinar) (TCAD)

$$TCAD = \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} \text{ [cm/dia]} \quad (30)$$

em que: C_1 é o diâmetro caulinar mensurado no tempo t_1 e C_2 é o diâmetro caulinar medido no tempo t_2 .

d) Taxa de crescimento absoluto em fitomassa fresca epígea (TCAFFE)

$$TCAFFE = \frac{L_2 C_2^2 - L_1 C_1^2}{t_2 - t_1} \text{ [cm}^3\text{/dia]} \quad (31)$$

Esta característica do crescimento fornece a estimativa do aumento de tamanho do fitossistema.

e) Taxa de crescimento relativo em fitomassa fresca epígea (TCRFFE)

$$TCRFFE = \frac{\ln L_2 C_2^2 - \ln L_1 C_1^2}{t_2 - t_1} \quad (32)$$

f) Taxa de crescimento absoluto foliar (TCAF)

$$TCAF = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \text{ [cm}^2\text{/dia]} \quad (33)$$

em que: A_1 é a área foliar por planta no tempo t_1 e A_2 é a área foliar no tempo t_2

g) Taxa de crescimento relativo foliar (TCRF)

$$TCRF = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \text{ [cm}^2\text{/cm}^2 \cdot \text{dia]} \quad (34)$$

Exemplos de Aplicações da Análise do Crescimento

Como foi dito anteriormente a análise do crescimento, clássica, destrutiva, com base na computação dos valores primários de plantas ou comunidades vegetais (área foliar e fitomassa) pode ser utilizada em vários tipos de estudos desde o melhoramento genético até a influência de fatores de manejo cultural, como populações de plantas, adubação, irrigação, entre outros, como também do ambiente tais como variação de precipitação pluvial e temperatura, facilitando as possíveis explicações para o pesquisador discutir os efeitos dos tratamentos que estão sendo estudados.

A seguir, passa-se a resultados da aplicação da análise clássica do crescimento, usando os métodos destrutivo e não destrutivo, na cultura do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1 submetida a três populações/configuração de plantio em condições de sequeiro e em dois anos com precipitações pluviais anuais semelhantes porém, com distribuições mensais e diárias, no período de cultivo das plantas

bem distintas. O referido experimento foi conduzido no município de Sousa, PB, em 1986 e 1987, Beltrão et al. (1990). O solo foi representativo da região (Vertissolo associado). No período de janeiro a julho, ocorreram precipitações pluviais de 873,3 mm em 1986 e 919,9 mm em 1987. Em 1986, a semeadura foi realizada no dia 25 de fevereiro, a emergência das plantas ocorreu no dia 6 de março, o desbaste no dia 31 de março, a primeira colheita foi processada manualmente no dia 4 de julho, ou seja, 120 dias após a emergência das plantas, e a segunda colheita se deu dez dias após a primeira. Em 1987, a semeadura foi realizada no dia 14 de janeiro, a emergência das plantas ocorreu no dia 12 de fevereiro, replantio no dia 20 de fevereiro, o desbaste no dia 6 de março, a primeira colheita foi processada manualmente, 112 dias após a emergência das plantas, e a segunda colheita se deu dez dias após a primeira.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos principais foram três espaçamentos/populações: 1,0 m x 0,20 m, 50.000 plantas/ha; 0,60 m x 0,20 m, 83.333 plantas/ha e (1,0 m x 0,20 m)x0,20 m, 100.000 plantas/ha. Os tratamentos secundários foram seis épocas de colheita de fitomassa, com intervalos de 15 dias após a emergência das plantas. Cada unidade experimental deve área de 24 m². Para estimativa da área foliar e da fitomassa total, quatro plantas foram colhidas por subunidade experimental. O diâmetro caulinar, medido a 1 cm de colo, e a altura de planta, foram estimados em amostras de 5 plantas por unidade experimental.

A partir dos valores primários da área foliar, estimada pelo método de Ashley et al. (1963), e da fitomassa total (massa seca), obtida em estufa com ventilação a temperatura de 85 °C até ficar constante, determinaram-se as características do crescimento: índice de área foliar (IAF), pela fórmula $IAF = \text{área foliar}/\text{área de solo}$; taxa média de crescimento (G) = $(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)$, onde W é a fitomassa e T , o tempo; taxa de crescimento da cultura (C) = $(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)/P$, onde P é a área do solo; taxa de crescimento relativo (R) = $(\ln W_2 - \ln W_1)/(T_2 - T_1)$; taxa de crescimento absoluto foliar (RF) = $(A_2 - A_1)/(T_2 - T_1)$, onde A é a área foliar; taxa de

crescimento relativo foliar (Ra) = $(\ln A_2 - \ln A_1)/(T_2 - T_1)$ e taxa assimilatória líquida (E) = $[(W_2 - W_1)/(\ln A_2 - \ln A_1)]/[(A_2 - A_1)(T_2 - T_1)]$.

De posse dos dados do diâmetro caulinar e da altura da planta, análise não destrutiva, calculou-se a taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC) = $(L_2 - L_1)/(T_2 - T_1)$, onde L é a altura da planta; taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC) = $(\log L_2 - \log L_1)/(T_2 - T_1)$; taxa de crescimento absoluto da fitomassa fresca epígea (TCAFFE) = $(C_2^2 L_2 - C_1^2 L_1)/(T_2 - T_1)$, onde C é o diâmetro caulinar; taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca epígea (TCRFFE) = $(\log C_2^2 L_2 - \log C_1^2 L_1)/(T_2 - T_1)$, Hozumi et al. (1955).

Após a computação e análise dos resultados, confeccionaram-se as Tabela 1 a 5. Observa-se na Tabela 1, que as diferenças verificadas entre as configurações de plantio/populações, foram pequenas, observando-se menores valores na população maior, especificamente o diâmetro caulinar, que decresceu 18,07% em relação à população menor. Com relação às épocas de colheita, verifica-se, Tabela 1, que o crescimento em altura praticamente cessou aos 60 dias da emergência das plantas; fato semelhante ocorreu com o diâmetro do caule.

