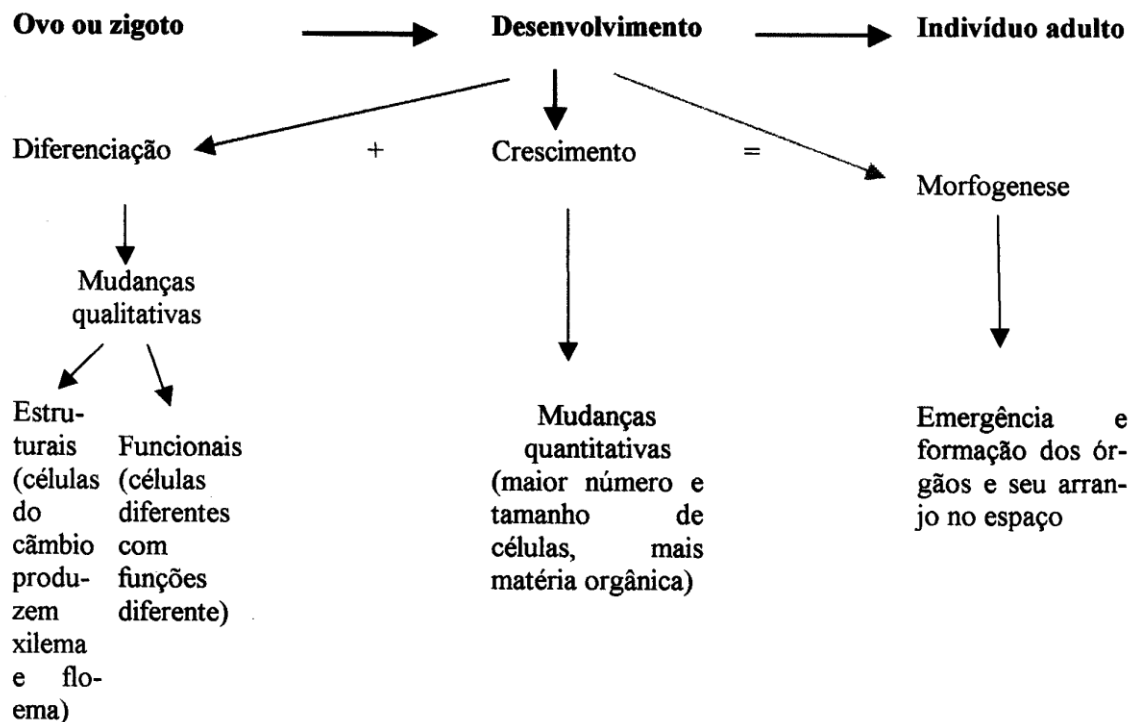


## CAPÍTULO 2.

# DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO

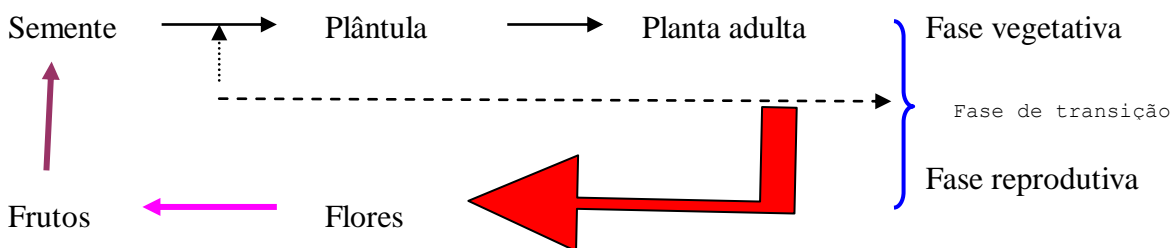
## 1. CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO

DESENVOLVIMENTO - é a seqüência de eventos ontogenéticos, envolvendo crescimento e diferenciação, resultando em mudanças na função e na morfologia. (A ontogenia estuda o desenvolvimento do ser, vegetal ou animal, a partir da célula ovo ou zigoto até a sua formação definitiva).



O desenvolvimento compreende numerosos processos tais como divisão celular, expansão celular, síntese de proteínas, elaboração dos materiais da parede celular, alterações qualitativas e quantitativas em organelas celulares e muitos outros.

**1.1 CICLO DO DESENVOLVIMENTO:** O ciclo do desenvolvimento divide-se em duas fases. A primeira, fase vegetativa, inicia-se com a germinação da semente indo até a planta adulta. A segunda, fase reprodutiva, vai do início da floração até a formação dos frutos e sementes.



Entre as fases vegetativa e reprodutiva, existe uma fase de transição, em que a planta se ajusta fisiologicamente para dar início à produção de flores e frutos. O ajuste fisiológico compreende, em especial, na mudança nas concentrações hormonais, normalmente em resposta a algum estímulo interno ou externo (como fotoperíodo, disponibilidade de água, temperatura).

## 1.2 EVENTOS DO DESENVOLVIMENTO.

Nas fases do desenvolvimento ocorrem os eventos descritos no Quadro 1.

### QUADRO 1. Eventos do desenvolvimento da planta.

- Germinação	}	Resulta em Crescimento
- Divisão celular		
- Expansão celular		
-Transição de meristemas apicais e axilares	}	De vegetativos para florígenos
- Ramificação		
- Formação de raízes e gemas adventícias		
-Florescimento, polinização, fertilização e frutificação		
- Dormência		
- Senescência		
- Morte		

## 2. CRESCIMENTO

### 2.1 Conceito de crescimento.

O crescimento é o aumento irreversível de tamanho acompanhado por uma combinação de divisão e expansão celular. A divisão celular, por si só, não é crescimento, pois ela pode ocorrer sem que se observe aumento global no tamanho do órgão onde ela ocorre. Por outro lado, expansão celular, por si só, constitui-se em crescimento. Isto é normalmente observado em plantas que sofrem um considerável aumento real no tamanho celular, em regiões de maturação. Com raras exceções, normalmente o crescimento contínuo de um organismo requer a produção e expansão de novas células, sendo que estes dois processos estão estritamente associados a espaço e tempo.

O crescimento não ocorre na planta como um todo, mas sim em regiões bem definidas. Os pontos onde o crescimento ocorre são:

- meristemas apicais tanto das raízes como da parte aérea (gemas); em todas as plantas superiores.
- parte superior dos nós das monocotiledôneas;
- base das folhas das gramíneas;
- cambio vascular - crescimento lateral ou crescimento secundário das dicotiledôneas.

## 2.2. Como acontece o crescimento da célula?

- divisão celular - mitose e citocinese;
- expansão celular - acionada pela pressão interna resultante das diferenças de potencial osmótico entre o interior e o exterior da célula;
- diferenciação celular - a formação de um corpo organizado implica em que células e grupos de células em diferentes regiões do corpo tenham-se tornado estruturalmente distinguíveis e funcionalmente distintas. As mudanças que ocorrem nestas células e grupos de células constituem o que é conhecido como diferenciação.

## 2.3. Condições necessárias ao crescimento

O crescimento é o resultado da influência de fatores exógenos e endógenos.

