

RESUMO

Apresenta um modelo matemático para expressar a taxa de regeneração natural em florestas tropicais, através dos valores de abundância. O modelo proposto é o seguinte:

$$tr = \left\{ \left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right\} \cdot 100, \text{ onde:}$$

tr = taxa de regeneração natural em percentagem;

A = abundância absoluta = número de indivíduos por unidade de área;

$A_1 = A_0 + ne - ns$ = abundância absoluta final;

ne = número de indivíduos que ingressaram no estudo, por germinação ou mudança de categoria de tamanho (in-put);

ns = número de indivíduos que saíram do estudo, por morte ou mudança de categoria de tamanho (out-put).

-1 = constante que indica a mortalidade.

Os resultados demonstram que a floresta está em equilíbrio dinâmico, uma vez que apresentou um valor de + 0,10% para a taxa de regeneração natural, a qual pode ser utilizada para espécies, grupos de espécies ou para o total da floresta.

INTRODUÇÃO

A estrutura da floresta tropical úmida, ou floresta equatorial, é complexíssima e sua dinâmica pouco conhecida, principalmente no que se refere a regeneração natural de suas espécies, pois o termo, segundo Rollet (s.d.), reflete dois conceitos: um estático, onde regeneração natural significa o número de indivíduos de cada espécie nas categorias de tamanho inferiores; e um dinâmico, onde significa o processo natural de estabelecimento da regeneração. No primeiro caso, alguns autores como Higuchi *et al.* (1985), Carvalho (1980, 1982), Jardim (1985) e Alencar (1986), trabalhando na Amazônia, apresentam resultados que caracterizam a estrutura e composição florística dessa fração da floresta.

(*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.

resta num instante determinado. Porém a dinâmica do processo de regeneração, as flutuações na abundância das espécies devido as interações com o sítio, bem como o crescimento dos indivíduos, que implica na redução gradual da abundância em classes sucessivas de tamanho até a maturidade, são informações praticamente desconhecidas. Por outro lado, o estabelecimento de limites entre o tamanho da regeneração natural e do povoamento adulto é difícil, uma vez que, efetivamente, cada classe de tamanho é regeneração natural da classe de tamanho imediatamente superior. Assim sendo, aqui se propõe um modelo matemático que expresse o aspecto dinâmico do ecossistema florestal, tropical úmido ou equatorial, considerando a fração superior do mesmo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo fica localizada no Distrito Agropecuário da SUFRAMA, em terras da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, entre os Km - 21 e Km - 24 da estrada vicinal ZF-2, tendo como coordenadas geográficas: 2°37' a 2°38' de latitude Sul e 60°09' a 60°11' de longitude Oeste. A descrição de solos, vegetação, clima e relevo pode ser encontrada em Jardim (1985).

Os dados foram coletados dentro dos blocos experimentais do projeto "Manejo Ecológico e Exploração da Floresta Tropical Úmida", Higuchi et al. (s.d.), em um sub-bloco de 4 ha para cada um dos três blocos, perfazendo um total de 12 ha amostrados. Foram feitas duas abordagens; a primeira em 1980/1981 e a segunda em 1985/1986, cobrindo o povoamento com DAP maior ou igual a 25 cm. Em cada abordagem foram coletados os seguintes dados: nome vulgar (identificado por um mateiro auxiliar); DAP (diâmetro a 1,30m do solo) e a abundância absoluta de cada espécie.

Para analisar o processo dinâmico da floresta utilizou-se o modelo matemático, aqui proposto, denominado "taxa de regeneração natural", definido como "a razão entre a abundância absoluta resultante do processo dinâmico de regeneração natural e crescimento e a abundância absoluta no início do estudo, expresso em percentagem", que é representado pela seguinte expressão:

$$tr = \left\{ \left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right\} \cdot 100, \text{ onde}$$

tr = taxa de regeneração natural em percentagem;

A = abundância absoluta como definida em Jardim (1985);

$A_1 = A_0 + ne - ns$ = abundância absoluta final;

A_0 = abundância absoluta inicial;

ne = número de indivíduos que ingressaram no estudo, por germinação ou mudança de categoria de tamanho devida ao crescimento (in-put);

ns = número de indivíduos que saíram do estudo, por morte ou mudança de categoria de tamanho devido ao crescimento (out-put).