Ainda, considerando o ano de 1986, verifica-se, Tabela 2, que a área foliar por indivíduo variou entre as configurações de plantio/populações. Com relação à fitomassa total, observou-se que a partir do 75º dia de emergência, na configuração dupla as plantas apresentaram-se com menor massa, e aos 90 dias da emergência as plantas da configuração mais aberta (1,0 m x 0,20 m) e menor população apresentaram maior fitomassa que as demais estudadas, Tabela 3.

Em 1987, ano que não houve problemas de encharcamento do solo, com a precipitação pluvial melhor distribuída, verifica-se nas Tabelas 4 e 5 que os valores obtidos em todas as variáveis estudadas foram maiores que as encontradas em 1986. Além disso, os valores obtidos para as demais características do crescimento, como G , C , R , R_f , Ra , E , $TCAC$, $TCRC$, $TCAFFE$, e $TCRFFE$ (Tabelas 4 e 5), permitem concluir que o crescimento foi satisfatório em 1987, bem maior que o verificado no ano anterior.

Tabela 1. Médias dos tratamentos para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro do caule (mm), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC) em $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$, taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC) em $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, taxa de crescimento absoluto da fitomassa fresca epígea (TCAFFE) em $\text{cm}^3\cdot\text{d}^{-1}$ e taxa de crescimento relativo de fitomassa fresca epígea (TCRFFE) em $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$. Sousa, PB, 1986.

Fatores	Variáveis					
	Altura de planta	Diâmetro caulinar	TCAC	TCRC	TCAFFE	TCRFFE
Época de colheita das amostras (dias)						
15	-	-	-	-	-	-
30	25,3c	3,7c	-	-	-	-
45	45,2b	7,8b	1,32	0,017	1,6	0,06
60	57,9 ^a	9,1a	0,85	0,007	1,36	0,017
75	61,3 ^a	9,1a	0,23	0,001	1,19	0,002
90	59,7a	8,8ab	-	-	-	-
Configuração de plantio/ populações						
1,0 m x 0,2 m, 50.000 plantas/ha	53,5a	8,3a	-	-	-	-
0,6 m x 0,2 m, 83.333 plantas/ha	49,7ab	8,1a	-	-	-	-
(1,0 m x 0,2 m) x 0,2 m, 100.000 plantas/ha	46,5b	6,8b	-	-	-	-
Média	49,9	7,7	-	-	-	-
C.V. (%)	11,56	13,84	-	-	-	-

Fonte: Beltrão et al. (1990).

Tabela 2. Médias dos tratamentos da variável área foliar por planta (cm^2) em função dos fatores configurações de plantio/ populações e época de colheita. Sousa, PB, 1986.

Fatores	Configurações de plantio/populações			Média de épocas de colheita
	1,0 m x 0,2 m	0,6 m x 0,2 m	(1,0 m x 0,2 m) x 0,2 m	
Épocas de colheita (dias da emergência das plantas)				
15	42,3aC	42,8aD	44,0aD	43,0 D
30	979,0aBC	738,8aCD	517,5aCD	745,1 C
45	2367,0aA	2092,8aB	1962,8aAB	2140,8 B
60	2873,0bA	3655,5aA	2210,3bA	2912,9 A
75	2567,0aA	2113,0aB	1292,8bBC	1990,9 B
90	1311,4aB	1202,9abBC	500,0bCD	1004,7 C
Média de configurações de plantio/populações	1689,9 a	1640,9 a	1087,9 a	-

Fonte: Beltrão et al. (1990).

Em cada linha, as médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. O mesmo ocorre em cada coluna com letras maiúsculas.

Tabela 3. Médias dos tratamentos da variável fitomassa total (g), em função dos fatores configurações de plantio/ populações e época de colheita. Sousa, PB, 1986.

Fatores	Configurações de plantio/populações			Média de épocas de colheita
	1,0 m x 0,2 m	0,6 m x 0,2 m	(1,0 m x 0,2 m) x 0,2 m	
Épocas de colheita (dias da emergência das plantas)				
15	1,5aC	1,2aC	1,3aC	1,3C
30	4,5aC	3,4aC	2,7aC	3,5D
45	17,5aBC	14,5aC	14,3aBC	15,4CD
60	26,6aB	35,5aB	20,2aBC	27,4C
75	78,2aA	67,2aA	42,3bA	62,5 ^A
90	59,2aA	37,8bB	26,7bAB	41,2B
Média de configurações de plantio/populações	31,2a	26,6ab	17,9b	

Fonte: Beltrão et al. (1990)

Em cada linha, as médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. O mesmo ocorre em cada coluna com letras maiúsculas.

Tabela 4. Médias dos tratamentos para as variáveis área foliar por planta (cm²), fitomassa total (g), índice de área foliar (IAF), taxa média de crescimento (G) em g.d⁻¹, taxa de crescimento da cultura (C) em g.m².d⁻¹, taxa média de crescimento relativo (R) em g.g⁻¹.d⁻¹, e taxa de crescimento absoluto foliar (Rf) em cm².d⁻¹, taxa de crescimento relativo foliar (Ra) em cm².cm⁻².d⁻¹ e taxa assimilatória líquida (E) em g.m².d⁻¹. Sousa, PB, 1987.

Fatores	Variáveis								
	Área foliar	Fitomassa total	IAF	G	C	R	RF	Ra	E
Época de colheita das amostras (dias)									
15	43	2,4	0,03	-	-	-	-	-	-
30	580	2,7	0,45	0,02	0,15	0,008	35,8	0,17	0,95
45	2348	10,0	1,83	0,49	3,81	0,087	117,8	0,09	3,71
60	6286	49,7	4,91	2,65	20,61	0,107	262,5	0,07	7,05
75	7088	93,8	5,53	2,94	22,87	0,043	53,45	0,01	5,50
90	5457	98,2	4,26	2,29	2,25	0,003	-	-	-
Configuração de plantio/ populações									
1,0 m x 0,2 m, 50.000 plantas/ha	4133	41,0	2,07	-	-	-	-	-	-
0,6 m x 0,2 m, 83.333 plantas/ha	3595	50,1	2,99	-	-	-	-	-	-
(1,0 m x 0,2 m) x 0,2 m, 100.000	3172	37,1	3,17	-	-	-	-	-	-
Média	3633	42,7	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	24,13	32,8	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Beltrão et al. (1990).