### **Fatores exógenos:**

- Água, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, temperatura e luz, envolvidos na fotossíntese e nutrientes minerais procedentes do solo.

### **Fatores endógenos:**

- tecidos em estágio potencial de crescimento
- controle genético
- síntese e ação de hormônios de crescimento

## **3. ANÁLISE DO CRESCIMENTO (OU MEDIDAS DO CRESCIMENTO):**

O crescimento pode ser analisado sob vários aspectos. Por exemplo: medir o crescimento da planta em altura, ou o crescimento do seu diâmetro, ou mesmo de partes ou órgãos da planta (crescimento alométrico). O mais comum, entretanto, é a medida do crescimento da fitomassa de comunidades de plantas, em casas de vegetação ou, mais comumente, em condições de campo. A seguir, é apresentado mais detalhadamente, como se analisa o crescimento da fitomassa de comunidades vegetais.

A análise quantitativa do crescimento vegetal foi desenvolvida pelos fitofisiólogos Blackman (1919); Briggs, Kidd e West (1920) e Watson (1952).

É considerada internacionalmente como o método padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária das comunidades vegetais.

O componente de interesse imediato é a produtividade total ou produção primária líquida. Porém estes dados dizem pouco sobre as alterações que ocorrem durante o crescimento das culturas, pois leva em consideração apenas o crescimento quantitativo, desconsiderando as várias alterações morfoanatômicas porque passa a planta.

O crescimento é o resultado do balanço entre fotossíntese (aprisionamento ou fixação do CO<sub>2</sub>) e respiração (liberação ou perda de CO<sub>2</sub>), resultando em um saldo que pode ser maior ou menor, dependendo se a planta está ganhando ou perdendo massa.

### 3.1. Relação entre a atividade fotossintética e a produção de fitomassa.

A **produção biológica ou fitomassa** (sendo fitomassa a quantidade de tecido metabolicamente ativo, que compõe uma comunidade vegetal) **é o resultado da atividade fotossintética e da absorção dos elementos minerais do solo**. É medida, normalmente, pela massa seca, massa orgânica, ou conteúdo de energia do material vegetal, sendo a massa seca representada pelo símbolo  $w$ , do inglês weight, ou MS de massa seca).

Em ecossistemas a taxa de produção vegetal ou taxa de crescimento, pode ser definida como o acúmulo de produto da fotossíntese por unidade de área de terreno, por unidade de tempo. O resultado pode ser apresentado em unidades de massa, gramas por  $m^2$  por dia ( $g/m^2/dia$ ) ou de energia, Joules por  $m^2$  por dia ( $J/m^2/dia$ ). É também chamada de **produtividade primária** (Lieth, 1962, 1965). **Lieth definiu produtividade primária como todo material formado em uma comunidade de plantas por unidade de área de terreno por unidade de tempo.**

A atividade fotossintética envolvida na produção de fitomassa é a fotossíntese líquida. Através da respiração parte dos produtos da fotossíntese é transformada em inúmeras substâncias essenciais ao desenvolvimento da planta e parte é perdida na forma de  $CO_2$ . A fotossíntese líquida é dada pela equação:

$F_L = F_b - R$ , sendo:  $F_L$  a fotossíntese líquida,  $F_b$  a fotossíntese bruta e  $R$  a respiração.

Os estudos de trocas gasosas (fotossíntese x respiração) são utilizados para o estudo dos mecanismos controladores da produtividade líquida de plantas, como o efeito do  $CO_2$ , do déficit de água, do nível de irradiância, entre outros, nas trocas gasosas, normalmente em condições controladas. Não é uma técnica adequada para a estimativa do crescimento, isto porque é mais fácil estimar a produtividade líquida média (produção bruta menos respiração), coletando-se amostras de plantas para estimar a sua fitomassa diretamente, durante um determinado intervalo de tempo (durante parte ou durante todo o ciclo da cultura em curtos intervalos de tempo, normalmente, semanalmente). Conceitualmente, em análise de crescimento, 24 h é o período mais curto para duas amostragens sucessivas, de plantas, para tomada dos dados.

A partir do que já foi descrito conclui-se que a produção de fitomassa em função do tempo por uma comunidade de plantas é dada, de maneira aproximada, pela relação:

$$\frac{\Delta MS(\text{variação da fitomassa})}{\Delta t(\text{variação do tempo})} \approx F_b - R \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta MS}{\Delta t} \approx F_L$$

Sendo:  $F_b$  a fotossíntese bruta da comunidade,  $R$  a respiração e  $F_L$  a fotossíntese líquida. O símbolo  $\approx$  significa, aproximadamente igual.

Pela equação, observa-se que a produção de fitomassa por uma comunidade de plantas pode ser positiva (fotossíntese maior do que a respiração), negativa (fotossíntese menor do que a respiração) ou nula, no ponto de compensação (fotossíntese igual a respiração), dependendo do total de fotossíntese ou respiração produzidos pela comunidade no intervalo de tempo considerado.

Embora, sem nenhuma precisão do ponto de vista prático, a comparação acima pode ser feita, teoricamente, isto é, a variação da fitomassa com o tempo, representando a fotossíntese líquida ( $F_L$ ).

A relação  $\Delta MS/\Delta t$  não é exatamente igual a  $F_L$ , visto que na fitomassa estão inclusos os sais minerais procedentes do solo. A aproximação só é possível porque a proporção de sais em relação a massa oriunda da fotossíntese é muito pequena, menor do que 5%.

*Para a análise de crescimento é essencial coletar dados de área foliar e massa seca (de toda a planta ou de suas partes)*

### **3.2. Como medir a área foliar de uma planta ou de uma comunidade?**

Antes do advento dos medidores eletrônicos de área foliar, as medidas eram feitas manualmente. Era um trabalho árduo e pouco preciso. Mas era, e ainda é, uma alternativa para aqueles que não dispunham ou ainda não dispõem do referido equipamento.

Manualmente a área foliar pode ser medida da seguinte forma:

- a- Coleta-se uma folha. Deite-a sobre um papel de espessura uniforme e faz-se o contorno da folha sobre o papel, com um lápis ou caneta. Recorta-se o papel no contorno feito. Você terá a área da folha no papel. Em seguida pese o papel (na forma da folha) e anote. Por exemplo: peso igual a 5,0 g.
- b- Agora, recorte um pedaço do mesmo papel, mas com dimensões conhecidas. Por exemplo: 10 cm por 10 cm. A área será:  
 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$ . Pese este pedaço de papel de área conhecida ( $100 \text{ cm}^2$ ). Por exemplo: peso igual 9,0 g.

Agora fica fácil, aplicando-se regra de três chega-se facilmente a área da folha recortada no papel, que é a área da folha da planta. Cálculo:

Área conhecida do papel =  $100 \text{ cm}^2$  que corresponde a um peso de 9,0 g. Área da folha no papel = desconhecida, mas o peso é igual a 5,0 g. Então a área da folha será:

$$A = (100 \text{ cm}^2 \times 5 \text{ g}) / 9 \text{ g} = 55,5 \text{ cm}^2$$

Este método funciona para poucas folhas. Para muitas seria inviável.