- I = Constante que indica a mortalidade.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Quadro 1 apresenta os valores de abundância absoluta, em 1981 e 1986, das espécies mais abundantes, utilizados no cálculo da taxa de regeneração natural por classe diamétrica e para o total da espécie, da classe diamétrica e o povoamento, apresentados no Quadro 2, onde se pode observar que houve uma variabilidade de comportamento muito grande de espécie para espécie, mesmo considerando as mais abundantes, o que reflete a magnitude do processo dinâmico na floresta. Entretanto, à medida que a análise da taxa de regeneração natural vai sendo generalizada, por exemplo, para grupos de espécies como o total das mais abundantes, para classes diamétricas, ou para o total da floresta, pode-se observar a tendência da mesma para o valor zero (0), o que reflete a estabilidade dinâmica do ecossistema floresta tropical. Quando se analisa os valores da taxa de regeneração natural para o total de cada espécie, verifica-se que: existem espécies com valores positivos, o que indica adensamento no povoamento considerado; espécies com valores negativos, indicando raleamento; e espécies com valores nulos, o que indica estabilidade na abundância dessas espécies.

O Quadro 3 apresenta os valores de abundância absoluta inicial e final, por classe diamétrica e acumuladas classe a classe, por amostra (sub-solo) e para o total das amostras (12 ha), além da taxa de regeneração natural obtida com os valores acumulados. Como se pode observar à medida que são acumulados os valores de abundância absoluta, a taxa de regeneração natural tende para zero (0), principalmente em relação ao total da floresta, o que ratifica a estabilidade dinâmica da floresta conforme acima mencionado.

O Quadro 4 apresenta a relação das espécies mais abundantes, apresentadas nos Quadros 1 e 2 suas respectivas identificações botânicas. Como se pode observar, todas essas espécies estão incluídas na relação de espécies mais abundantes de Jardim (1985), indicando a semelhança de estrutura florestal.

Quadro 1. Abundância absoluta por classe diamétrica das principais espécies em 1980 e 1986.

CLASSE DIAMÉTRICA (cm)	1980 1986										1980 1986										1980 1986										T O T A L																															
	30	40	50	60	70	80	90	100	110		30	40	50	60	70	80	90	100	110		30	40	50	60	70	80	90	100	110																																	
Nome vulgar																															1980	1986																														
Piçozinho	133	49	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	192	194																									
Pipeiro	49	52	24	24	19	18	3	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99	102																									
Mataratã amarelo	52	48	17	20	5	5	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77	77																										
Muirapiranga f. miúda	30	31	29	30	10	8	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	70	71																										
Beco vermelho	36	39	8	8	9	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47	49																										
Carvalho	24	22	11	13	8	6	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	46	45																											
Seringa vermelha	24	23	16	16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42	41																											
Acariguara branca	14	15	9	8	14	15	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	39	39																											
Fajurazinho	15	17	11	13	4	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32	34																											
Aburana abiu	10	9	16	14	3	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	35	32																											
Náurana o. de veado	13	14	4	2	12	11	2	2	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	30																												
Tachi vermelho	11	12	6	6	4	4	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	27	30																											
Uchirana	13	10	10	12	6	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	31	29																											
Castanha jarana f. grande	11	10	9	11	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	28																											
Fau kaimba	20	19	6	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	28																											
Acariguara roxa	15	15	5	5	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28	27																											
Castanha vermelha	12	10	8	9	5	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27	25																											
Inharé	20	18	5	5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26	25																											
Araké roxo	10	17	4	4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	24																											
Carapanãba	4	7	2	2	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	19	21																												
SUB-TOTAL	516	521	249	263	117	111	36	33	13	15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	939	951																											
OUTRAS	568	546	246	265	120	115	59	56	27	30	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1664	1054																												
T O T A L	1084	1067	495	528	237	226	95	89	40	45	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	2003	2005																												

Quadro 2. Taxa de regeneração natural em percentagem por classe diamétrica das espécies mais abundantes.