Tabela 5. Médias dos tratamentos para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro do caule (mm), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC) em $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$, taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC) em $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, taxa de crescimento absoluto da fitomassa fresca epígea (TCAFFE) em $\text{cm}^3\cdot\text{d}^{-1}$ e taxa de crescimento relativo de fitomassa fresca epígea (TCRFFE) em $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$. Sousa, PB, 1987.

Fatores	Variáveis					
	Altura de planta	Diâmetro caulinar	TCAC	TCRC	TCAFFE	TCRFFE
Época de colheita das amostras (dias)						
15	10,4c	2,3d	-	-	-	-
30	20,1c	4,2c	0,65	0,079	0,20	0,054
45	39,6b	7,7b	1,30	0,02	1,33	0,055
60	72,9a	11,6a	2,22	0,018	4,97	0,041
75	83,2a	12,5a	0,69	0,004	2,13	0,008
90	82,0a	12,5a	-	-	-	-
Configuração de plantio/ populações						
1,0 m x 0,2 m, 50.000 plantas/ha	50,9a	9,0a	-	-	-	-
0,6 m x 0,2 m, 83.333 plantas/ha	51,4a	8,4ab	-	-	-	-
(1,0 m x 0,2 m) x 0,2 m, 100.000	51,8a	8,0b	-	-	-	-
Média	51,4	8,4	-	-	-	-
C.V. (%)	15,41	8,77	-	-	-	-

Fonte: Beltrão et al. (1990).

Em amendoim, Silva (1997) utilizou-se do método funcional para determinação de alguns parâmetros do crescimento da cultura, como se segue: O experimento foi conduzido em condições de campo, no ano de 1995, na Estação Experimental da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), situada no município de Rodelas, BA, cujas coordenadas geográficas são 08° 50'S de latitude; 38° 46'W de longitude e altitude de 270 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é do tipo BSwH, correspondente a um clima

muito quente, semi-árido e com estação chuvosa limitada aos meses de janeiro a abril, sendo que as precipitações são incertas e mal distribuídas. Durante a condução do experimento observaram-se que a temperatura máxima variou de 29,8 a 35,9 °C, a mínima de 19,7 a 23,6 °C, a média de 24,9 a 29,1 °C, a umidade relativa do ar de 43 a 57%, a precipitação total de 0,5 mm, a evaporação do Tanque Classe A de 7,3 a 11,3 mm e a velocidade do vento de 1,61 a 2,92 m/s.

O solo classificado como Regossol (Neossolo Regolítico), de textura arenosa.

O preparo do solo, por suas condições de estrutura e textura, foi feito por meio de duas gradagens cruzadas usando-se, para isto, uma grade leve de discos.

A Cultivar objeto do estudo foi a BR-1, indicada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPQ), para as condições de sequeiro.

O plantio foi realizado no dia 14/09/95, usando-se 12 a 15 sementes por metro linear de sulco, enterrando-as a uma profundidade de 3 a 5 cm, em sulcos com espaçamento de 0,50 m.

Realizou-se um desbaste aos 25 dias após a semeadura, deixando-se 10 plantas/m; desta forma, obteve-se uma densidade populacional de aproximadamente 200.000 plantas por hectare.

As ervas daninhas foram controladas com o uso do herbicida Trifluralin 600 g/l, na dosagem de 2,5 l/ha, aplicado em preemergência, associado ao cultivo mecânico (2) com o uso de enxadas, nas fases mais avançadas da cultura, sempre que houve necessidade; já o controle das pragas e das doenças foi realizado de acordo com as recomendações de Silva et al., 1993 e a colheita, manual, realizou-se aos 91 dias após a semeadura (DAS).

Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas até o vigésimo quinto dia após a semeadura (DAS) quando então foram implantados os tratamentos. A partir desta data, a irrigação foi realizada de maneira diferenciada e o sistema adotado foi o de sulco em nível, fechado nos extremos, com adução de água por tubos janelados, espaçados 0,50 m. Para um controle mais eficiente das lâminas aplicadas, fez-se uso de um hidrômetro, com precisão de um litro.

O desenvolvimento da cultura do amendoim foi acompanhado e analisado através de dados relativos à variação da duração de cada estágio de desenvolvimento, da evolução do índice de área foliar (IAF) e da produção de fitomassa. Semanalmente, foram coletadas vinte plantas por tratamento (5 plantas por repetição) para determinação da biomassa seca e do índice de área foliar (IAF). As plantas tiveram suas partes separadas em folhas, hastes e frutos que, em

seguida, foram colocados em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ$, até fornecerem peso seco constante. A área foliar foi obtida pela expressão: $AF = 2,023 * PSF^{0,97}$ com $R^2 = 0,97^{**}$ determinada por Ma et al. (1992) para a cultura do amendoim, sendo PSF o peso seco das folhas.

Efetuarão-se as análises de regressão curvilínea das médias de peso da matéria seca total (W_t), matéria seca das folhas (W_f) e área foliar (A_f), bem como da matéria seca acumulada nas raízes (W_r), ramos (W_a) e vagens (W_v). Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com Richards (1969). Curvas logísticas foram ajustadas aos dados de matéria seca total (W_t) assim como para os demais valores primários, por meio de um programa iterativo, usando-se o método Quasi-Newton, para minimizar a variância residual. As equações empregadas foram:

$$W = \frac{a}{(1 + \exp^{-(b+c*t)})}; \text{ e } A_f = \frac{a'}{(1 + \exp^{-(b+c*t)})}$$

sendo a e a' as estimativas assintóticas do crescimento máximo, em peso e área, respectivamente, b e c constantes de ajustamentos, e t , o tempo em dias.

