

APLICAÇÃO DO ÍNDICE PLASTOCRÔNICO À ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO  
DAS FOLHAS DE *CURATELLA AMERICANA* L. (DILLENIACEAE) EM  
CONDIÇÕES NATURAIS (1)

APPLICATION OF THE PLASTOCHRON INDEX TO THE ANALYSIS OF LEAF  
DEVELOPMENT IN *CURATELLA AMERICANA* L. (DILLENIACEAE)  
UNDER NATURAL CONDITIONS (1)

Sérgio Teixeira-da-Silva (2)

RESUMO

A necessidade de tomar folhas de *Curatella americana* L. e de reuní-las em amostras uniformes para futuros estudos de incorporação de ácido silícico, em condições de campo, despertou interesse em estimar a idade de cada uma segundo o grau de desenvolvimento atingido no instante da coleta. Com este objetivo, tentou-se a aplicação do índice plastocrônico que é a adaptação da função exponencial ao conceito de plastocrono. Vários ramos foram coletados e considerados como sendo diferentes estágios de desenvolvimento atingidos por um único ramo. A área foi escolhida como parâmetro de desenvolvimento e o estágio de referência fixado em 10 cm<sup>2</sup>. Segundo a descrição original do método, o índice plastocrônico (P. I.) dos ramos que possuíam, no ápice, pelo menos uma folha igual ou menor do que 10 cm<sup>2</sup>, foi calculado por interpolação. Para os ramos que não possuíam folhas apicais iguais ou menores do que 10 cm<sup>2</sup>, deduziu-se uma fórmula de cálculo por extrapolação. O índice plastocrônico de cada folha (L.P.I.) também foi calculado. O método do índice plastocrônico permitiu agrupar, em uma única coleta, folhas de idade comparável, sem necessidade de se realizar medidas de crescimento foliar em função do tempo. Além disso, o comprimento, a área e o peso seco, lançados contra o L.P.I., originaram curvas de crescimento em função da idade relativa das folhas. Verificou-se, também, que cada folha atinge concomitantemente as dimensões máximas daqueles parâmetros.

SUMMARY

The need to take leaves of *Curatella americana* L. and of assembling them in uniform samples for future studies concerning incorporation of silicic acid under field conditions, suggested an estimate of their ages as they are found on the shoot at the time of collection. For this purpose, an attempt to apply the plastochron index, which is an adaptation of the exponential function to the concept of plastochron, was made. A lot of shoots from different plants were collected and considered to be different developmental stages reached by only one branch during a certain time. The leaf area was chosen as a developmental parameter and a reference stage of 10 cm<sup>2</sup> was fixed. According to the

(1) Parte do trabalho apresentado ao Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Botânica.

(2) Dep. de Botânica - Inst. de Biociências - Univ. de São Paulo. C P 11461, 05421 - São Paulo.

original description of the method, the plastochron index (P.I.) of shoots, bearing a leaf equal or smaller than the reference stage on the apex, was calculated through an interpolation formula. For the determination of the plastochron index of shoots without apical leaves of the required size (equal or smaller than the reference stage), an extrapolation formula was deduced. The plastochron index of each leaf (L.P.I.) was calculated too. The leaves were grouped in classes one L.P.I. long. In this way, the plastochron index method allowed the assembling of leaves at comparable developmental degrees, in a single collection without the need to relate their growth to the time involved. The leaf area, length and dry weight growth curves were obtained in function of the relative age, rendering possible the comparison between the increase of those parameters. It was observed that upper area, length and dry weight values are attained simultaneously by the leaves.

## INTRODUÇÃO

A apreciação de um fenômeno biológico exige, de modo geral, que se tomem amostras uniformes para o devido tratamento estatístico, a fim de que se obtenham resultados reprodutíveis. Um dos pontos críticos da amostragem é a escolha de indivíduos quantitativamente comparáveis e, na eleição de um referencial adequado é que reside a maior dificuldade. No que diz respeito a fenômenos de desenvolvimento, a construção de modelos matemáticos, que os representem, pode, além de fornecer aqueles subsídios, propiciar a interpretação quantitativa dos processos direta ou indiretamente a eles relacionados.

Whaley (1961) trata do crescimento, nas plantas, como um processo geral e faz uma revisão, historiando os progressos da metodologia. Richards (1969) faz uma análise dos problemas gerais de crescimento, do ponto de vista quantitativo, discutindo individual e extensivamente as funções mais notáveis.

Um dos modelos mais utilizados, até hoje, é a função exponencial. Blackman (1919) comparou o progressivo aumento do peso seco das plantas, durante o desenvolvimento, ao acúmulo de capital aplicado a juros compostos e expressou-o através da função  $W_1 = W_0 e^{rt}$ , onde  $W_0$  é o peso seco inicial,  $W_1$  é o peso seco final,  $r$  é a razão do incremento,  $t$  é o tempo, e cuja forma logarítmica é linear.

Nem sempre, porém, é possível ou cômodo usar o tempo como variável na quantificação dos fenômenos de desenvolvimento. Nesses casos, outros recursos tem sido utilizados. Pearsall (1927) estudando crescimento diferencial em várias espécies, encontrou correlações alométricas entre as medidas de diferentes órgãos. Este modelo, preconizado mais tarde por Huxley (1932, in Thompson, 1952), independente do tempo, permite estabelecer correlações de crescimento através da ajustagem da função alométrica  $y = b x^k$ , cuja forma linear é  $\log y = \log b + k \log x$ , e onde  $x$  e  $y$  são variáveis que representam os parâmetros implicados.

A periodicidade de organização das plantas pode oferecer outro recurso para referir o desenvolvimento indiretamente ao tempo. Askenasy (1880, in Erickson & Michellini, 1957) designou por plastocrono (*plastochron*) o intervalo de tempo decorrido entre a formação de duas células internodais sucessivas em *Nitella flexilis*. Este conceito generalizou-se para todas as plantas de organização nodal e foi amplamente utilizado na definição de estágios do desenvolvimento de ápices vegetativos.

Argumentando que referir os dados experimentais à idade cronológica das plantas pode ser de pequeno valor, porque a variabilidade dos resultados pode ser muito grande,

a menos que se trabalhe com espécimes geneticamente uniformes submetidos a condições rigorosamente controladas, Erickson & Michelini (1957) propuseram a utilização de um índice numérico do estado de desenvolvimento morfológico, que pudesse ser indiretamente relacionado com o tempo. Assim, tendo observado que a curva de crescimento das folhas de *Xanthium italicum*, em comprimento, era exponencial durante a fase de plena expansão e supondo que a duração dos plastocronos sucessivos era constante, definiram o índice plastocrônico (*plastochron index*), que permite determinar o grau de desenvolvimento morfológico de uma planta no curso de uma escala contínua de idade relativa.

Santos & Teixeira-da-Silva (1972) derivaram um índice semelhante adaptando a expressão de von Bertalanffy (cf. Santos, 1968) ao conceito de plastocrono e calcularam diretamente os valores numéricos representativos do estado de desenvolvimento morfológico das sucessivas folhas presentes em ramos de *Curatella americana* L. num dado instante. Com esses valores, construíram a curva de crescimento do comprimento em função da idade relativa das folhas.