ESPÉCIES	CLASSE DIAMÉTRICA (cm)										T O T A L
	25-34,9	35-44,9	45-54,9	55-64,9	65-74,9	75-84,9	85-94,9	95-104,9	> 105		
Piçozinho	0	+ 2,04	+ 11,11	0	-	-	-	-	-	-	+ 1,04
Piçeiro	+ 6,12	0	- 5,26	+ 33,33	0	0	0	0	-	-	+ 3,03
Natanã cavaleiro	- 7,69	+ 17,64	0	0	+ 100,00*	-	-	-	-	-	0
Muirapiranga f. miúda	+ 3,33	+ 3,44	- 20,00	+ 100,00	-	-	-	-	-	-	+ 1,42
Breu vermelho	+ 0,33	+ 12,50	-	0	- 100,00	-	-	-	-	-	+ 4,25
Cerejeiro	- 8,33	+ 10,18	- 25,00	+ 100,00	0	-	-	-	-	-	- 2,17
Seringa vermelha	+ 4,16	0	-	-	-	-	-	-	-	-	- 2,38
Acariganga branca	+ 7,14	- 11,11	+ 7,14	- 50,00	-	-	-	-	-	-	0
Pajurazinho	+ 13,33	+ 10,18	- 25,00	- 50,00	-	-	-	-	-	-	+ 6,25
Aburana abau	- 10,00	- 12,50	0	0	0	-	-	-	-	-	- 8,57
Aburana olho de veado	+ 7,69	- 50,00	- 8,33	0	+ 100,00*	-	-	-	-	-	- 3,22
Tachi vermelho	+ 9,09	+ 33,33	0	- 66,66	+ 50,00	+ 100,00*	0	-	-	-	+ 11,11
Ídixara	- 23,07	+ 20,00	- 16,66	0	-	-	-	-	-	-	- 6,45
Custureira jurana	- 9,09	+ 22,22	0	0	-	-	-	-	-	-	+ 3,70
Pau ralha	- 5,00	+ 33,33	0	-	-	-	-	-	-	-	+ 3,70
Acariganga roxa	0	0	0	- 33,33	- 50,00	+ 100,00*	-	-	-	-	+ 3,57
Castanha vermelha	- 16,64	+ 12,50	- 20,00	0	-	-	-	-	-	-	- 7,40
Itiraré	- 10,00	0	+ 100,00	-	-	-	-	-	-	-	- 3,64
Arabá roxo	+ 70,00	0	0	-	-	-	0	-	-	-	+ 41,17
Carapanã	+ 75,00	0	0	- 25,00	0	0	- 100,00	+ 100,00*	-	-	+ 10,52
SUB-TOTAL	+ 0,96	+ 5,62	- 5,12	- 8,33	+ 15,38	0	- 25,00	+ 100,00*	-	-	+ 1,27
OUTRAS	- 3,87	+ 7,72	- 4,16	- 5,08	+ 11,11	- 6,66	0	- 28,57	+ 14,23	-	- 0,94
T O T A L	- 1,56	+ 6,66	- 4,64	- 6,31	+ 12,50	- 5,26	- 5,26	- 14,28	+ 14,23	-	+ 0,10

* Quando a abundância final (A₁) foi diferente de zero (0) e a abundância inicial (A₀) foi igual a zero (0) atribuiu-se o valor + 100 % para a taxa de regeneração natural (tr) em virtude do símbolo de indeterminação que representa o quociente $\frac{A_1}{A_0}$.

Quadro 3. Taxa de regeneração natural para os valores acumulados de abundância inicial e final.