Para se obter os valores instantâneos da taxa da produção de matéria seca (C_t) e da taxa de crescimento da área foliar (C_A) empregaram-se as derivadas das equações ajustadas de W_t e A_f em relação ao tempo, respectivamente (Radford, 1967; Richards, 1969).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com esquema de análise fatorial 3×3 , sendo os fatores três lâminas e três turnos de irrigação e 4 repetições, em que cada unidade experimental foi constituída de 10 fileiras de plantas espaçadas 0,5 m, com 6 m de comprimento, cuja área total foi de 30 m^2 ($5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$) tendo como parcela útil as duas fileiras centrais com área de 6 m^2 . Foram realizadas análise de variância, análise de correlação simples, análise de regressão através de polinômios ortogonais (regressão polinomial) e regressão não linear nos parâmetros do modelo, usando-se o método iterativo de Marquardt (1963).

Os tratamentos adotados foram:

- 1 - Lâmina de 700 mm e turno de rega de 2 dias;
- 2 - Lâmina de 700 mm e turno de rega de 4 dias;
- 3 - Lâmina de 700 mm e turno de rega de 6 dias;
- 4 - Lâmina de 500 mm e turno de rega de 2 dias;
- 5 - Lâmina de 500 mm e turno de rega de 4 dias;
- 6 - Lâmina de 500 mm e turno de rega de 6 dias;
- 7 - Lâmina de 300 mm e turno de rega de 2 dias;
- 8 - Lâmina de 300 mm e turno de rega de 4 dias e
- 9 - Lâmina de 300 mm e turno de rega de 6 dias.

Os valores primários do crescimento (fitomassa total e área foliar) estão ilustrados nas Figuras 1 e 2. A produção de fitomassa total do amendoim obtida nos diferentes tratamentos hídricos, variou de acordo com a lâmina e o turno de irrigação, sendo que o maior valor alcançado foi de 684,06 g/m² no tratamento que recebeu 700 mm com turno de 4 dias e o menor, 336,78 g/m², foi obtido no tratamento que recebeu 300 mm com turno de 6 dias.

Quanto ao índice de área foliar (IAF), verificou-se que foi máximo, (5,35), no tratamento 700 mm/4 e os valores mínimos foram obtidos nos tratamentos de menor disponibilidade hídrica (300 mm). A deficiência de água no solo inibe a expansão foliar e a alongação dos ramos (Allen et al., 1976; Vivekanandan & Gunasena, 1976).

O crescimento do amendoim apresentou três fases distintas: uma inicial, anterior ao aparecimento dos ginóforos, com crescimento relativamente lento; outra intermediária, da iniciação dos ginóforos até o começo do enchimento dos grãos, quando o crescimento foi acelerado e a final, quando ocorre o desenvolvimento das sementes, em que o acréscimo na matéria seca é muito lento e as curvas se aproximam de um patamar.

Observa-se, pelas Figuras 1 e 2, que a massa total foi reduzida quando as lâminas foram menores e quando os turnos de irrigação foram maiores. A exceção foi observada nos tratamentos irrigados com 700 mm, caso em que o turno de 4 dias foi o que apresentou maior massa total, seguido pelos turnos de 2 e 6 dias.

Provavelmente, a diminuição da massa total seja conseqüência do fechamento dos estômatos, que causou redução na taxa fotossintética e aumento na taxa respiratória (Costa et al., 1988; Melges et al., 1989).

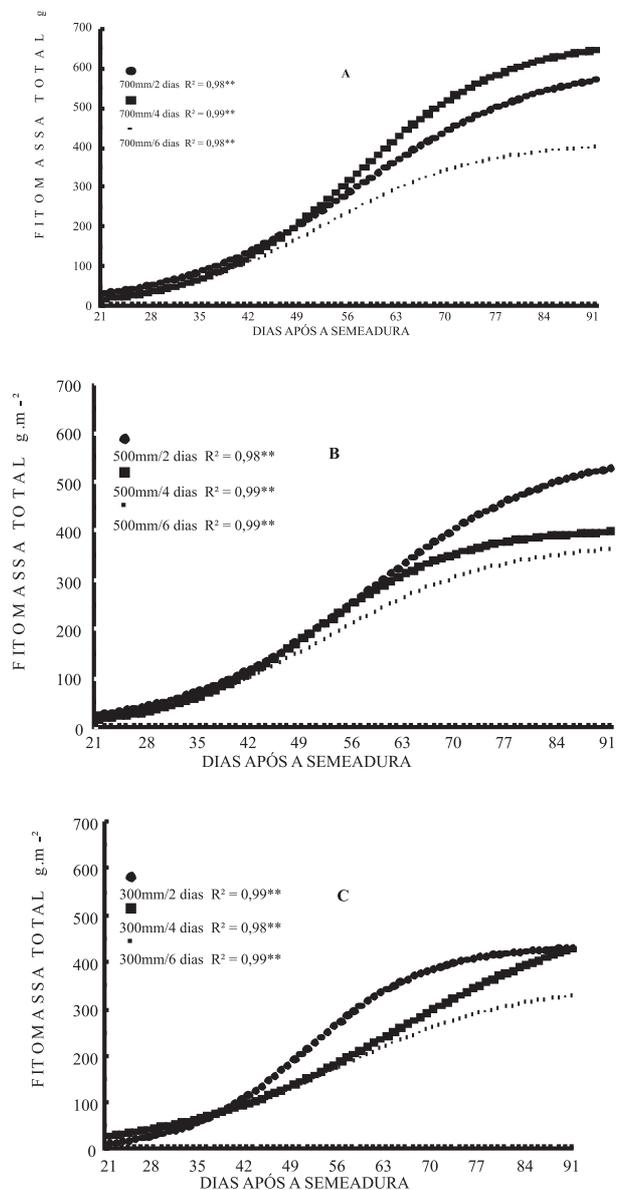


Fig. 1. Influência do turno de irrigação (2, 4 e 6 dias) para as lâminas de (A 700, B 500 e C 300 mm) sobre a fitomassa total em plantas de amendoim. Rodelas, BA.