*Curatella americana* L. é uma espécie arbórea pertencente à família *Dilleniaceae*, de distribuição geográfica neotropical com limite Norte situado no México (Melchior, 1964) e limite Sul na parte setentrional do Estado de São Paulo, Brasil (Eichler, 1841-1872), ocorrendo em formações vegetais do tipo savana (Record & Hess, 1949); no Brasil faz parte da vegetação típica dos cerrados (Warming, 1973; Rizzini, 1963; Magalhães, 1966). Possui vários nomes populares e, no Brasil, é mais conhecida por *lixeira do cerrado* (Hoehne, 1939), *lixeira* e *sambaiba* (Pio Corrêa, 1926; Record & Hess, 1949; Mainieri, 1958). As folhas possuem elevado teor de ácido silícico que lhes confere caráter muito áspero (Pio Corrêa, 1926; Hoehne, 1939; Record & Hess, 1949; Melchior, 1964). Ensaio recentes, realizados pelo autor, demonstraram haver intensa deposição de sílica amorfa na epiderme e seus anexos. O aspecto geral de uma planta adulta está mostrado nas figuras 1 e 2.

O objetivo deste trabalho é quantificar o desenvolvimento das folhas de *Curatella americana* L. a fim de obter amostras comparáveis para a análise do seu conteúdo em sílica. A planta cresce em condições naturais e sofre, portanto, a ação simultânea dos fatores do meio. Além disso, não é cômodo medir o crescimento de todas as folhas necessárias, em função do tempo, para depois agrupá-las uniformemente. O emprego de um índice numérico, independente do tempo, evitaria esses inconvenientes e tornaria possível obter, numa única coleta, folhas de todas as idades. O método de Santos & Teixeira-da-Silva (1972), embora permita atingir esse objetivo, apresenta, por sua vez, inconvenientes que serão discutidos posteriormente.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Coleta e preparação do material*

Uma única coleta foi realizada, em novembro de 1970, na reserva de cerrado da Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, Estado de Minas Gerais, Brasil, de plantas nativas em plena fase de brotamento dos ramos novos. Um exemplar do material foi depositado no herbário do Departamento de Botânica do Instituto de Bio-

ciências da Universidade de São Paulo (s/nº, leg. S.T. Silva – 001).

Foram escolhidas dez árvores adultas e, de cada uma, coletados de seis a dez ramos vegetativos recentes. Estes foram acondicionados em sacos plásticos para reduzir a perda de água que pode causar alterações nas dimensões das folhas (Evans, 1972). Imediatamente após a coleta, as folhas foram sucessivamente destacadas, numeradas na ordem de inserção, da base para o ápice do respectivo ramo, seus moldes obtidos sobre papel heliográfico (Ashby, 1948; Labouriau et al., 1961) e colocadas em envelopes. Cada envelope e cada cópia heliográfica receberam o número da folha correspondente. Os envelopes contendo as folhas foram prensados, postos para secar em estufa de herborização e, após serem retirados da prensa, foram guardados em uma lata fechada.

Posteriormente, os envelopes foram abertos, colocados em estufa de secagem a 80°C por 24 h e esfriados em dessecador por 1 h, procedendo-se a seguir à determinação do peso seco de cada folha em balança Mettler, até 0,0001 g. Através das cópias heliográficas determinou-se a área de cada folha, por meio de um planímetro polar (Ashby, 1948; Evans, 1972), fazendo-se a média de duas leituras com precisão de 0,05 cm<sup>2</sup>; o seu comprimento foi medido por meio de uma régua milimetrada, com precisão de 0,05 cm.

#### *Utilização do plastocrono como índice de desenvolvimento*

O método empregado para estimar a idade relativa dos ramos de *Curatella americana* L. baseou-se na aplicação do índice plastocrônico (*plastochron index* – P.I.) de Erickson & Michelini (1957), adotando-se as convenções originais.

Tendo em vista o propósito de, no futuro, aplicar os resultados deste trabalho à dosagem da sílica que reveste inteiramente a epiderme, a área foliar, *S*, foi o parâmetro eleito para as medidas de crescimento. O valor de 10 cm<sup>2</sup> foi escolhido como estágio morfológico de referência, porque, além de oferecer facilidades de cálculo, é uma medida abrangida pelas folhas da maioria dos ramos selecionados.

Assim, quando a folha  $N = n$  de um ramo tiver exatamente 10 cm<sup>2</sup>, este terá *n* plastocronos, isto é, seu índice plastocrônico será *n*:

$$P. I. = n \quad (1)$$

#### *Cálculo da idade relativa dos ramos por interpolação*

A dedução da fórmula de cálculo para a interpolação foi feita por análise gráfica de uma curva hipotética, como mostra a figura 3, que representa um ramo cuja folha  $N = n$  possui área maior e a folha  $N = n + 1$  área menor do que a área de referência. A curva intercepta o logaritmo deste valor no ponto *C* e, portanto, a idade do ramo em plastocronos é

$$P. I. = n + \frac{AC}{AD} \quad (2)$$

Por outro lado, os triângulos retângulos  $ABC$  e  $DEC$  são semelhantes, sendo válidas as relações:

$$\frac{AC}{AD} = \frac{AB}{AB + DE} = \frac{AB}{EF} = \frac{\log S(n) - \log 10}{\log S(n) - \log S(n+1)}$$

Assim, substituindo em (2), a idade relativa do ramo pode ser determinada pela fórmula:

$$P. I. = n + \frac{\log S(n) - \log 10}{\log S(n) - \log S(n+1)} \quad (3)$$

#### *Cálculo da idade relativa dos ramos por extrapolação*

O índice plastocrônico dos ramos que não continham, no ápice, nenhuma folha de área igual ou menor do que  $10 \text{ cm}^2$ , foi determinado por extrapolação linear. Novamente, a dedução da fórmula de cálculo para a extrapolação foi feita através da análise gráfica de uma curva hipotética, como mostra a figura 4, que representa um ramo cuja folha  $N = n$ , a mais apical, possui área maior do que a área de referência. Supondo que o ramo possuísse também uma folha  $N = n + 1$ , como no caso anterior, o prolongamento da curva interceptaria o logaritmo da área de referência no ponto  $C$ . Do mesmo modo, a idade do ramo, em plasrocronos, é

$$P. I. = n + \frac{AC}{AF} \quad (4)$$

Sendo os triângulos retângulos  $ABC$  e  $EBD$  semelhantes, são válidas as relações:

$$\frac{AC}{AF} = \frac{AC}{DE} = \frac{AB}{BE} = \frac{\log S(n) - \log 10}{\log S(n-1) - \log S(n)}$$

Substituindo em (4), chega-se à fórmula para calcular a idade relativa do ramo:

$$P. I. = n + \frac{\log S(n) - \log 10}{\log S(n-1) - \log S(n)} \quad (5)$$

que é análoga à (3).