AMOSTRA	I					II					III					T O T A L				
	A ₀	A ₁	ΣA ₀	ΣA ₁	tr	A ₀	A ₁	ΣA ₀	ΣA ₁	tr	A ₀	A ₁	ΣA ₀	ΣA ₁	tr	A ₀	A ₁	ΣA ₀	ΣA ₁	tr
30	292	306	292	306	+ 4,79	437	400	437	400	- 8,46	355	361	355	361	+ 1,69	1084	1067	1084	1067	- 1,56
40	157	161	449	467	+ 4,00	153	175	590	575	- 2,54	185	192	540	553	+ 2,40	495	528	1579	1595	+ 1,01
50	79	80	518	547	+ 3,59	80	72	670	647	- 3,43	78	74	618	627	+ 1,45	237	226	1816	1821	+ 0,28
60	32	26	560	573	+ 2,32	31	31	701	678	- 3,28	32	32	650	659	+ 1,38	95	89	1911	1910	- 0,05
70	18	18	578	591	+ 2,24	12	16	713	694	- 2,66	10	11	660	670	+ 1,51	40	45	1951	1955	+ 0,20
80	10	9	588	600	+ 2,04	6	5	719	699	- 2,78	3	4	663	674	+ 1,65	19	18	1970	1973	+ 0,15
90	5	7	593	607	+ 2,36	11	9	730	708	- 3,01	3	2	666	676	+ 1,50	19	18	1989	1991	+ 0,10
100	4	3	597	610	+ 2,17	1	1	731	709	- 3,00	2	2	668	678	+ 1,49	7	6	1996	1997	+ 0,05
110	4	5	601	615	+ 2,32	1	1	732	710	- 3,00	2	2	670	680	+ 1,49	7	3	2003	2005	+ 0,10
T O T A L	601	615	601	615	+ 2,32	732	710	732	710	- 3,00	670	680	670	680	+ 1,49	2003	2005	2003	2005	+ 0,10

CD = Classe diamétrica

A₀ = Abundância inicial

A₁ = Abundância final

tr = Taxa de regeneração natural em percentagem

Quadro 4. Identificação botânica das espécies mais abundantes.

NOME VULGAR	ESPÉCIES	FAMÍLIA BOTÂNICA
Piãozinho	<i>Micrandropsis scleroxylon</i> W. Rod.	Euphorbiaceae
Ripeiro vermelho	<i>Corythophora alta</i> R. Knuth.	Lecythidaceae
Matamatã amarelo	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Mier.	Lecythidaceae
Muirapiranga	<i>Eperua bijuga</i> Mart. ex Benth.	Caesalpiniaceae
Breu vermelho	<i>Protium apiculatum</i> Swartz	Burseraceae
Cardeiro	<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Bombacaceae
Seringa vermelha	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae
Acariguara branca	<i>Geissospermum sericeum</i> (Sagot) Benth.	Apocynaceae
Pajurazinho	<i>Couepia canomensis</i> (Mart.) Bth. ex Hook.	Chrysobalanaceae
Abiurana abiu	<i>Radlkoferella</i> sp.	Sapotaceae
Abiurana olho de veado	<i>Chrysophyllum anomalum</i> J. M. Pires	Sapotaceae
Tachi vermelho	<i>Sclerolobium eriopetalum</i> Ducke	Caesalpiniaceae
Uchirana	<i>Sacoglottis</i> sp.	Humiriaceae
Castanha jarana	<i>Holopyxidium latifolium</i> (A.C.Sm.) R. Knuth.	Lecythidaceae
Pau rainha	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae
Acariguara roxa	<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	Olacaceae
Castanha vermelha	<i>Eschweilera fracta</i> R. Knuth.	Lecythidaceae
Inharé	<i>Helicostylis tomentosa</i> (P.A.E.) Ducke	Moraceae
Arabá roxo	<i>Swartzia reticulata</i> Ducke	Caesalpiniaceae
Carapanaúba	<i>Aspidospermum oblongum</i> A. D.	Apocynaceae
O U T R A S	-----	-----

CONCLUSÕES

Como se pode observar, a taxa de regeneração natural (tr) expressa as flutuações que podem ocorrer na abundância absoluta das espécies, de grupos de espécies ou mesmo da floresta como um todo, podendo atingir o valor mínimo de - 1, ou - 100%, que significa a morte de todos os indivíduos da amostra, ou um incremento tal que todos os indivíduos passassem para a categoria de tamanho imediatamente superior. Um valor de "tr" igual a zero (0) significa a estabilidade dinâmica na abundância absoluta devida ao equilíbrio entre **in put** (ne) e **out put** (ns) ou a ausência de ambos. Valores de "tr" maiores que zero (0) significam adensamento na amostra ou dentro da categoria de tamanho considerada. Portanto, um valor de "tr" negativo em uma classe de tamanho, devido ao crescimento, poderão significar uma taxa de regeneração natural maior que zero (0) na categoria de tamanho imediatamente superior àquela.

Taxa de regeneração ...