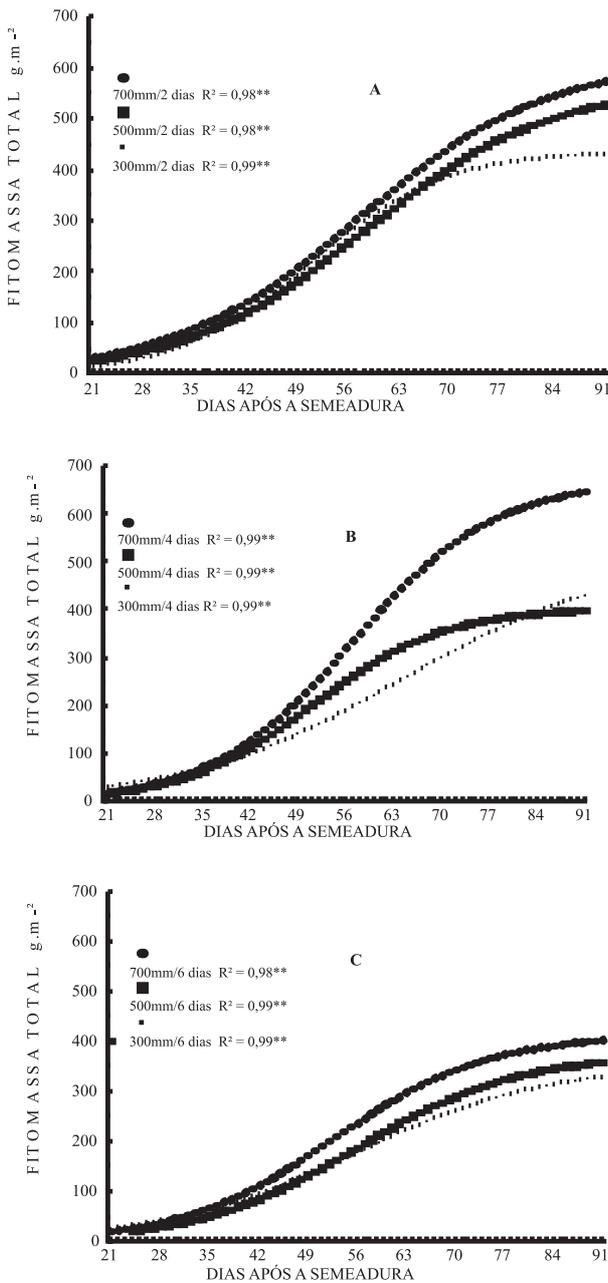


Fig. 2. Influência de lâminas dentro de turnos de irrigação sobre a fitomassa de plantas de amendoim (A 700, 500 e 300 mm por 2 dias; B 700, 500 e 300 mm por 4 dias; C 700, 500 e 300 mm por 6 dias). Rodelas, BA.

Os valores iniciais da taxa de crescimento cultural, TCC ou C_t , foram semelhantes para todos os tratamentos (Figuras 3 e 4). Os valores máximos de C_t obtidos nos tratamentos de maior aporte de água, 700 mm/4, 700 mm/2 e 700 mm/6, foram de 16,11 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, 11,97 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ e 9,48 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, respectivamente (Figura 3A). Tais valores foram alcançados aos 57, 58 e 53 dias após a semeadura (DAS).

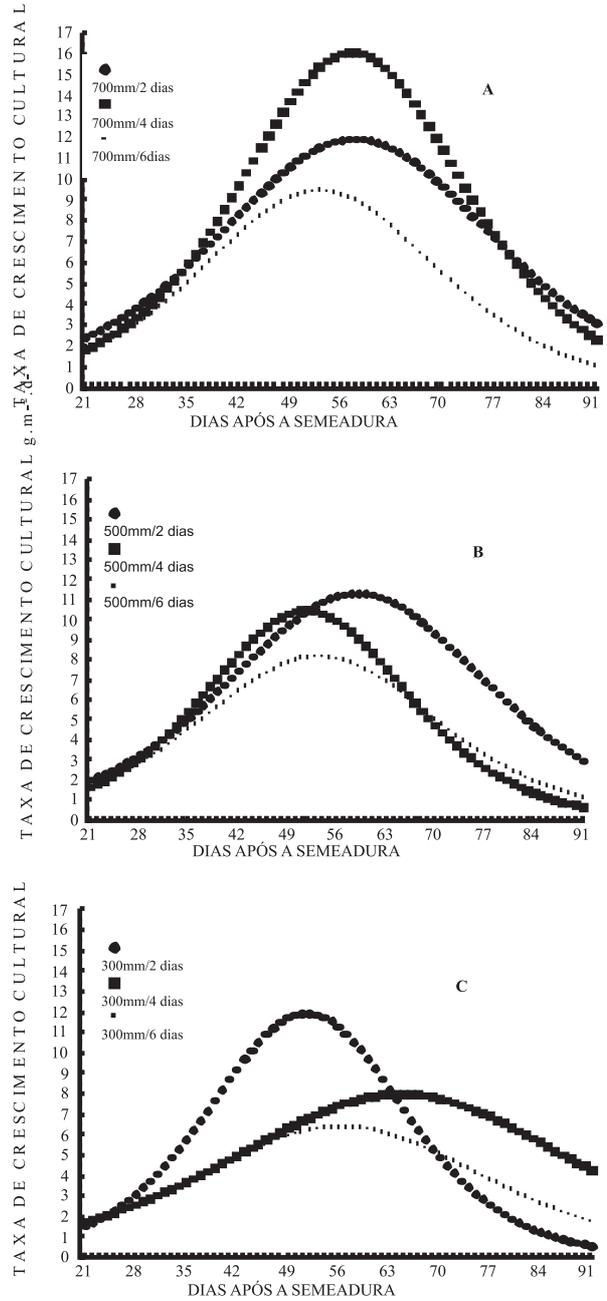


Fig. 3. Influência do turno (2, 4 e 6 dias) dentro de lâminas de (A 700 mm; B 500 mm; C 300 mm) sobre a taxa de crescimento da cultura do amendoim. Rodelas, BA.

Na Figura 3B encontram-se representadas as curvas de C_t para os tratamentos 500 m/2, 500 mm/4 e 500 mm/6, cujos valores máximos foram de 11,32 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, 10,49 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ e 8,18 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, alcançados aos 59, 52 e 53 dias, respectivamente. As curvas de C_t para os tratamentos 300 mm/2 dias, 300 mm/4 dias e 300 mm/6 dias estão apresentadas na Figura 3C e seus valores máximos foram de 11,97 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, 8,03 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ e 6,42 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, alcançados aos 52, 65 e 56 DAS, respectivamente.