Para comunidades de plantas procede-se da seguinte maneira: Determina-se áreas de várias folhas pelo método anterior. Em seguida, introduz-se as folhas em sacos de papel (uma em cada saco, fazendo-se as devidas identificações no próprio saco de papel) e coloca-se as folhas para secar em estufa a  $75^\circ\text{C}$  por 24h, ou até peso constante. Em seguida pesa-se cada folha, em balança de precisão. Elabora-se então uma tabela disposta em colunas o número da folha, a sua área (A) e o respectivo peso (ou mais precisamente a massa) (P) e a relação área (A) sobre massa (P) (A/P). A partir deste índice fica fácil estimar a área foliar de um determinado número de plantas. Consiste apenas em coletar as plantas das quais se deseja determinar a área foliar, destacar as suas folhas, secar em estufa e determinar o peso. Para encontrar a área foliar dessas plantas é só multiplicar o peso obtido pelo índice A/P.

A área foliar pode ser obtida, também, mediante regressão, ajustando-se uma equação matemática aos dados de área foliar, obtidas pelo método anterior, versus largura (L) ou comprimento (C) ou largura x comprimento (L X C) das folhas. Consiste em plotar em gráfico cartesiano os dados de área foliar (A) versus L ou C ou L X C.

Vamos a um exemplo: Tomam-se de uma planta de jatobá, que se quer medir a área foliar de algumas folhas de diferentes tamanhos (seis, por exemplo). Mede-se a largura no ponto mais largo, o comprimento, da base de inserção da folha ao pecíolo até a extremidade ou ápice da folha, e a área foliar pelo método anterior, e insere-se os dados na tabela a seguir:

Tabela 1 – Folha coletada de planta de Jatobá e as respectivas áreas foliares, Largura, comprimento e largura vezes comprimento.

Folha n <sup>o</sup>	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Largura (L)-cm	Comprimento (C)-cm	L x C cm <sup>2</sup>
01	80,62	6,7	15,2	101,84
02	84,30	7,0	16,0	112,00
03	98,87	7,4	17,0	125,80
04	102,77	8,0	17,5	140,00
05	111,91	8,1	18,0	145,80
06	123,26	8,6	18,7	160,82

Usando-se calculadora ou preferencialmente computador e programas que fazem este tipo de cálculo, executam-se as regressões. Ao final deveremos ter uma equação que represente a área foliar em função da largura ou comprimento ou L x C das folhas. A equação mais fácil de ser obtida é uma do tipo linear:  $Y = a + bX$ . Sendo Y a área foliar, X a largura, ou comprimento ou L x C. E **a** e **b** são as constantes, ou coeficientes ou parâmetros da equação. A equação que melhor se ajusta aos dados é aquela que possuir o maior coeficiente de correlação (r) ou determinação (r<sup>2</sup>).

### Índice de área foliar

A área foliar deve sempre ser transformada para índice de área foliar (IAF). Uma vez obtida a área foliar de uma, duas ou mais plantas na parcela, e conhecida a densidade de plantas por metro quadrado, por regra de três torna-se fácil obter a estimativa da área foliar em m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de terreno, que é o IAF. Exemplo: Numa densidade de plantas igual a 30 por m<sup>2</sup>, determina-se a área foliar de duas plantas. Por exemplo, a área foliar de duas plantas é 900 cm<sup>2</sup>; qual será a área foliar das 30 plantas? Aplicando regra de três, determina-se que a área foliar será 30 plantas (30 plantas x 900 cm<sup>2</sup>)/2 plantas = 13500 cm<sup>2</sup> ou 13500 cm<sup>2</sup>/10000 = 1,35 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> = IAF (10000 transforma cm<sup>2</sup> para m<sup>2</sup>).

O IAF reflete a real capacidade produtiva de um stand de plantas. Do ponto de vista da produção fotossintética líquida global, o valor do IAF em que a taxa de crescimento da cultura (TCC) é máxima, em uma dada fase do desenvolvimento, pode ser considerada como o IAF ótimo (Blackman, 1968). Este valor de IAF ótimo, pode diferir do valor de IAF requerido para se obter o mais alto rendimento econômico, quando na fitomassa são incluídos grãos, tubérculos, frutos, e outros.

### 3.3.Como medir a massa seca das plantas?

A massa seca é o resultado da fotossíntese líquida, como visto anteriormente. Não se deve esquecer que essa massa seca contém uma pequena porcentagem de sais minerais procedentes do solo. Esses sais representam menos de 5% da massa seca total e, por razões

práticas esta porcentagem pode ser desconsiderada. A fotossíntese bruta ou o total fotossintetizado seria a fotossíntese líquida mais a respiração. Como a respiração representa um valor em torno de 20% de tudo que a planta produz, deve-se acrescentar este valor (20%) sobre a massa seca encontrada para se obter a massa seca bruta. Ou seja, aquela massa medida, mais a respirada (Alvin e Alvin, 1976).

Para se obter as massas secas são feitas amostragens no campo (experimento), as plantas coletadas nas parcelas são introduzidas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório. As raízes são normalmente cortadas e desprezadas visto ser difícil extraí-las do solo na sua totalidade, conduzindo, assim, a grandes erros. A planta pode ser seca inteira ou separada por partes. É interessante separar por parte, pois pode-se fazer uma avaliação da partição de fotossintatos entre os diversos órgãos da planta ao longo do seu ciclo (Ver Figura....).

Para a determinação da massa seca de plantas é essencial uma estufa com ventilação forçada de ar. As plantas amostradas são colocadas em sacos de papel e levadas a secar em estufa a 75° C por um período de 24 h, ou até massa constante (Quando toda a água é perdida). Uma vez secas, as plantas são pesadas em balança de precisão.

A massa seca deve sempre ser transformada em gramas por metro quadrado. Da mesma forma que para o IAF, conhecendo-se a massa seca de uma, duas ou mais plantas amostradas na parcela e, conhecida a densidade de plantas por metro quadrado, por regra de três encontra-se a massa seca em gramas por m<sup>2</sup> de terreno.

Exercício:

- plotar em gráficos cartesianos área foliar (AF) ou índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) x tempo  
Fornecer aos alunos dados de área foliar e massa seca

### 3.4. Cinética do crescimento. o crescimento com o tempo.

Determinadas a massa seca das plantas (se possível em gramas por m<sup>2</sup> de terreno) e a área foliar (se possível o índice de área foliar em m<sup>2</sup> de folhas por m<sup>2</sup> de terreno), plote em gráfico os valores de IAF e MS com o tempo. A curva que se obtém é normalmente uma sigmoide, como apresentado no gráfico abaixo. O crescimento, da emergência até o indivíduo adulto passa por três fases bem definidas. Inicialmente é lento, fase em que o vegetal está usando as reservas nutritivas da semente, com a gradual exaustão das reservas a planta passa a sintetizar as suas próprias, entrando em uma fase rápida de crescimento, com taxas de crescimento cada vez mais altas até alcançar um máximo no ponto de inflexão I, deste ponto em diante as taxas diminuem gradualmente atingindo valor nulo em M. Além deste ponto as taxas tornam-se negativas.