A constante l (hum) utilizada na fórmula tem a função de expressar a mortalidade ou redução da abundância inicial (A_0). Como se pode observar, o quociente $\frac{A_1}{A_0}$ tem limite inferior igual a zero (0), uma vez que o valor máximo de ns é $A_1 + ne$. Portanto, a não inclusão da constante l resultaria em valores de "tr" sempre maiores ou iguais a zero (0), portanto sempre valores positivos, que não indicariam a mortalidade dos indivíduos ou, de outra forma, a mudança de categoria de tamanho devida ao crescimento dos indivíduos.

A análise da taxa de regeneração natural para espécies isoladas permite concluir que uma espécie com valor de "tr" negativo para o total das classes diamétricas, encontra-se em desvantagem em relação àquelas com valor de "tr" positivo ou nulo, pois estes valores, positivo e nulo, refletem a predominância do crescimento sobre a mortalidade. Por outro lado, à medida que o estudo é generalizado para grupos de espécies, ou para o total da floresta, verifica-se a tendência da taxa de regeneração natural para zero (0), o que significa o equilíbrio dinâmico do ecossistema floresta tropical nativa, embora neste caso tenha havido um leve crescimento, uma vez que o valor de "tr", para o total da área, foi de + 0,10%.

A expressão matemática da taxa de regeneração natural permite prever as seguintes variações da mesma.

Quadro 5. Variações da taxa de regeneração natural.

A_1	A_0	ne	ns	$\frac{A_1}{A_0}$	tr %
0	n	m	n+m	0	-100
n	n	m	m	1	0
2n	n	n+m	m	2	+100
2n	n	n	0	2	+100
$<A_0$	$>A_1$	$<ns$	$>ne$	<1	$-100 < tr < 0$
$>A_0$	$<A_1$	$>ns$	$<ne$	>1	$tr > 0$

Também pode ser concluído que, para o cálculo da taxa de regeneração natural, pode ser utilizada qualquer variável que indique densidade e crescimento, com área basal e volume.

Recomenda-se a utilização do modelo proposto para analisar o aspecto dinâmico da fração mais jovem da floresta, que é onde se supõe haver uma maior flutuação na abundância das espécies.

SUMMARY

This note presents a mathematical model using values for abundance to express the rate of natural regeneration in tropical forests.

The proposed model is the following:

$$tr = \left\{ \frac{A_1}{A_0} - 1 \right\} \cdot 100, \text{ where:}$$

tr = rate of natural regeneration in percent;

A = abundance, as defined by Jardim (1985);

A_1 = $A_0 + ne - ns$ = final abundance;

A_0 = initial abundance;

ne = *in put* of new individuals during the study period, by germination or change in size class;

ns = *out put* of individuals during the study period, by death or change in size class;

1 = constant which indicates mortality.

The results show that the forest is in a dynamic equilibrium, because the rate of natural regeneration was found to be + 0,10%. This rate can be used to describe the behavior of species, groups of species, or for the forest as a whole.

Referências bibliográficas

- Alencar, J. da C. - 1986. **Análise de Associação e estrutura de uma comunidade de floresta tropical úmida, onde ocorre Aniba rosaeodora Ducke (Lauraceae).** Tese de Doutorado. Manaus. INPA/FUA. 206 p.
- Carvalho, J. O. P. de - 1980. Inventário diagnóstico da regeneração natural da vegetação em área da Floresta Nacional do Tapajós. (EMBRAPA/CPATU). **Boletim de pesquisa**, 27: 1-20.
- - 1982. **Análise estrutural da regeneração natural em floresta tropical densa na Região do Tapajós no Estado do Pará.** Curitiba. Tese de Mestrado. UFPr. 63 p.
- Jardim, F. C. da S. - 1985. **Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA.** Dissertação de Mestrado. Manaus. INPA/FUA. 195 p.
- Higuchi, N.; Jardim, F. C. da S.; Santos, J. dos; Alencar, J. da C. - 1985. Bacia 3 - Inventário diagnóstico da regeneração natural. **Acta Amazonica**, 15(1-2): 199-233.
- Higuchi, N.; Jardim, F. C. da S.; Santos, J. dos; Barbosa, A. P. - s.d. Bacia 3 - Inventário florestal comercial. **Acta Amazonica**. (no prelo).
- Rollet, B. - s.d. **Arquitetura e crescimento das florestas tropicais.** 30 f. [mimeografado].

(Aceito para publicação em 26.05.1987)