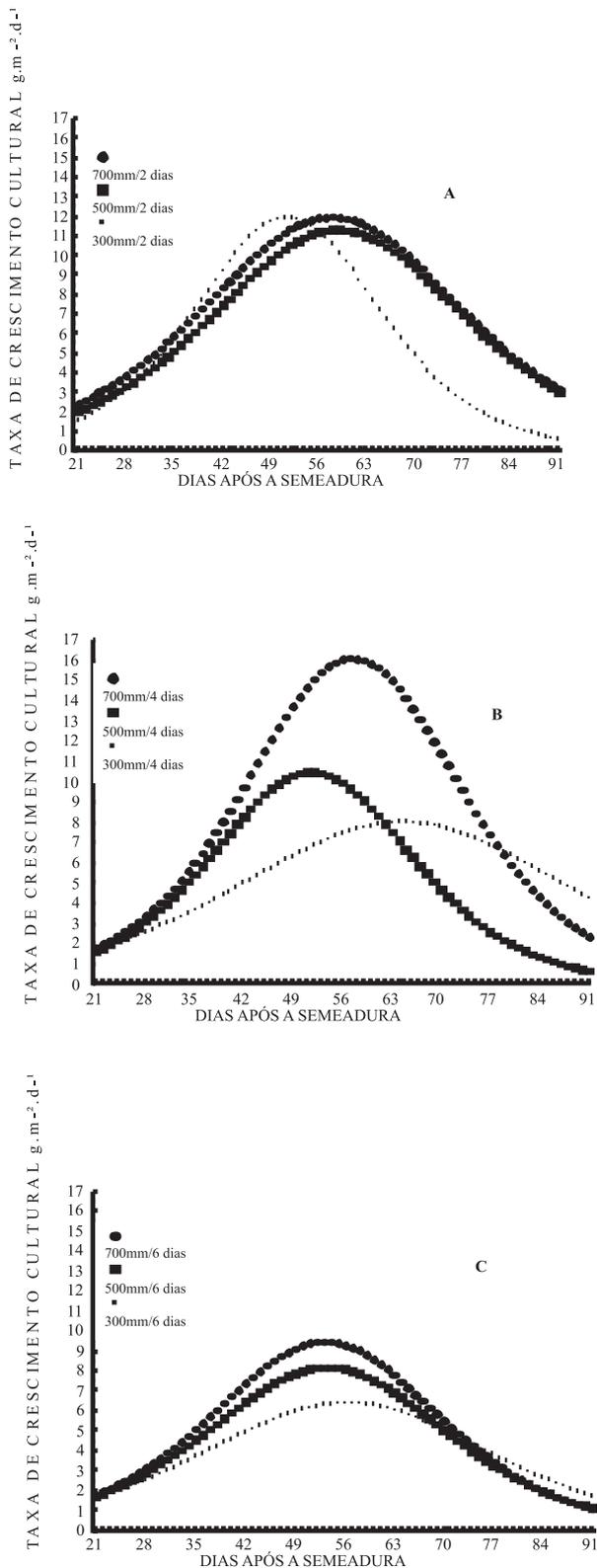


Fig. 4. Influência de lâminas dentro de turnos de irrigação sobre a taxa de crescimento da cultura do amendoim (A 700, 500 e 300 mm por 2 dias; B 700, 500 e 300 mm por 4 dias; C 700, 500 e 300 mm por 6 dias). Rodelas, BA.

O índice de área foliar (IAF) foi afetado tanto pelas lâminas quanto pelos turnos de irrigação (Figuras 5 e 6). Na Figura 5A, verifica-se que o tratamento 700 mm/4 dias proporcionou o maior IAF, e 700 mm/6 dias o menor IAF. O IAF do tratamento 700 mm/6 dias teve valores ligeiramente maiores que o IAF do tratamento 700 mm/4 dias, até aproximadamente 43 dias após o plantio, quando foi suplantado pelo IAF do tratamento 700 mm/4 dias, no momento de iniciação de desenvolvimento e crescimento das vagens. Os pontos de inflexão $[p(x;y)]$ (ponto a partir

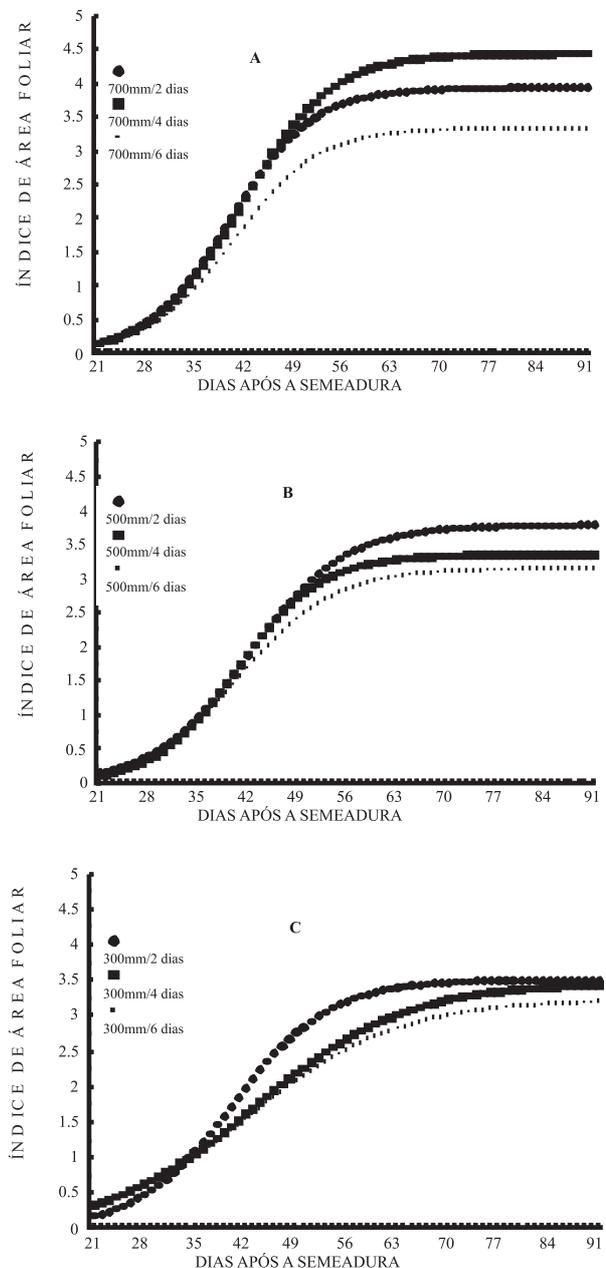


Fig. 5. Influência do turno (2, 4 e 6 dias) dentro de lâminas de (A 700 mm; B 500 mm; C 300 mm) sobre o índice de área foliar do amendoim.