No gráfico, a taxa de crescimento entre as datas T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, correspondentes às massas M<sub>1</sub> e M<sub>2</sub>, seria:

$\overline{TCC} = (M_2 - M_1)/(T_2 - T_1)$ . Entre as datas T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>, correspondentes às massas M<sub>2</sub> e M<sub>3</sub>, seria:

$\overline{TCC} = (M_3 - M_2)/(T_3 - T_2)$ . Entre as datas T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>, seria:

$\overline{TCC} = (M_4 - M_3)/(T_4 - T_3)$ . Entre T<sub>1</sub> e T<sub>4</sub>, seria:

$\overline{TCC} = (M_1 - M_4)/(T_4 - T_1)$

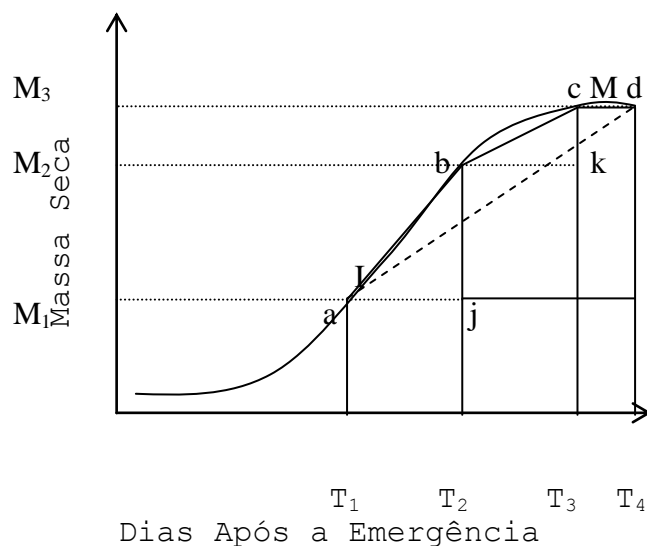


Fig. Crescimento da planta (altura, massa seca ou fol-has), em função do tempo

Observa-se que quanto maior o tempo entre as amostragens, maior será o erro em se utilizar as fórmulas acima para se calcular as taxas de crescimento, visto que o crescimento não é uma função linear e sim polinomial. O erro ao calcular a Taxa de Crescimento entre as datas  $T_1$  e  $T_4$ , será inevitavelmente muito grande. Evidentemente quanto menor o intervalo de tempo entre as amostragens menor será o erro.

### 3.10. Como é feito o ajuste ou, como encontrar uma equação que melhor se ajusta aos dados de ms com o tempo?

Com dados tomados em um experimento de campo, montamos a seguinte tabela, onde são apresentados dados de índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) em função do tempo (DAE ou dias após a emergência):

Tabela 2. Valores de Índice de área foliar (IAF em  $m^2/m^2$ ) e massa seca total (MS em  $g/m^2$ ) em relação a dias após a emergência (DAE em dias), em feijoeiro comum.

DAE	26	33	41	47	56	68
IAF	.75	1.88	2.51	2.8	2.5	.36
MS	38.3	102.0	164.2	203.7	289.6	207.2

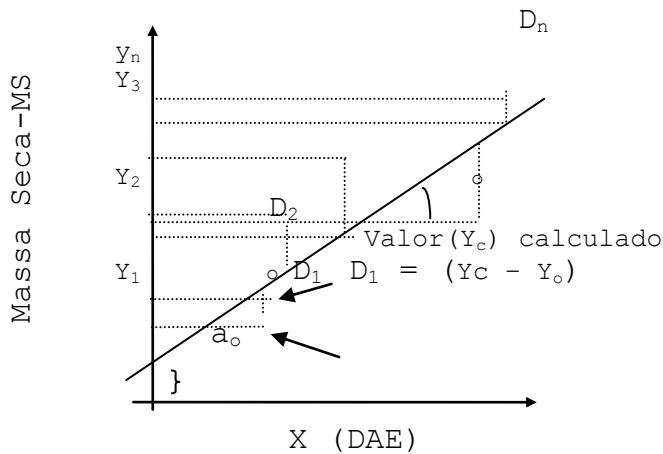
A questão é como encontrar uma equação que melhor se ajuste aos dados de MS e IAF, em função do tempo. O objetivo consiste em achar a equação, o seu coeficiente de determinação ( $r^2$ ) ou correlação ( $r$ ) e a significância para o ajuste (teste de F). O coeficiente de correlação mede a excelência do ajustamento aos dados da equação realmente considerada.

O primeiro procedimento é plotar, em gráfico cartesiano, os valores de Y (índice de área foliar ou massa seca) correspondentes aos respectivos valores de X (DAE). Com este procedimento é possível ter uma idéia da melhor equação a se ajustar aos dados, entre inúmeras possibilidades.



Imaginemos, primeiramente, uma reta onde X(DAE) é a variável independente e Y(MS) a variável dependente.

$$MS (Y) = a_0 + a_1 X_1$$



Na equação:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Para  $x = 0$   $y = a_0$

$a_1$  é a declividade da reta ou o coeficiente angular.

$D_1, D_2, \dots, D_n$  são os desvios entre os valores observados e os calculados

Tentaremos uma equação (qualquer) que melhor se ajusta aos dados observados. A curva (equação) que melhor se ajusta aos dados é aquela cuja soma (S) dos quadrados dos desvios dos valores calculados em relação aos observados é mínima (em relação às demais curvas). Este método de se encontrar a melhor curva que se ajusta aos dados observados é chamado **método dos mínimos quadrados**.

Seja S a soma e D os desvios:

$$S = D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_n^2 = \text{mínima}$$

$$D_1 = (a_0 + a_1 X_1 - Y_1)^2; \text{ sendo } (a_0 + a_1 X_1) = \text{valor calculado}; Y_1 = \text{valor observado}$$

$$D_2 = (a_0 + a_1 X_2 - Y_2)^2$$

.....

$$D_n = (a_0 + a_1 X_n - Y_n)^2$$

$$S = (a_0 + a_1 X_1 - Y_1)^2 + (a_0 + a_1 X_2 - Y_2)^2 + \dots + (a_0 + a_1 X_n - Y_n)^2$$

De acordo com o cálculo infinitesimal, para que a soma S seja mínima a sua derivada deve ser igual a zero.