### Cálculo da idade relativa das folhas

Para calcular a idade relativa das folhas, também foi seguido o método de Erickson & Michelini (1957). Convencionalmente, o índice plastocrônico de uma folha (*leaf plastochron index* – L.P.I.) é obtido subtraindo o seu número ordinal  $N$ , da idade relativa do ramo a que pertence:

$$\text{L.P.I.}(N) = \text{P.I.} - N \quad (6)$$

onde  $N = n - m, \dots, n - 2, n, n + 1, n + 2, \dots, n + m$

### Cálculo da razão plastocrônica relativa de crescimento

A razão plastocrônica relativa,  $p$ , de cada ramo, foi determinada a partir da área das folhas utilizadas para o cálculo do índice plastocrônico, de acordo com Erickson & Michelini (1957). Para os ramos cujo P.I. foi calculado por interpolação

$$p = \frac{\log S_{(n)} - \log S_{(n+1)}}{\log e} \quad (7)$$

e para os ramos cujo P. I. foi calculado por extrapolação

$$p = \frac{\text{Log } S_{(n-1)} - \log S_{(n)}}{\log e} \quad (8)$$

A razão plastocrônica relativa média de crescimento do conjunto de folhas em área, comprimento e peso seco, foi determinada por regressão linear.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

Lançando-se em gráfico o logaritmo da área em função do número das folhas de cada ramo, obteve-se uma família de curvas cujas porções inferiores são aproximadamente retilíneas e paralelas, como aquelas encontradas por Erickson & Michelini (1957) para uma só planta. As curvas podem ser, portanto, consideradas como sendo aspectos morfológicos de um só ramo, em diferentes instantes.

Demarcando-se o valor do logaritmo de  $10 \text{ cm}^2$  por uma paralela ao eixo das abcissas, pôde-se separar graficamente os ramos em dois grupos: os que continham pelo menos uma folha de área menor do que  $10 \text{ cm}^2$  e os que não continham nenhuma folha de área igual ou menor do que  $10 \text{ cm}^2$  no ápice. As figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, uma parte das curvas que representam esses ramos.

A idade relativa dos ramos e das folhas de *Curatella americana* L., em plastocronos, bem como as razões plastocrônicas relativas dos ramos, acham-se reunidos na tabela I.

TABELA I – Índice plastocrônico dos ramos (P.I.), razão plastocrônica relativa (p) e índice plastocrônico das respectivas folhas (L. P. I.) utilizados na análise do desenvolvimento de ramos novos em *Curatella americana* L.  
 TABLE I – Plastochron index (P. I.), relative plastochron rate (p) and leaf plastochron index (L.P.I.) used for the developmental analysis of young shoots in *Curatella americana* L..

P. I.	L. P. I.												P	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
4,26	3,26	2,26	1,26	0,26	-0,74									2,304
4,35	3,35	2,35	1,35	0,35	-0,65									4,318
4,41	3,41	2,41	1,41	0,41	-0,59									1,710
4,50	3,50	2,50	1,50	0,50	-0,50									3,459
4,70	3,70	2,70	1,70	0,70	-0,30									1,202
4,75	3,75	2,75	1,75	0,75	-0,25									1,619
4,81	3,81	2,81	1,81	0,81	-0,19									2,306
4,82	3,82	2,82	1,82	0,82	-0,18	-1,18								2,750
4,92	3,92	2,92	1,92	0,92	-0,08									2,246
4,95	3,95	2,95	1,95	0,95	-0,05									1,608
4,96	3,96	2,96	1,96	0,96	-0,04									1,602
5,23	4,23	3,23	2,23	1,23	0,23									0,986
5,29	---	---	2,29	1,29	0,29	-0,71								1,528
5,35	4,35	3,35	2,35	1,35	0,35	-0,65								1,691
5,38	4,38	3,38	2,38	1,38	0,38	-0,62								2,234
5,42	4,42	3,42	2,42	1,42	0,42	-0,58								1,850
5,47	4,47	3,47	2,47	1,47	0,47	-0,53								3,824
5,50	4,50	3,50	2,50	1,50	0,50	-0,50								2,261
5,54	4,54	3,54	2,54	1,54	0,54	-0,46								2,666
5,54	4,54	3,54	2,54	1,54	0,54	-0,46								1,332
5,58	4,58	3,58	2,58	1,58	0,58	-0,42								1,436
5,67	4,67	3,67	2,67	1,67	0,67	-0,33								1,826
5,69	4,69	3,69	2,69	1,69	0,69	-0,31								1,840
5,74	4,74	3,74	2,74	1,74	0,74									1,147
5,74	4,74	3,74	2,74	1,74	0,74									1,224
5,78	4,78	3,78	2,78	1,78	0,78	-0,22								1,658
5,79	4,79	3,79	2,79	1,79	0,79	-0,21								1,811
5,90	4,90	3,90	2,90	1,90	0,90	-0,10	-1,10							1,454
5,95	4,95	3,95	2,95	1,95	0,95	-0,05								1,933
6,22	5,22	4,22	3,22	2,22	1,22	0,22	-0,78							1,541
6,38	5,38	4,38	3,38	2,38	1,38	0,38								1,658
6,42	5,42	4,42	3,42	2,42	1,42	0,42								1,396
6,60	5,60	4,60	3,60	2,60	1,60	0,60	-0,40							1,469
6,71	5,71	4,71	3,71	2,71	1,71	0,71	-0,29							2,386
6,75	5,75	4,75	3,75	2,75	1,75	0,75	-0,25							3,132
6,83	5,83	4,83	---	2,83	1,83	0,83	-0,17							1,694
6,88	5,88	4,88	3,88	2,88	1,88	0,88	-0,12	-1,12						1,176
6,92	5,92	4,92	3,92	2,92	1,92	0,92	-0,08	-1,08						1,525
6,95	5,95	4,95	3,95	2,95	1,95	0,95	-0,05							1,552
7,31	6,31	5,31	4,31	3,31	2,31	1,31	0,31							1,387
7,32	6,32	5,32	4,32	3,32	2,32	1,32	0,32							1,440
7,35	6,35	5,35	4,35	3,35	2,35	1,35	0,35	-0,65						3,477
7,44	6,44	5,44	4,44	3,44	2,44	1,44	0,44							1,377
7,44	6,44	5,44	4,44	3,44	2,44	1,44	0,44	-0,56	-1,56					2,874
7,73	6,73	5,73	4,73	3,73	2,73	1,73	0,73							1,085
7,85	6,85	---	4,85	3,85	2,85	1,85	0,85	-0,15						1,199
7,93	6,93	5,93	4,93	3,93	2,93	1,93	0,93	-0,07						1,214
8,09	7,09	6,09	5,09	4,09	3,09	2,09	1,09	0,09						1,759
8,17	7,17	6,17	5,17	4,17	3,17	2,17	1,17	0,17	-0,83	-1,83				1,490
8,18	7,18	6,18	5,18	4,18	3,18	2,18	1,18	0,18	-0,82					1,641
8,37	7,37	6,37	5,37	4,37	3,37	2,37	1,37	0,37	-0,63					1,996
8,38	7,38	6,38	5,38	4,38	3,38	2,38	1,38	0,38	-0,62					4,049
8,47	---	6,47	5,47	4,47	3,47	2,47	1,47	0,47						1,398
8,60	7,60	6,60	5,60	4,60	3,60	2,60	1,60	0,60						1,281
8,77	7,77	6,77	5,77	---	3,77	2,77	1,77	0,77						1,183
8,85	7,85	6,85	5,85	4,85	3,85	2,85	1,85	0,85	-0,15	-1,15				1,187
8,92	---	6,92	---	---	3,92	2,92	1,92	0,92	-0,08					1,166
9,33	8,33	7,33	6,33	5,33	4,33	3,33	2,33	1,33	0,33	-0,67				2,841
9,59	8,59	7,59	6,59	5,59	4,59	3,59	2,59	1,59	0,59	-0,41				1,044
10,02	9,02	8,02	7,02	6,02	---	4,02	3,02	2,02	1,02	0,02				1,617
10,20	9,20	8,20	7,20	6,20	5,20	4,20	3,20	2,20	1,20	0,20	-0,80			1,522
11,73	---	---	8,73	7,73	6,73	5,73	4,73	3,73	2,73	1,73	0,73	-0,27		0,837

$\bar{p} = 1,845 \pm 0,013$  (E. P.)