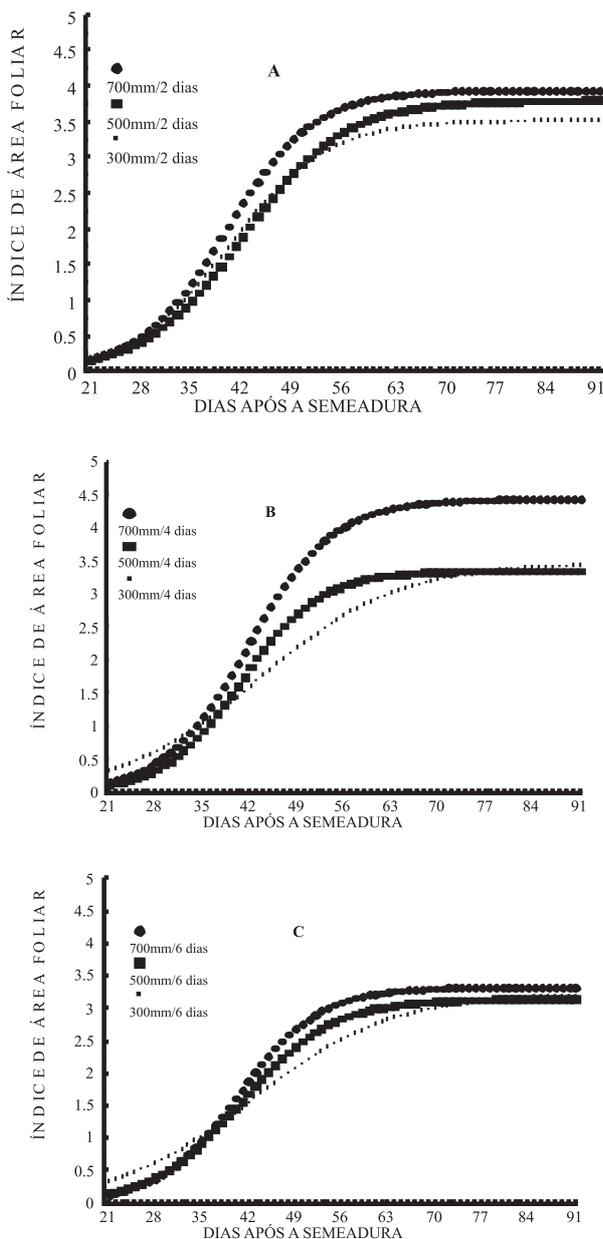


Fig. 6. Influência de lâminas dentro de turnos de irrigação sobre o índice de área foliar do amendoim (A 700, 500 e 300 mm por 2 dias; B 700, 500 e 300 mm por 4 dias; C 700, 500 e 300 mm por 6 dias). Rodelas, BA.

do qual os acréscimos do IAF são decrescentes) de cada curva da Figura 5A, foram atingidos aos 40 dias, com IAF de 1,97 para o tratamento 700 mm/2 dias, 42 dias com 2,22 de IAF para o tratamento 700 mm/4 e 40 dias com IAF 1,68 para o tratamento 700 mm/6 dias, e os valores máximos de IAF foram 3,94; 4,44 e 3,33. Na Figura 5B estão representadas as curvas de IAF para os tratamentos 500 mm/2 dias, 500 mm/4 dias e 500 mm/6 dias na qual se observa que o IAF foi decrescente do tratamento 500 mm/2 dias para o tratamento 500

mm/6 dias e os pontos de inflexão foram alcançados nos P(42; 1,9), P(40; 1,68) e P(41; 1,58), respectivamente, para os tratamentos 500 mm/2 dias, 500 mm/4 dias e 500 mm/6 dias, cujos valores máximos de IAF foram de 3,8; 3,36 e 3,15.

Já para os tratamentos 300 mm/2 dias, 300 mm/4 dias e 300 mm/6 dias, os IAF máximos foram de 3,51 e P(40; 1,76), 3,47 e P(43; 1,74), 3,22 e P(43; 1,61), respectivamente (Figura 5C). Quando se fixaram os turnos e variaram as lâminas de irrigação, observou-se que a lâmina de 700 mm foi a que resultou em maior IAF, quaisquer que sejam os turnos de irrigação [Figura 6 (A, B e C)]. Esta superioridade é nitidamente observada na Figura 6B, em que estão representadas as curvas de IAF para os tratamentos 700, 500 e 300 mm, com turno de irrigação de 4 dias.

Assim, com a redução da lâmina e aumento do intervalo de irrigação ocorrem reduções na produção e produtividade da fitomassa, da ordem de cerca de 50%; O valor máximo da taxa de crescimento cultural, $16,11 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, ocorreu no tratamento 700 mm/4 dias aos 57 dias após o plantio, e o mínimo, $6,42 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, no tratamento de 300 mm/6 dias, no mesmo período;

Referências Bibliográficas

- ARRUDA, H. V.; VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. Análise de uma função sigmóide. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 40, p. 143-148, 1973.
- ASHLEY, D. A.; DOSS, B. D.; BENNET, O. L. A method determining leaf area in cotton. **Agronomy Journal**, v. 55, p. 584-585, 1963.
- BELL, M. J.; WRIGHT, G. C.; HAMMER, G. L. Night temperature affects radiation use efficiency in peanut. **Crop Science**, v. 32, p. 1329-1335, 1992.
- BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J.; AZEVEDO, D. M. P. de; SOUZA, R. P. de. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo de curta duração cultivar CNPA Precoce, no sertão paraibano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 7, p. 991-1001, jul.1990.