Primeiramente em relação a  $a_0$ ,

$$[\text{Ex: } dD_1/da = d(a_0 + a_1 X_1 - Y_1)^2 = 2(a_0 + a_1 X_1 - Y_1)]$$

$$dS/da_0 = 2(a_0 + a_1 X_1 - Y_1) + 2(a_0 + a_1 X_2 - Y_2) + \dots + 2(a_0 + a_1 X_n - Y_n) = 0$$

Colocando em evidência, resulta:

$$dS/da_0 = 2[(a_0 + a_1 X_1 - Y_1) + (a_0 + a_1 X_2 - Y_2) + \dots + (a_0 + a_1 X_n - Y_n)] = 0$$

e, finalmente: a equação:  $a_0 N + a_1 \sum X - \sum Y = 0$

Agora em relação a  $a_1$ ,

$$[\text{ex: } dD_1/da_1 = d(a_0 + a_1X_1 - Y_1)^2 = 2(a_0 + a_1X_1 - Y_1)X_1]$$

$$\frac{dS}{da_1} = 2[(a_0 + a_1X_1 - Y_1)X_1 + (a_0 + a_1X_2 - Y_2)X_2 + \dots + (a_0 + a_1X_n - Y_n)X_n] = 0$$

e, então:

$$a_0 \sum N + a_1 \sum X^2 - \sum XY = 0$$

Resolvendo as equações acima chega-se ao sistema de equações:

- 1)  $N a_0 + a_1 \sum X - \sum Y = 0$  (1ª)
- 2)  $a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 - \sum XY = 0$  (2ª)

Vamos, agora, achar os valores das constantes  $a_0$  e  $a_1$

1ª equação:

$$N a_0 + a_1 \sum X - \sum Y = 0$$

$$a_0 = (\sum Y - a_1 \sum X) / N$$

2ª equação:

$$a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 - \sum XY = 0$$

$$a_1 = (\sum XY - a_0 \sum X) / \sum X^2$$

Substituindo  $a_1$  na equação 1ª para encontrar  $a_0$ , teremos:

$$a_0 = [\sum Y - (\sum XY - a_0 \sum X) \cdot \sum X] / (\sum X^2 / N)$$

Rearranjando a equação obtém-se:

$$a_0 = [\sum Y \cdot \sum X^2 - (\sum X)(\sum XY)] / [N \sum X^2 - (\sum X)^2]$$

Seguindo o mesmo raciocínio, teremos:

$$a_1 = N \cdot \sum XY - (\sum X) \cdot (\sum Y) / [N \sum X^2 - (\sum X)^2]$$

Ao invés de aplicar as equações anteriores, pois muitas vezes vai-se encontrar valores muito grandes nas multiplicações, pode se abreviar os cálculos por meio de transformações de coordenadas, isto é, fazendo-se:

$X - \bar{X} = x$  e  $Y - \bar{Y} = y$ , sendo  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  as médias aritméticas das somas dos valores de  $X$  e  $Y$  respectivamente, de maneira que a reta de mínimos quadrados pode ser escrita assim:

$$y = \left[ \frac{\sum xy}{\sum x^2} \right] x \quad \text{ou} \quad Y = \left[ \frac{\sum xY}{\sum x^2} \right] x, \quad \text{ou} \quad a_1 = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

Para facilitar os cálculos elaboramos a seguinte tabela:

DAE(X)	IAF(Y)	$x=X - \bar{X}$	$y=Y - \bar{Y}$	xy	$x^2$	$y^2$
26	.75	-19.17	-1.05	19.50	676	.562
33	1.88	-12.17	.08	62.04	1089	3.534
41	2.51	-4.17	.71	102.91	1681	6.300
47	2.8	1.83	1.0	131.60	2209	7.840
56	2.5	10.83	.70	140.00	3136	6.250
68	.36	22.83	-1.44	24.48	4624	.130
$\Sigma X = 271$	$\Sigma Y = 10.8$			$\Sigma xy = 480.53$	$\Sigma x^2 = 13415$	$\Sigma y^2 = 24.616$
$\bar{X} = 45.17$		$\bar{Y} = 1.8$				

Uma equação linear ficaria do tipo:

$Y = -47,124 + 4,752 X$  com  $r = 0,827$  e  $F = 8,65$  para grau de liberdade da regressão = 1 e do resíduo = 2.

Para uma equação exponencial quadrática ficaria:

$Y = 0,405406 \text{EXP} (0,2306143X - 2,041665 \cdot 10^{-3} X^2)$ , com  $r = 0,9923$  e  $F = 96,28$ , para grau de regressão = 2 e do resíduo = 3.

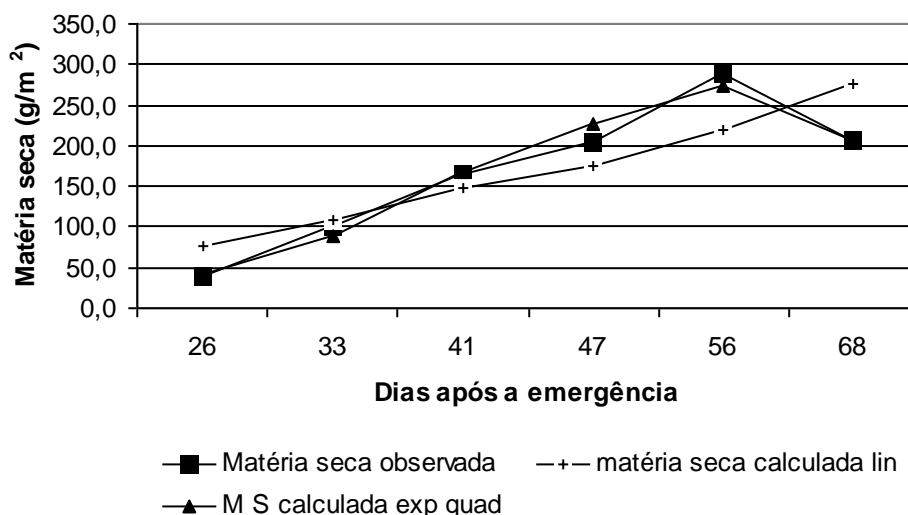


Figura – Ajuste de equações a dados de matéria seca. Equações linear e exponencial quadrática.

### 3.11. Escolhendo uma equação:

Vamos tentar uma equação do tipo exponencial quadrática, a que mais tem sido usada para ajustes em dados de plantas anuais, como feijão, milho, arroz, soja e outras.

A equação é:

$Y = ce^{a_1X + a_2X^2}$ . Transformando para a forma logaritmica, fica:  
 $\ln Y = \ln c + (a_1X + a_2X^2) \ln e$ . Resolvendo vem:

$\ln Y = \ln c + a_1X + a_2X^2$  ( $\ln_e e = 1$ ). A equação é obtida encontrando-se os valores das constantes (parâmetros) da equação,  $c$ ,  $a_1$  e  $a_2$ . Encontram-se estas constantes a partir dos valores observados.

Para facilitar o ajuste faz-se  $\ln y = Z$  e  $\ln c = a_0$ ; de modo que a equação fica:

$Z = a_0 + a_1X + a_2X^2$ . No final do ajuste, encontra-se o  $c$ , buscando-se o antilog de  $a_0$  ou fazendo  $c = e^{a_0}$  e  $y = e^Z$ .

### 3.5. Os índices fisiológicos (ou características do crescimento)

Os índices fisiológicos (ou características do crescimento) são derivados dos ganhos de crescimento de AF e MS em função do tempo. São uma função da eficiência de conversão da energia luminosa em energia química ou material vegetal, de cada espécie ou variedade de planta.