OBS. 1 – Os valores de P. I. grifados foram obtidos por extrapolação. 2 – As lacunas correspondem a folhas eliminadas por apresentarem defeitos.

Lançando-se os logaritmos das áreas das folhas em função da idade relativa dos respectivos ramos (P. I.) e traçando-se as curvas médias entre os pontos correspondentes às folhas de mesmo número de ordem, construiu-se o gráfico mostrado na figura 7; as curvas de ordem inferior a 5 foram omitidas porque não cruzavam a linha de referência. Esse gráfico pode representar o desenvolvimento de um ramo em função de sua idade morfológica e cada curva pode ser considerada como sendo a curva de crescimento de uma folha. As porções inferiores das curvas são retilíneas, o que significa que o crescimento é exponencial nesse trecho, e paralelas, indicando que a razão relativa de crescimento é constante para todas as folhas. O espaçamento regular das curvas, ao longo da linha de referência, decorre do fato de se utilizar o plastocrono como unidade na escala horizontal e não significa que as folhas surgem a intervalos regulares de tempo. Note-se que, levantando uma perpendicular por um determinado valor de P.I., ela interceptará um certo número de curvas, indicando quantas folhas o ramo possui e suas respectivas áreas, até aquela idade morfológica.

Os logaritmos das áreas das folhas de mesmo número de ordem foram lançados em função de sua idade relativa (L.P.I.), obtendo-se os gráficos reunidos na figura 8. No gráfico correspondente à folha 1, a mais basal e, portanto, mais antiga de cada ramo, nota-se grande dispersão dos pontos. Nos gráficos correspondentes às folhas seguintes, a dispersão é visivelmente reduzida e os pontos já apresentam uma tendência de disposição que fica bem caracterizada a partir da folha 5. Estes fatos levam a concluir que a primeira folha a surgir em um ramo, geralmente, não obedece ao mesmo padrão de desenvolvimento das demais, podendo, assim, apresentar dimensões bem menores do que a seguinte. O fenômeno, embora de forma menos acentuada, pode ocorrer também com as folhas de ordem imediatamente superior. Esta variação do comportamento das folhas basais pode ser verificada através da figura 9, onde dois ramos estão representados pelas áreas foliares. No ramo A, a folha 1 possui área ligeiramente menor do que a da folha 2, embora seja maior em comprimento, de modo que o ramo tem, praticamente, um desenvolvimento uniforme. No ramo B, a folha 1 apresenta dimensões menores do que as cinco seguintes e a folha 2 apresenta-se menor do que as duas seguintes; a partir da folha 3 o desenvolvimento é normal.

Ainda pelo exame da figura 8, verifica-se que os pontos, nos diversos gráficos, distribuem-se mais ou menos dentro da mesma faixa, sugerindo que todos podem pertencer a uma única curva. De fato, lançando-se os logaritmos das áreas de todas as folhas em função de suas idades relativas (L.P.I.), obtém-se um gráfico (figura 10) onde os pontos apresentam uma nítida tendência de disposição em torno de uma curva média; a dispersão dos pontos, acima da linha de referência, deve-se, principalmente, à folha de ordem 1. O estudo do desenvolvimento pode, porém, ser realizado tomando-se somente as folhas de mesmo número de ordem, como, por exemplo, as de número 5, desde que a faixa de idade relativa (L.P.I.) seja ampla.

Todas as folhas, discriminadas na tabela I, foram agrupadas em classes de idade relativa, calculando-se a área média das folhas de cada classe e os respectivos intervalos de confiança a 95%. Estes valores foram lançados em função dos pontos médios das classes, construindo-se a curva pelo método da regressão linear, como mostra a figura 11. Este gráfico representa a curva média de crescimento das folhas de *Curatella americana* L.. Como a amplitude de classe é de um plastocrono, pode-se afirmar que os pontos representam a área média das folhas de nós sucessivos. Pelos intervalos de confiança

conclui-se que, pelo menos as quatro primeiras a partir do ápice, são folhas jovens em crescimento e as restantes podem ser consideradas adultas em relação à área.

O gráfico do logaritmo do comprimento médio, em função do logaritmo da área média das folhas de cada classe de idade relativa (figura 12), indica que existe, entre as duas variáveis, uma correlação alométrica do tipo  $y = b x^k$ ; a curva foi ajustada por regressão linear, encontrando-se a equação  $y = 1,96 x^{0,44}$ , onde  $x$  é a área e  $y$  é o comprimento das folhas.

Também o peso seco médio foi lançado em função da área média das folhas de cada classe de idade relativa (figura 13), verificando-se existir uma correlação linear do tipo  $y = b + k x$  entre as duas grandezas; a curva foi ajustada por regressão linear obtendo-se a equação  $y = 0,01 x$ , onde  $x$  representa a área e  $y$  o peso seco das folhas.

Estas correlações permitem referir o comprimento e o peso seco aos estágios de desenvolvimento determinados a partir da área. Assim, os logaritmos das áreas, comprimentos e pesos secos médios (tabela II), foram lançados em função da idade relativa das folhas, obtendo-se, por regressão linear, as respectivas curvas (figura 14), através das quais se pode comparar os tres parâmetros. Pelos intervalos de confiança, conclui-se que uma folha atinge a maturidade em área, comprimento e peso seco, simultaneamente.

A razão plastocrônica relativa média de crescimento das folhas, em área (tabela II), é menor do que a média calculada para os ramos (tabela I), mas isto se deve ao fato de que, no primeiro caso, foi considerada a área média de todas as folhas de cada classe e, no segundo, a inclinação da curva é dada somente pela área das duas folhas utilizadas no cálculo da idade relativa.

TABELA II – Áreas, comprimentos e pesos secos médios de cada classe de idade relativa das folhas (L. P. I.) de *Curatella americana* L., com as respectivas razões plastocrônicas relativas (p).

TABLE II – Mean leaf areas, lengths and dry weights of each class of relative age (L. P. I.), from *Curatella americana* L., and the corresponding relative plastochron rates (p).