- BLACKMAN, G. E. The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. In: ECKARDT, F. E. (Ed.). **Functioning on terrestrial ecosystems at the primary production level**. Paris: UNESCO, 1968. p. 243-259.
- BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, v. 33, p. 353-360, 1919.
- BLAD, B. L.; BAKER, D. G. Orientation and distribution of leaves within soybean canopies. **Agronomy Journal**, v. 64, p. 26-29, 1972.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; MISHOE, J. W.; WILKERSON, G. G. Modeling growth and yield of groundnut. In: PROCEEDINGS OF NA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1986, Patancheru. **Agrometeorology of Groundnut**. Patancheru, India: ICRISAT, 1986. p. 243-255.
- BRIGGS, G. E.; KIDD, F. A.; WEST, C. A. quantitative analysis of plant growth. **Annals of Applied Biology**, v. 7, p. 202-223, 1920.
- BUTTERY, B. R. Effects of variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. **Crop Science**, v. 10, p. 9-13, 1970.
- BUTTERY, B. R. Analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 49, p. 675-684, 1969.
- BUTTERY, B. R.; BUZZELL, R. I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analysis. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 52, p. 13-20, 1972.
- CLAWSON, K. L. **Physiological and agronomic responses of divers pubescent soybean isolines to drought stress**. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska, 1983. 312 p. Thesis Ph.D.
- DUNCAN, W. G.; McCLOUD, D. E.; McGRAW, R. L.; BOOTE, K. J. Physiological aspects of peanut yield improvement. **Crop Science**, v. 18, p. 1015-1020, 1978.
- ENYI, B.A.C. Physiology of grain yield in groundnuts (*Arachis hypogaea*). **Exp. Agric.**, v. 13, p. 101-110, 1977.
- EVANS, G. C. **The quantitative analysis of plant growth**. Berkeley: University of California Press, 1972. 734 p.
- FITTER, A. H.; HAY, R. K. M. **Environmental physiology of plants**. New York: Academic Press, 1981. p. 7-13, 50-55.
- HESKETH, J. D.; JONES, J. W. Integrating traditional growth analysis techniques with recent modeling of carbon and nitrogen metabolism. In: HESKETH, J. D.; JONES, J. W. **Predicting photosynthesis for ecosystem models**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1980. v. 1. p. 51-92.
- HOZUMI, K.; KOYOMA, H.; KIRA, T. Intraspecific competition among higher plants. IV. A preliminary account on the interaction between adjacent individuals. **Journal of the Institut of Polytech**, v. 6, p. 121-130, 1955.
- HUNT, R. Plant growth analysis: the rationale behind the use of the fitted mathematical function. **Annals of Botany**, v. 43, p. 245-249, 1979.
- KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J.; JARVIS, P. G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P. G., (Ed.). **Plant photosynthetic production; manual of methods**. Haia, 1971. p. 343-349.
- MA, L.; GARDNER, F. P.; SELAMAT, A. Estimation of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. **Crop Science**, v. 32, p. 467-471, 1992.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p. 331-350.
- MARQUARDT, D. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. **SIAM Journal of applied Mathematics**, v. 11, p. 431-441, 1963.
- ONG, C. K. Agroclimatological factors affecting phenology of groundnut. In: PROCEEDINGS OF NA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1986, Patancheru. **Agrometeorology of Groundnut**. Patancheru, India: ICRISAT, 1986. p. 115-126.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v. 7, p. 171-175, 1967.

RICHARDS, F. J. The quantitative, analysis of growth. In: STEWARD, F.C. **Plant Physiology: a treatise**. New York, Academic Press, 1969. p. 13-76.

SILVA, L. C.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, N. E. de M.; RAMANA RAO, T. V.; SANTOS, J. W. dos. Análise de crescimento de amendoim submetido a diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995. Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 145-146.

SIVAKUMAR, M. V. K.; SARMA, P. S. Studies on water relations of groundnut. In: PROCEEDINGS OF NA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1986, Patancheru. **Agrometeorology of Groundnut**. Patancheru, India: ICRISAT, 1986. p. 83-98.

SIVAKUMAR, M. V. K.; SHAW, R. H. Methods of growth analysis in field-grown soybeans (*Glycine max L. Merrill*). **Ann. Bot.**, v. 42, p. 213-222, 1978.

VERNON, A. J.; ALLISON, J. C. S. A method of calculating net assimilation rate. **Nature**, v. 200, p. 814, 1963.

VIEIRA, A. R. R.; STEINMETE, S.; BRUNINI, O. Parâmetros de crescimento de duas cultivares de arroz sob diferentes regimes de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 6, p. 897-904, jun.1990.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, v. 4, p. 101-145, 1952.

WRIGHT, G. C.; NAGESWARA RAO, R. C.; FARQUHAR, G.D. Peanut cultivar variation in water-use efficiency and carbon isotope discrimination under drought conditions in the field. **Crop Science**, v. 34, p. 92-97, 1994.

YOUNG, J. H.; COX, F. R.; MARTIN, C. K. A peanut growth and development model. **Peanut Science**, v. 6, p. 27-35, 1979.

**Circular
Técnica, 34**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174
58107-720 Campina Grande, PB
Fone: (83) 3315 4300 Fax: (83) 3315 4367
e-mail: sac@cnpa.embrapa.br

1ª Edição
Tiragem: 500

**Ministério da Agricultura
e do Abastecimento**

**Comitê de
Publicações**

Presidente: Alderi Emídio de Araújo
Secretária Executiva: Nivia Marta Soares Gomes
Membros: Eleusio Curvelo Freire
Francisco de Sousa Ramalho
José da Cunha Medeiros
José Mendes de Araújo
José Wellington dos Santos
Lúcia Helena Avelino Araújo
Malaquias da Silva Amorim Neto

Expedientes: Supervisor Editorial: Nivia Marta Soares Gomes
Revisão de Texto: Nisia Luciano Leão
Tratamento das ilustrações: Oriel Santana Barbosa
Editoração Eletrônica: Oriel Santana Barbosa