Os principais índices fisiológicos estudados são: Taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), duração da área foliar (DAF). Os índices fisiológicos são uma função da eficiência de conversão:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{TCC} & \text{AFE} \\ \text{TCR} & \text{RAF} \\ \text{TAL} & \text{DAF} \end{array} \right\} \text{ (f) Eficiência de conversão}$$

### 3.6. Taxa de crescimento da cultura (TCC)

A taxa de crescimento da cultura (TCC) mede a variação da massa seca (MS) com o tempo (t). Se, durante o ciclo da cultura, forem tomadas várias medidas (semanalmente) de matéria seca, pode-se ajustar uma equação a estes dados. Encontrada a equação, a sua derivada, em função do tempo, será a TCC instantânea, isto é, a tangente à curva de aumento de matéria seca no instante t, daquela espécie ou variedade amostrada:

$$TCC = dMS/dT$$

Sendo MS a equação ajustada aos dados de massa seca em função do tempo.

A TCC, assim encontrada, é instantânea. A TCC média é obtida integrando-se a equação anterior em função do tempo:

$$TCC = 1/\Delta T \int_{t_1}^{t_2} dMS = (MS_2 - MS_1) / \Delta T, \text{ ou } TCC = (MS_2 - MS_1) / \Delta T$$

Através da equação da TCC calcula-se quanto a planta ou comunidade está crescendo, num determinado intervalo de tempo, normalmente em kg/ha/dia, mas não leva em consideração a massa vegetal preexistente ou original. Ou seja, aquela existente por ocasião da amostragem. Para contornar esta situação introduziram a Taxa de Crescimento Relativo.

### 3.7. Taxa de crescimento relativo (TCR)

É o aumento da massa seca por unidade de massa original num certo intervalo de tempo. É dada pela equação:

$$TCR = TCC/MS = (1/MS) dMS/dT = d(\ln MS)/\Delta T.$$

Esta equação dá a TCR instantânea. A taxa de crescimento relativa média é dada pela equação seguinte, que é a integral da TCR instantânea:

$$TCR = (1/dT) * \int_{t_1}^{t_2} (d \ln MS) = (\ln MS_2 - \ln MS_1) / \Delta T$$

$$TCR = (\ln MS_2 - \ln MS_1) / \Delta T$$

Duas culturas, ou mais, podem ter a mesma TCC, mas massas diferentes. Isto justifica o uso da TCR. Veja o exemplo:

Cultura	Matéria Seca g/m <sup>2</sup>		Crescimento em 5 dias (gramas) (data 1-data 2)	TCC g/m <sup>2</sup> /dia	TCR média g/g/dia
	data 1	data 2			
A	500	600	100	20	.3650
B	1000	1100	100	20	.0191

Na cultura A a MS original equivale a 50% da MS da cultura B, embora as suas TCC sejam idênticas. Não é correto, portanto, comparar as culturas em termos de TCC, pois este índice não leva em consideração a massa seca original, isto é, aquela existente por ocasião da primeira amostragem, para a determinação da massa seca. Para eliminar esta distorção, passaram a usar a TCR. A TCR média da cultura A é de aproximadamente 19 vezes maior do que a TCR da cultura B. Embora a cultura A tenha uma massa original muito menor que da B, ela apresentou, no período, uma TCR média muito maior.

É importante conhecer a eficiência das folhas na produção de novos materiais, já que a TCR considera toda a massa seca da planta como igualmente produtiva.

A TCR foi adequada por levar em consideração a massa seca das plantas por ocasião da amostragem, mas ainda continuou a deficiência de não se levar em consideração a superfície assimilatória da planta, a área foliar, que na verdade é a responsável pela produção da planta. Esta situação foi contornada desenvolvendo o índice Taxa Assimilatória Líquida

(TAL). Este leva em consideração, além da matéria seca da planta, a sua área foliar. É o índice utilizado para relacionar a matéria seca produzida com a área foliar:

### 3.8. Taxa assimilatória líquida ou aparente (TAL):

É o aumento de material vegetal (massa seca) por unidade de superfície assimilatória (folha) por unidade de tempo. A unidade utilizada, normalmente, é g/m<sup>2</sup>/dia. Isto é, g de massa seca por m<sup>2</sup> de folhas por dia.

$$TAL = TCC/IAF = (dMS/\Delta T)/IAF$$

A equação acima dá a TAL instantânea. Para se obter a TAL média entre dois pontos ou datas integra-se a instantânea. Assim:

$$TAL = 1/(T_2 - T_1) \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{AF} * dMS/dT$$

TAL = Taxa assimilatória líquida em grama de massa por m<sup>2</sup> de folhas por dia (g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>)

t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub> são os intervalos de tempo entre as amostragens das plantas

IAF = Índice de área foliar

MS = matéria seca das plantas

A integração acima é possível desde que:

1-A relação entre AF e MS seja conhecida

2-As relações entre AF e ΔT e MS e ΔT sejam conhecidas.

Ou

A equação anterior pode ser integrada desde que:

a. no período t<sub>1</sub> a t<sub>2</sub>, AF e MS sejam linearmente relacionadas e,

b. AF e MS sejam funções contínuas de tempo.

Realizando-se a integração obtêm-se a seguinte equação:

$$TAL = [(MS_2 - MS_1) \times (\ln IAF_2 - \ln IAF_1)] / [(IAF_2 - IAF_1) \times (T_2 - T_1)]$$

A TAL depende mais diretamente da radiação incidente sobre a cultura do que qualquer outro fator ambiental. Há correlação positiva entre TAL e radiação. Devido ao aumento do sombreamento mútuo das folhas, a TAL pode apresentar-se negativamente correlacionada com o IAF e, conseqüentemente, com todos os fatores que induzem um aumento do IAF (nitrogênio, densidade de plantio, alto nível de suprimento de água, entre outros). Em conseqüência a TAL pode decrescer durante o desenvolvimento de um plantio.

Existe uma relação mútua entre razão de área foliar (RAF), taxa assimilatória líquida (TAL) e a taxa de crescimento relativo (TCR), em um dado instante, descrita pela fórmula:

$$TCR = TAL \times RAF \text{ ou}$$

$$1/MS \times dMS/\Delta T = 1/IAF \times dMS/\Delta T \times IAF/MS$$

Por conseguinte, qualquer efeito sobre a TCR, pode ser interpretado em termos de efeito sobre a eficiência líquida ou sobre o tamanho relativo do aparelho assimilatório ou sobre ambos.

Do ponto de vista da produção fotossintética líquida global, o valor do IAF em que a taxa de crescimento da cultura (TCC) é máxima, em uma dada fase do desenvolvimento, pode ser considerada como o IAF ótimo, e o produto do IAF pela TAL ( $TCR = TAL * IAF$  ou  $C' = L \cdot E'$ ), sendo, então máximo (Blackman, 1968).