Idade relativa (L. P. I.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Comprimento (cm)	Peso seco (g)
(- 2, 0) ← (- 1, 0)	1, 43	2, 26	0, 0176
(- 1, 0) ← 0, 0	5, 28	4, 08	0, 0511
0, 0 ← 1, 0	32, 13	9, 42	0, 2782
1, 0 ← 2, 0	68, 12	13, 22	0, 5965
2, 0 ← 3, 0	90, 33	14, 74	0, 8235
3, 0 ← 4, 0	95, 54	14, 56	0, 8870
4, 0 ← 5, 0	95, 52	14, 21	0, 8804
5, 0 ← 6, 0	91, 23	14, 04	0, 8641
6, 0 ← 7, 0	96, 38	14, 24	0, 9221
7, 0 ← 8, 0	74, 17	11, 87	0, 7153
8, 0 ← 9, 0	84, 59	12, 97	0, 8469
p	1,341	0, 614	1, 227

## DISCUSSÃO

A preocupação de estabelecer um referencial para os dados experimentais tem levado alguns autores a fixar uma posição filotáxica como artifício para uniformizar as amostras de folhas, quando a determinação da idade cronológica destas é dificultada. Este recurso é desaconselhável, quando o desenvolvimento das gemas é rápido e o crescimento descontínuo, porque folhas maduras e senescentes podem ser confundidas, sejam elas tomadas de indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes. Por exemplo, analisando a composição química de várias espécies arbóreas da vegetação do cerrado, Gottlieb et al. (1966) coletaram as quartas folhas a partir da gema apical, mas não verificaram se correspondiam ao mesmo estágio de desenvolvimento em todas as plantas. Vickery et al. (1949) descrevem o "método do tamanho da folha" (*leaf size method*) pelo qual as folhas, de posição definida nas plantas de origem, são coletadas, separadas em classes de acordo com o tamanho e grau de desenvolvimento (?), e distribuídas ao acaso, mas equitativamente, por um certo número de amostras. Também neste caso, ficariam misturadas folhas de diversos estágios de desenvolvimento em cada amostra. Por outro lado, o uso de um referencial cronológico do desenvolvimento também pode levar a grande variabilidade dos resultados (Erickson & Michelini, 1957).

Santos & Teixeira-da-Silva (1972), partindo do conceito de plastocrono, aplicaram teoricamente a equação de von Bertalanffy e estimaram a idade relativa das folhas de *Curatella americana* L., em *rau* (*relative age unit*). O cálculo da idade relativa em *rau* é derivado das medidas sucessivas de todas as folhas em desenvolvimento e o índice platocrônico é definido em relação a uma folha jovem apenas. Ambos os métodos parecem ser igualmente válidos, mas nenhum dos dois foi testado com dados experimentais obtidos em função do tempo, para *Curatella americana* L.. Contudo, o emprego da expressão adaptada de von Bertalanffy, embora apresente as vantagens apontadas no trabalho de Santos & Teixeira-da-Silva (1972), tem o inconveniente de exigir uma série regular de folhas, com relação aos seus parâmetros, bastando que somente uma tenha tamanho igual ou menor do que sua vizinha mais nova para que o método não possa ser aplicado ao respectivo ramo, a menos que aquela seja eliminada. Outro inconveniente é que, dada a conformação da curva obtida, torna-se difícil delimitar as fases notáveis do crescimento das folhas.

O índice platocrônico, deduzido por Erickson & Michelini (1957) e aplicado em vários estudos de desenvolvimento como os de Michelini (1958), Maksymowych (1959), Maksymowych & Erickson (1960), Dickmann (1971), Larson & Isenbrands (1971) e Turgeon & Webb (1973), estabelece que, para a mesma planta, as folhas devem apresentar crescimento exponencial, as razões relativas de crescimento devem ser iguais e os plastocronos sucessivos devem ter a mesma duração. Satisfeitas essas condições, as curvas construídas a partir do logaritmo do comprimento em função do número de ordem das folhas serão, também, retilíneas e paralelas, porém, só serão igualmente espaçadas ao longo do eixo das abcissas se as medidas forem tomadas a intervalos regulares de tempo.

Considerando que as folhas de um ramo representam estágios da mesma curva de crescimento e supondo que todos os ramos de uma coleção obedeciam a um padrão normal de desenvolvimento, foi possível verificar a validade de aplicação do método sem

necessidade de tomar medidas periódicas.

De fato, as curvas obtidas pelos logaritmos das áreas em função do número de ordem das folhas de cada ramo de *Curatella americana* L. (figuras 5 e 6) são retilíneas e paralelas, satisfazendo as condições impostas acima, mas não são igualmente espaçadas porque os ramos surgiram a intervalos de tempo irregulares.

Erickson & Michelini (1957) demonstraram que o P.I. pode ser transformado numa função linear do tempo, mas no caso de *Curatella americana* L. é impossível estimar as constantes dessa função porque nenhuma medida cronológica do crescimento das folhas foi realizada. Por isso, a idade relativa calculada para ramos e folhas seria mais adequadamente designada por *índice nodal*, já que a interpolação e extrapolação foram feitas a partir de uma escala numérica discreta, que representa a sucessão dos nós em um ramo. Não obstante, seu significado é o mesmo do índice plastocrônico.

Os mesmos autores recomendam que vários plantios sejam realizados periodicamente a fim de se obter, em cada coleta, um grande número de estágios de desenvolvimento das plantas, reduzindo os efeitos da variação do ambiente. O trabalho realizado com *Curatella americana* L. corresponde a este procedimento, pois cada ramo coletado representa um estágio diferente de desenvolvimento.

Um parâmetro foliar qualquer pode servir para a determinação do índice plastocrônico e todos os outros serão referidos aos estágios morfológicos assim definidos. Se o índice plastocrônico for determinado independentemente a partir de vários parâmetros, estes não poderão ser comparados, a menos que os respectivos estágios de referência se correspondam exatamente.

Como os parâmetros foliares apresentam valores particulares e variam de forma diversa para cada espécie, é de valor limitado utilizar o índice plastocrônico para comparar espécies distintas, pois não há meios de se estabelecer correspondência entre os estágios de referência. Contudo, podem ser comparadas no que diz respeito aos fatos notáveis do desenvolvimento, quais sejam a razão plastocrônica relativa, a grande fase de crescimento e a maturação.

Em espécies de crescimento descontínuo, isto é, de desenvolvimento sazonal bem definido, podem surgir dificuldades de aplicação do método. Em primeiro lugar, porque no período de inatividade faltam folhas de estágios juvenis e as que permanecem são adultas ou senescentes. Em segundo, porque, chegada a estação favorável, vários primórdios foliares, que podem estar já formados nas gemas, se expandem simultaneamente, sendo ou não seguidos pela formação de outros (Erickson & Michelini, 1957) e dando origem a folhas basais de desenvolvimento peculiar. Em *Curatella americana* L. este fenômeno não é crítico, podendo-se resolver o problema eliminando da amostra as folhas basais que apresentem esse comportamento.

A floração da espécie também pode ser um obstáculo para a determinação do índice plastocrônico, já que, via de regra, modifica o padrão de desenvolvimento vegetativo da planta. A dificuldade poderá ser contornada quando for possível impedir a indução floral ou quando os ramos floríferos e vegetativos forem distintos.

Os resultados da abordagem do problema de desenvolvimento das folhas de *Curtella americana* L., através do índice plastocrônico, sugerem que o método poderá ser aplicado a ramos de qualquer espécie para obter, em uma única coleta, folhas de idade morfológica comparável, sem necessidade de considerar o fator tempo como variável.