### **3.9. Estimativas das características do crescimento a partir de equações ajustadas aos dados observados.**

Vamos tomar como exemplo o cálculo da taxa de crescimento da cultura (TCC).

$TCC = dMS/\Delta T$  em grama de planta por  $m^2$  de terreno por  $dia^{-1}$  ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ). Pode ainda ser expressa em  $kg\ m^{-2}$  ou  $kg\ ha^{-1}$  ou  $t\ ha^{-1}$ .

Sendo MS uma equação ajustada aos dados experimentais.

A taxa de crescimento seria, então, a derivada da equação da massa seca, em função do tempo. Para entrar no cálculo a equação da MS já deve estar previamente ajustada aos dados observados.

### **3.12. Razão de área foliar (RAF)**

É a razão entre a área foliar e a matéria seca da planta.  $RAF = AF/MS$  ou  $IAF/MS$  em  $m^2$  de folhas por  $kg^{-1}$  de planta ( $m^2\ kg^{-1}$ ). AF é área foliar; IAF é índice de área foliar ( $m^2$  de folhas/ $m^2$  de terreno) e MS é a matéria seca total das plantas correspondes a AF ou IAF obtido.

Pode ser interpretada como a razão entre a superfície assimilatória (folhas) e o material assimilado pela referida superfície. Assim, uma espécie ou variedade que apresenta uma menor RAF, em relação a outra, deve ser mais eficiente, por produzir mais assimilados por unidade de superfície assimilatória.

### **3.13. Área foliar específica (AFE)**

É a razão entre a área foliar e a matéria seca da folha.

$AFE = AF/MS$  em  $m^2$  por kg de folhas.

Folhas de sombra, normalmente possuem maior AFE. Sombreadas, tendem a se expandirem, reduzindo a sua espessura e, como conseqüência, uma menor massa foliar por unidade de área.

### **3.14. Duração de área foliar (DAF).**

É a integral da área foliar com o tempo (tempo que pode ser o ciclo da planta ou determinado período do ciclo). Dá a quantidade de folhas produzidas pelas plantas no período definido. O resultado é dado em área/área tempo.

$$DAF = \int_{T_1}^{T_2} AF dT$$

Ou, utilizando-se a fórmula para o cálculo da área do trapézio, para espaços de tempo muito pequenos.

$$D = (AF_1 + AF_2) \times (t_2 - t_1) \times 1/2$$

### Relações entre as características do crescimento

Muitas características do crescimento são mutuamente dependentes. As relações básicas são aquelas entre taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL) e razão de área foliar (RAF) e, em stands, aquelas entre taxa de crescimento do cultivo (TCC), taxa assimilatória líquida (TAL) e índice de área foliar (IAF). Então, se

$$TCR = TAL \times RAF$$

A TAL será definida pela equação:

$$TAL = [1/MS \times dMS/\Delta T] \times [IAF/MS^{-1}] = 1/MS \times dMS/\Delta T \times MS/IAF$$

$$TAL = 1/IAF \times dMS/\Delta T$$

Deduz-se então que:  $TAL = TCC/IAF$ , já que  $dMS/\Delta T = TCC$

As equações demonstram, também, que combinações ótimas existem em cada tipo de planta, ou stand, de TAL e RAF e de TAL e IAF, de modo que as mais altas taxas de produções, medidas como TCR ou TCC, respectivamente, seriam obtidas.

#### Símbolos comumente usados em análise de crescimento:

	Símbolos	unidades
índice de área foliar-----	L, IAF-----	$m^2 m^{-2}$
massa seca ou peso seco-----	w, MS-----	$g m^{-2}$ ou $kg ha^{-1}$
taxa de crescimento do cultivo----	C, TCC-----	$g m^{-2} dia^{-1}$
taxa de crescimento relativo-----	R, TCR-----	$g g^{-1} dia^{-1}$
taxa assimilatória líquida-----	E, TAL-----	$g m^{-2} dia^{-1}$
razão de área foliar-----	F, RAF-----	$m^{-2} kg^{-1}$
área foliar específica-----	SLA, AFE-----	$m^2 kg^{-1}$

### 4. Eficiência de conversão da energia solar em energia química dos carboidratos

Para o cálculo da eficiência de conversão, necessitamos saber o quanto a planta produziu de massa em um determinado intervalo de tempo e a energia utilizada pela planta,



naquele intervalo, para converter CO<sub>2</sub> em massa vegetal. Para uma determinada quantidade de massa, a planta necessita de uma determinada quantidade de calorias procedentes da luz.

A equação para se calcular a eficiência é a seguinte:

$$E_c = [\text{TCC}(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}) \times 3200 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}] / [(\text{Rad}(\text{cal}) \times \text{Resp}(\%))] \times 100.$$

Sendo:

E<sub>c</sub> a eficiência de conversão de energia luminosa em energia química, em porcentagem

TCC, a Taxa de crescimento da cultura, em g/m<sup>2</sup>/dia

Rad, a radiação que chega à cultura, em cal/m<sup>2</sup>/dia, durante o período em que a TCC foi determinada.

Resp, a respiração da planta, em porcentagem da sua massa seca, estimada em aproximadamente 20% e,

3200, a quantidade de calorias liberadas pela queima de um grama do material vegetal que se está determinando a conversão. Varia com o tipo de material, mas a média situa-se em torno de 3200 cal/g.

Porém, existe um método mais preciso de se calcular a eficiência, que é o seguinte:

A energia para a produção da matéria seca é a energia dos fótons de luz.

O comprimento da onda de radiação relaciona-se com energia do fóton pela equação de Planck:  $E = h\cdot c/\lambda$ , onde h é a constante de Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s), sendo  $\lambda$  o comprimento da onda e c a velocidade da luz.

Por esta equação, os fótons que compõem a luz verde, tendo um comprimento de onda de 0,55nm, teriam uma energia:

$$E = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \times 5,5 \times 10^{-7} \text{ m} = 3,6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

Esta energia é a energia de um fóton, ou quantum de luz. Mas, o que geralmente interessa é a energia de um mol de fótons. Um mol de fótons é igual a  $6,02 \times 10^{23}$  fótons (número de Avogadro). Desta forma, a energia de um mol de fótons, na região do verde, seria:  $6,02 \times 10^{23} \times 3,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,2 \times 10^5 \text{ J/mol}$  ou 52.800 cal. Da mesma forma, a energia de um mol de fótons de luz azul, teria 71.000 cal, e a da luz vermelha 42.000cal.

A equação  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Energia} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2 - 112.000 \text{ cal}$  mostra que, por ser endotérmica, há um ganho de 112.000 cal por mol de CH<sub>2</sub>O produzido na fotossíntese (a queima de um mol de CH<sub>2</sub>O produz 112.000 cal).

Se a fotossíntese apresentasse 100% de eficiência, para transformar CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O em CH<sub>2</sub>O seriam necessárias 112.000 cal, mas isto não acontece. Por exemplo, se admitirmos que a luz vermelha tem E = 41.000 cal, quantos E (energia de um mol de fótons) de luz serão necessários para produzir 1 mol de hidratos de carbono (H.C.), supondo 100% de eficiência fotossintética. A resposta, evidentemente, seria de 3 a 4 J/mol. Entretanto, os valores encontrados na prática estão entre 8 e 12. Logo, conclui-se que há um desperdício de energia.