#### AGRADECIMENTOS

Dedico especiais agradecimentos ao Dr. Luiz Fernando Gouvêa Labouriau, que, indiretamente, levou-me à idéia de realizar o presente estudo. Agradeço ao Dr. Walter Handro, como orientador deste trabalho, e ao Dr. Kurt Günther Hell, que o substituiu temporariamente; ao Dr. Edison Pereira dos Santos, pelas valiosas sugestões técnicas. Agradeço, ainda, ao Engenheiro Agrônomo Inael Máximo da Silva, Diretor da Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG, por colocar à minha disposição o Horto Florestal, e ao Sr. Enéas Fernandes da Silva, pelo auxílio prestado no trabalho de campo. Finalmente, a todos aqueles que, de forma anônima, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu reconhecimento.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- ASHBY, E. - 1948 - Studies in the morphogenesis of leaves. II. The area, cell size and cell number of leaves of *Ipomoea* in relation to their position on the shoot. *New Phytol.* 47: 177-195.
- BLACKMAN, V.H. - 1919 - The compound interest law and plant growth. *Ann. Bot.* 33: 353-360.
- DICKMANN, D.I. - 1971 - Chlorophyll, ribulose - 1,5 - diphosphate carboxylase, and Hill reaction activity in developing leaves of *Populus deltoides*. *Pl. Physiol.* 48: 143-145.
- EICHLER, A.G. - 1841 - 1872 - Dilleniaceae. p. 65 - 120 + 13 pl. *In: MARTIUS, C.F.P. de & EICHLER, A. G., eds. - Flora Brasiliensis. Monaco. v. XIII (I), 654 p. + 128 pl.*
- ERICKSON, R.O. & MICHELINI, F.J. - 1957 - The plastochron index. *Am. J. Bot.* 44:297-305.
- EVANS, G.C. - 1972 - The quantitative analysis of plant growth. *In: ANDERSON, D.J.; GREIG-SMITH, P. & PITELKA, F.A., eds. - Studies in Ecology. University of California Press, Berkeley, Los Angeles. v.I, XXVIII + 734 p..*
- GOTTLIEB, O.R.; MEDITSCH, J. de O. & MAGALHÃES, M.T. - 1966 - Com vistas ao aproveitamento do cerrado como ambiente natural: Composição química de espécies arbóreas. *Anais Acad. bras. Cienc.* 38 (supl.): 303-314.
- HOEHNE, F.C. - 1939 - Plantas e substâncias vegetais tóxicas e medicinais. *Graphicars, São Paulo, Rio de Janeiro.* 355 p..
- LABOURIAU, L.G.; OLIVEIRA, J.G. de & SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1961 - Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Toledo. I - Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais, Brasil. *Anais Acad. bras. Cienc.* 33:237-258.
- LARSON, P.R. & ISEBRANDS, J.G. - 1971 - The plastochron index as applied to developmental studies of Cottonwood. *Canad. J. Forest Research* 1:1 - 11.
- MAGALHÃES, G.M. - 1966 - Sobre os cerrados de Minas Gerais. *Anais Acad. bras. Cienc.* 38 (supl.): 58 - 69.
- MAINIERI, C. - 1958 - Identificação das principais madeiras de comércio no Brasil. *Bolm. Inst. Pesq. Tecnol., S. Paulo* 46, 189 p..

- MAKSYMOWYCH, R. – 1959 – Quantitative analysis of leaf development in *Xanthium pensylvanicum*. Am. J. Bot. 46: 635 - 644.
- MAKSYMOWYCH, R. & ERICKSON, R.O. – 1960 – Development of the lamina in *Xanthium italicum* represented by the plastochron index. Am. J. Bot. 47: 451-459.
- MELCHIOR, H. – 1964 – Guttiferales. p. 156-175. In: MELCHIOR, H., ed. – A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Gebrüder Borntraeger, Berlin. v. II, 666 p..
- MICHELINI, F.J. – 1958 – The plastochron index in developmental studies of *Xanthium italicum* Moretti. Am. J. Bot. 45: 525-533.
- PEARSALL, W.H. – 1927 – Growth studies. VI – On the relative sizes of growing plant organs. Ann. Bot. 41: 549-556.
- PIO CORRÊA, M. – 1926 – Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro. v.I. XIII + 747 p..
- RECORD, S.J. & HESS, R.W. – 1949 – Timbers of the new world. 4<sup>th</sup> ed.. Yale University Press, New Haven. 640 p. + 63 pl..
- RICHARDS, F.J. – 1969 – The quantitative analysis of growth. p. 3 – 76. In: STEWARD, F.C., ed. – Plant Physiology, a treatise. Academic Press, New York, London, v. VA, XXXIV + 435 p..
- RIZZINI, C. T. – 1963 – A flora do cerrado. Análise florística das savanas centrais. p. 105-153. IN: FERRI, M.G., ed. – Simpósio sobre o cerrado. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 376 p..
- SANTOS, E.P. dos – 1968 – Estudo populacional do goete. *Cynoscion petranus* (Ribeiro, 1915). Bolm. Inst. Oceanogr. S. Paulo 17: 17 - 31.
- SANTOS, E.P. dos & TEIXEIRA-DA-SILVA, S. – 1972 – Curva de crescimento das folhas de *Curatella americana* L., em função da idade relativa. Revta. bras. Biol. 32: 113 - 115.
- THOMPSON, D'ARCY W. – 1952 – Growth and form. 2<sup>d</sup> ed. (repr.). University Press, Cambridge. v. I, 464 p.
- TURGUEON, R. & WEEB, J.A. – 1973 – Leaf development and phloem transport in *Cucurbita pepo*: transition from import to export. Planta 113: 179-191.
- VICKERY, H. B.; LEAVENWORTH, C.S. & BLISS, C.I. – 1949 – The problem of selecting uniform samples of leaves. Pl. Physiol. 24: 335-344.
- WARMING, E. – 1973 – Lagoa Santa e FERRI, M.G., A vegetação de cerrados brasileiros. Livraria Editora Itatiaia Ltda. e Editora da Universidade de São Paulo, Belo Horizonte e São Paulo. 386 p. ilust.
- WHALEY, W. G. – 1961 – Growth as a general process. p. 71 – 112. In: RUHLAND, W., ed. – Encyclopedia of Plant Physiology. Springer Verlag, Berlin. v. XIV, XXVI + 1357 p..

Fig. 1 – Aspecto de uma planta adulta de *Curatella americana* L. em condições de cerrado.

Fig. 2 – Aspecto dos ramos vegetativos da mesma planta.

Fig. 1 – Aspect one mature plant of *Curatella americana* L. under “cerrado” conditions.

Fig. 2 – Aspect of vegetative shoots from the same plant.