No espectro de 400 a 700 nm, considerando a média de 52.000 cal por mol de fótons e, tomando-se o valor médio de 10 J/mol, qual a eficiência do processo fotossintético?

Bem, se são gastos apenas 112.000 cal, das 520.000 (10 x 52.000) consumidas no processo de síntese de um mol de CH<sub>2</sub>O, teremos:

$$\text{Eficiência} = (112.000 \times 100) / 520.000 = 21,5\%$$

Significando que apenas 21,5% da energia total são transformados em energia química.

Por outro lado, se 10 Joules/mol (energia de 10 fótons = requerimento quântico) são utilizados para produzir um mol de  $\text{CH}_2\text{O}$ , a eficiência do requerimento quântico será:

$$\text{Eficiência quântica} = \frac{100 \times 1 \text{ mol } \text{CH}_2\text{O}}{10} = 10\%$$

Em condições normais, o requerimento quântico varia entre 8 e 12%.

A quantidade de energia armazenada na biosfera ( $Q_b$ ) é o produto da:

Energia solar que incide sobre a terra - A

Porcentagem de A absorvida pelo vegetal - B

Porcentagem de B convertida em energia química (armazenada sob a forma de H.C.)-

C, ou

$$Q_b = A \times B \times C,$$

Da radiação solar global (A) que incide sobre a terra, apenas em torno de 41% são R.F.A. (depende da inclinação do sol). De 100% da R.F.A., apenas 85% (B) são absorvidos pelo vegetal; os restantes 15% são refletidos e transmitidos. Dos 85% absorvidos, apenas 21,5% são fixados em H.C..

Desta forma, a eficiência global de conversão será:

$$Q_b = 0,41 \times 0,85 \times 0,215 = 0,075 \text{ ou } 7,5\%$$

Na prática tem sido encontrado esse valor para a eficiência global.

A eficiência de conversão da luz em H.C. é aumentada com incrementos no teor de  $\text{CO}_2$ . Em altas intensidades de luz, a eficiência é menor. Entretanto, um fator que limita grandemente a eficiência é o índice de área foliar.

Em condições naturais, esta eficiência de conversão de luz em H.C. é de 0,5 a 1%; no máximo 2%.

Suponha-se que durante um (1) dia, incidam  $540 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  de radiação solar sobre uma superfície. Dessas 540 cal, 41% são RFA, ou seja,  $222 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Desses 41%, apenas 12% ou  $26,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ou  $266 \text{ Kcal.m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  são transformados em energia química (requerimento quântico). Qual seria a quantidade de H.C. produzida?

Bem, se para um mol de  $\text{CH}_2\text{O}$ , com peso molecular de 30 gramas, são necessárias 112 Kcal, para um grama seriam exigidas  $3,7 \text{ Kcal g}^{-1} \text{ H.C.}$

Como as plantas absorveram ou converteram  $266 \text{ Kcal m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , teremos:  $266/3,7 = 72 \text{ g de H.C. m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

Esse potencial fotossintético de  $72 \text{ g M.S. m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  seria o potencial máximo em culturas sem fotorrespiração. Entretanto, o milho (espécie  $\text{C}_4$ , sem fotorrespiração) tem um potencial de  $50 \text{ g M.S. m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (logo, o valor teórico 72g é 44% superior ao máximo obtido com o milho).

## 5.ÍNDICE DE COLHEITA

Quando o interesse é a produção econômica, como grãos nos cereais, é comum utilizar-se o índice de colheita(IC).

$$IC = \frac{\text{Rendimento econômico(grãos)}}{\text{Rendimento vegetativo + econômico}}$$

Este índice dá a relação ou a proporção da matéria seca da planta, transformada em grãos. Quanto mais alto o índice, espera-se que mais produtiva seja a planta. As espécies selvagens normalmente possuem menor IC do que as geneticamente melhoradas.

### LITERATURA CONSULTADA

1. Ferri, M. G. **Fisiologia Vegetal**. Volumes I e II. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: EPU, 1985. 2v.
2. Hall,D.O., Long,S.P.; Scurlock, J.M.O. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Pergamon Press.Oxford.1985, p.171.
3. PEREIRA, A. R.; ARRUDA, H. V. Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica. FUNDAÇÃO CARGIL; Campinas (S.P.), 50 p. 1987.
4. PORTES, T. de A. e CASTRO JR, L. G. de. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. Rev. bras. de fisio. veg. 1993.
5. Portes, T de A.; Carvalho, S. I. C.de; Oliveira, I. P. de; Kluthcouski, J.Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais . Pesq. agrop. bras. ; Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358. 2000.
6. Kvet, J. ; Ondok, J. P.; Necas, J.; Jarvis, P. G. Plant Photosynthetic Production. In: Sesták,Z.; CatskýJ.; Jarvis ,P.G. Manual of Methods. Dr W.Junk N.V.Publishers The Hague, 1971,p.343 - 391.
7. Tornley, J. H. M. Mathematical models in plant physiology. A approach to problems in plant and crop physiology. Academic Press. London, 318p. 1976.
8. ADAMS, C. J. & HILLS, F. J. A power parabola for na asymmetrical response. Agronomy Journal, 69: 124-125, 1977.
9. ARRUDA, H. V.; VIEIRA, S. & HOFFMANN, R. Análise de uma função sigmóide. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, 40: 143-148, 1973.
10. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. Annals of Botany; 33:353-360, 1919.
11. BLACKMAN, G. E; BLACK, J. N. 1959. Ann. Bot. 23:131.

12. BLACKMAN, G. E. The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. In: ECKARDT, F. E. (ed.) *Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production Level*. UNESCO, Paris, p 243-259. 1968.
13. BLEASDALE, J. K. A.; WEST, C. 1920. *Ann. Appl. Biol.* 7:130.
14. BRIGGS, G. E.; KIDD, F. A. & WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. *Annals of applied Biology*. 7:202-223, 1920.
15. EVANS, G. C. *The quantitative analysis of plant growth*. Berkeley, University of California Press, 1972. 743 p. (Studies of Ecology, 1)
16. EVANS, G. C. & HUGHES, A. P. Plant growth and the aerial environment. III. On the computation of unit leaf rate. *New Phytologist*, 61:322-327, 1962.
17. GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum*. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 33, 1996. Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBZ, 1996, p 403-405.
18. HUNT, R. *Plant growth analysis*. London, Edward Arnold, 1978. 69 p.
19. HURD, R. G. Vegetative plant growth analysis in controlled environments. *Annals of Botany*, 41:779-787, 1977.
20. HUXLEY, P. A. 1967. *J. Appl. Ecol.* 4:291.
21. KVET, J. *et. alii*. Methods of growth analysis. In: SESTÁK, Z. Plant photosynthetic production; Manual of methods. The Hague, W. Junk N. V. Publishers, 1971. P 343-391.