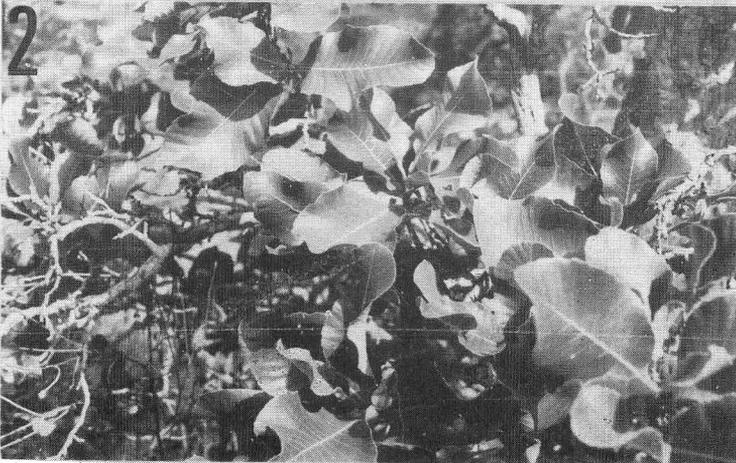


Fig. 3 – Representação esquemática da porção apical de um ramo através da qual foi deduzida, geometricamente, a fórmula de cálculo do P.I. por interpolação.

Fig. 4 – Representação esquemática da porção apical de um ramo utilizada para a dedução geométrica da fórmula de cálculo do P.I. por extrapolação.

Fig. 5 – Curvas do logaritmo da área em função do número de ordem das folhas nos respectivos ramos. As folhas foram numeradas da base para o ápice do ramo. Só estão representados ramos que possuem uma ou mais folhas com menos de 10 cm<sup>2</sup>.

Fig. 6 – Curvas do logaritmo da área em função do número de ordem das folhas nos respectivos ramos. As folhas foram numeradas da base para o ápice do ramo. Só estão representados ramos que não possuem folhas com menos de 10 cm<sup>2</sup>.

Fig. 7 – Curvas do logaritmo da área das folhas em função da idade relativa dos respectivos ramos. Cada curva é a média entre os pontos correspondentes às folhas de mesmo número de ordem.

Fig. 3 – Schematic representation of the apical portion of a shoot through which the formula of calculus for the P.I. by interpolation was deduced geometrically.

Fig. 4 – Schematic representation of the apical portion of a shoot through which the formula of calculus for the P.I. by extrapolation was deduced geometrically.

Fig. 5 – Leaf areas plotted logarithmically against the leaf numbers on the respective shoots. The leaves were numbered from base to apex of the shoot. Only shoots which bear one or more leaves with less than 10 cm<sup>2</sup> are represented.

Fig. 6 – Leaf areas plotted logarithmically against the leaf numbers on the respective shoots. The leaves were numbered from base to apex of the shoot. Only shoots which don't bear leaves with less than 10 cm<sup>2</sup> are represented.

Fig. 7 – Leaf areas plotted logarithmically against the relative ages of the respective shoots. Each curve is a rough-average of points belonging to the leaves of the same ordinal.

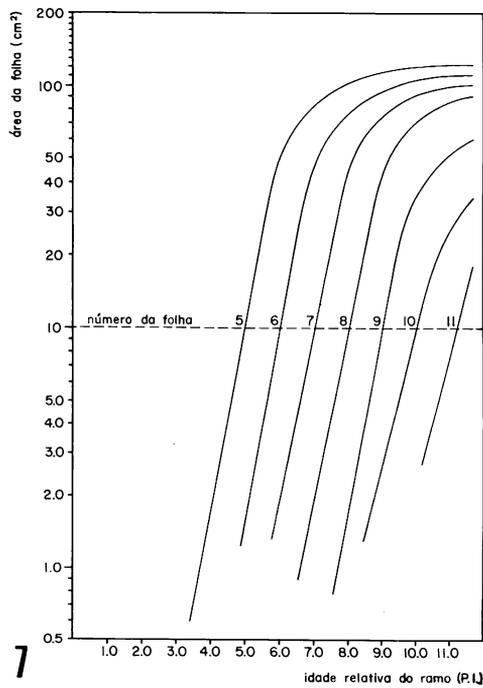
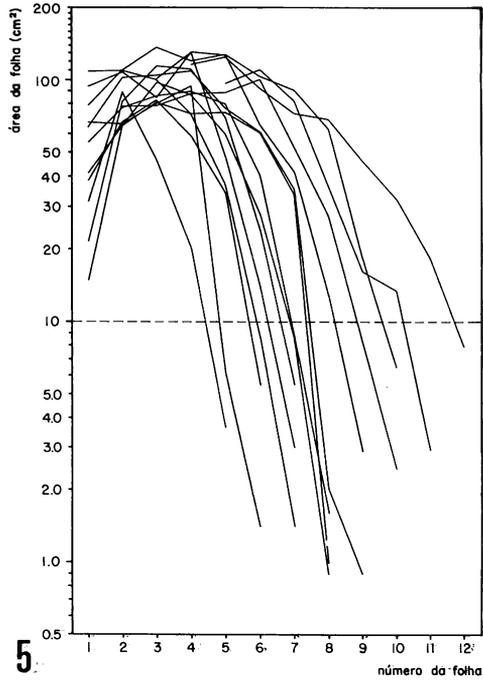
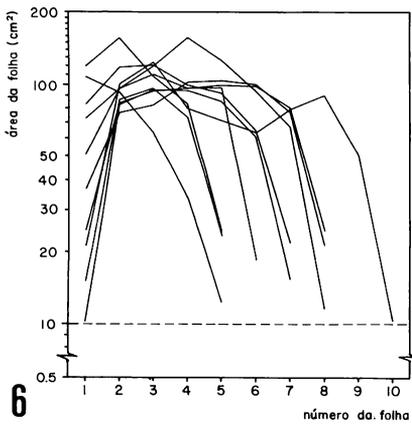
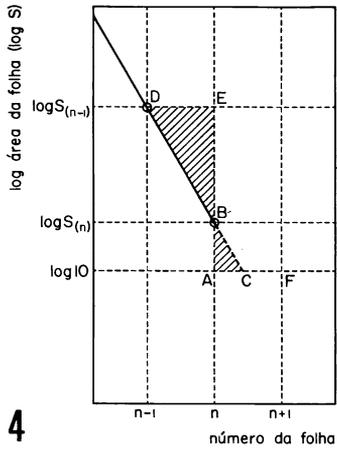
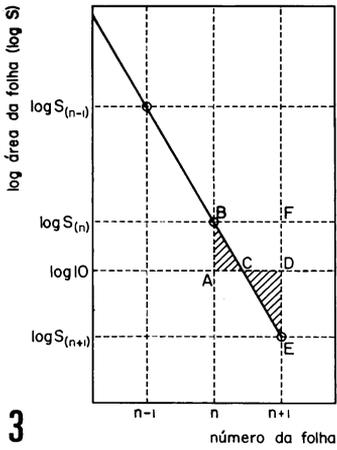
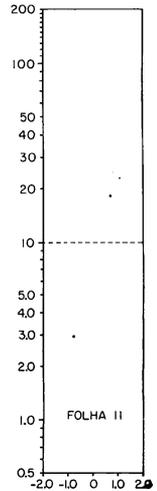
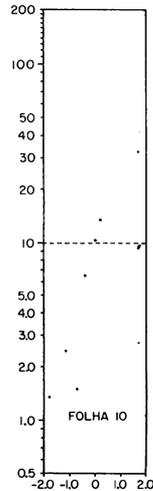
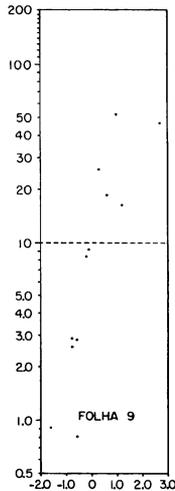
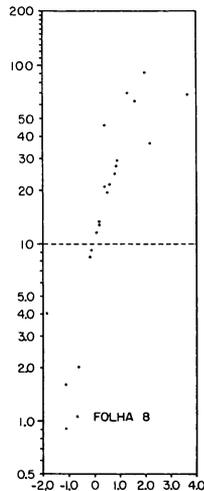
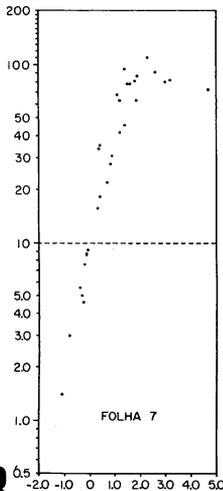
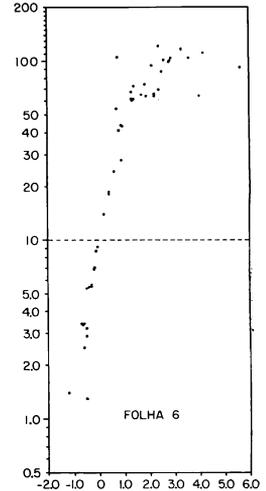
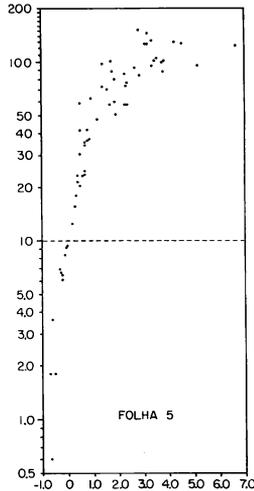
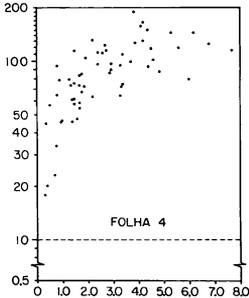
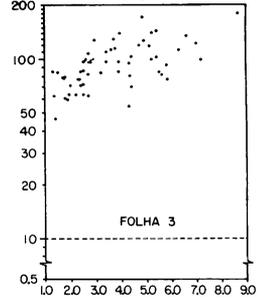
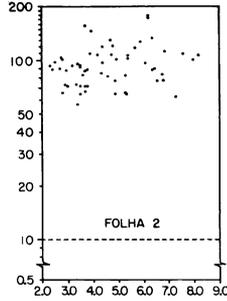
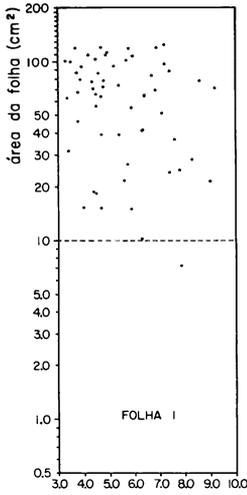


Fig. 8 – Gráficos do logaritmo da área das folhas que possuem mesmo número de ordem, em função de suas idades relativas.

Fig. 8 – Scatter diagrams of leaf areas plotted logarithmically against the relative age of leaves of same ordinal.

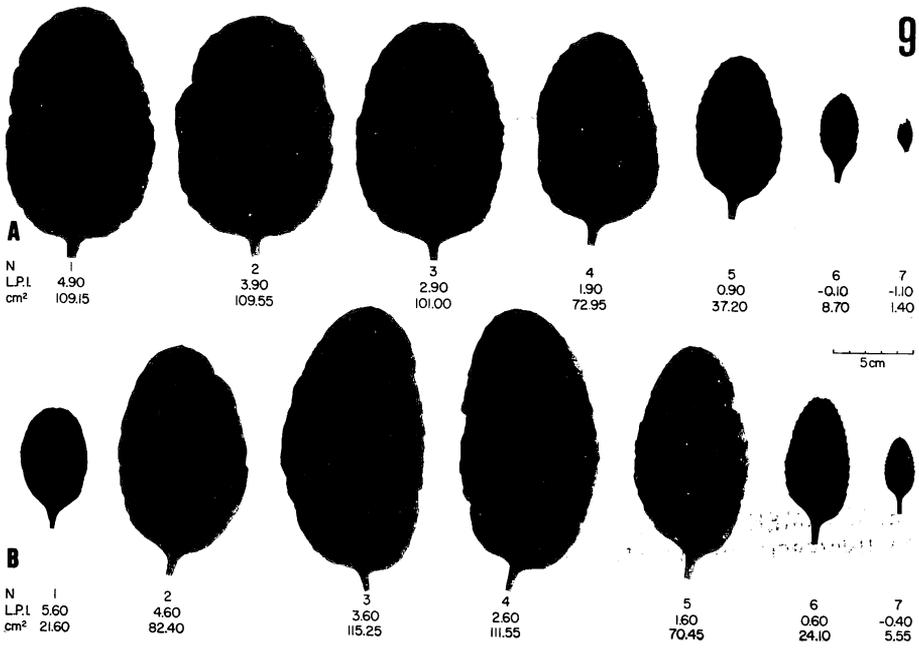


idade relativa da folha (L.P.I.)

**DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Fig. 9 – Representação das áreas das folhas de dois ramos. A – Ramo cujo desenvolvimento é considerado uniforme em toda a sua extensão. B – Ramo no qual as duas primeiras folhas, da base para o ápice, apresentam desenvolvimento discrepante.

Fig. 9 – A representation of leaf areas from two shoots. A – From a shoot whose development is considered uniform throughout the length. B – From a shoot whose two first basal leaves show a peculiar pattern of development.



- Fig. 10 – Gráfico do logaritmo das áreas de todas as folhas coletadas, em função de suas idades relativas.
- Fig. 11 – Curva logarítmica de crescimento da área em função da idade relativa das folhas. Todas as folhas foram agrupadas em classes de idade relativa com amplitude de um plastocrono. Os pontos representam a área média de cada classe.
- Fig. 12 – Curva do logaritmo do comprimento médio em função do logaritmo da área média de cada classe de idade relativa das folhas.
- Fig. 13 – Curva do peso seco médio em função da área média de cada classe de idade relativa das folhas.
- Fig. 14 – Curvas logarítmicas de crescimento das folhas em comprimento, área e peso seco. A idade relativa foi calculada através da área foliar.
- Fig. 10 – Scatter diagram of leaf areas from all the collected leaves plotted logarithmically against their relative ages.
- Fig. 11 – Logarithmic growth curve of leaf area in function of the relative age of leaves. All the leaves were grouped in classes of relative age and each class is one plastochron long. Each point represents the mean leaf area of the corresponding class.
- Fig. 12 – Mean leaf length and mean leaf area of leaves belonging to each class of relative age, both plotted logarithmically against each other.
- Fig. 13 – Mean leaf dry weight plotted against mean leaf area of leaves belonging to each class of relative age.
- Fig. 14 – Logarithmic growth curves of leaf length, area and dry weight. The relative age of leaves was calculated by using the leaf areas.

