

# Dinâmica de Populações de Plantas

Maurício Bonesso Sampaio

Pesquisador de Pós-doutorado

Departamento de Biologia Vegetal - UNICAMP

mauriciobonesso@gmail.com

## Conteúdo da aula

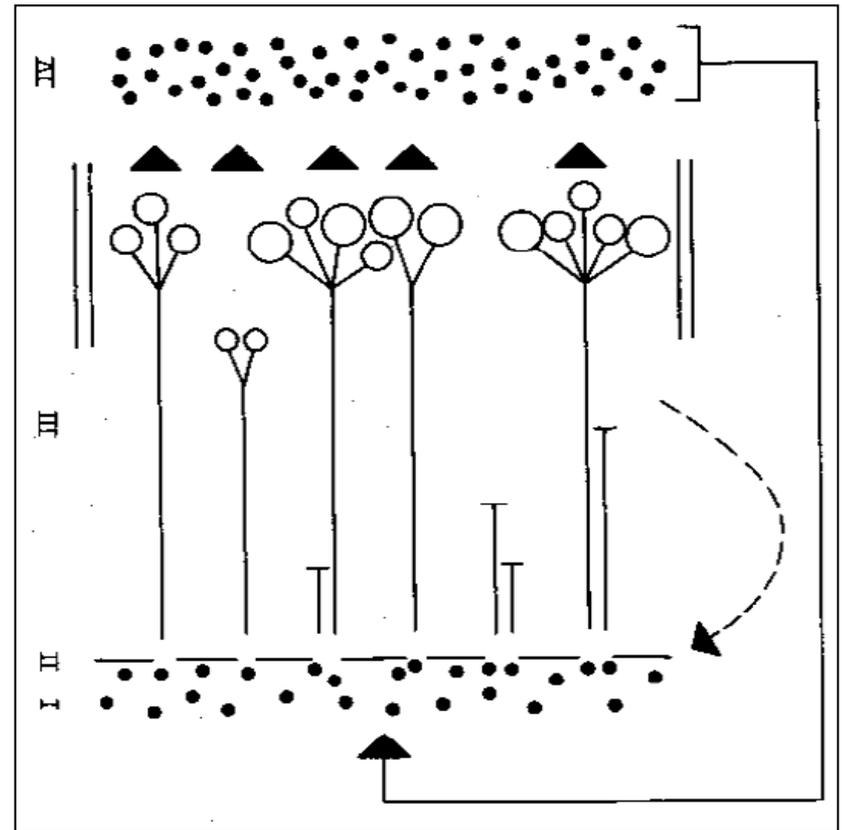
- O que é a dinâmica de populações
- Modelos de dinâmica para populações não-estruturadas
  - Crescimento exponencial
  - Crescimento logístico
- Modelos de dinâmica para populações estruturadas
  - Tabelas de vida
  - Modelos matriciais
    - a) determinísticos
    - b) estocásticos
    - c) dependentes da densidade
  - Modelos de projeção integral
- Aplicações da ecologia de populações para manejo e conservação

# Dinâmica populacional

Alterações ao longo do tempo no nº de indivíduos, na estrutura populacional, na estrutura espacial dos indivíduos e na estrutura genética da população.

Tamanho da população é função de diferentes processos em nível populacional:

- Dispersão das sementes;
- Sobrevivência das sementes no solo;
- Recrutamento de plântulas;
- Sobrevivência dos indivíduos;
- Crescimento dos indivíduos;
- Reprodução;
- Mortalidade dos indivíduos senis.



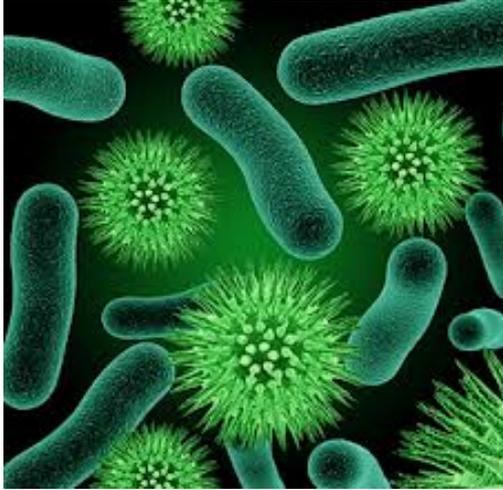
# Dinâmica populacional

Tamanho da população varia ao longo do tempo:

$$N_{\text{agora}} = N_{\text{anterior}} + \text{Nascimento} - \text{Morte} + \text{Imigração} - \text{Emigração}$$

- Imigração/emigração tendem a ser mais importantes para animais do que para plantas, pois as plantas são sésseis.
- Para plantas, geralmente consideramos que a imigração é igual à emigração.
- Migrações de sementes entre populações são importantes em abordagens de metapopulação, onde a dinâmica regional é mais importante que a local.

## Populações não-estruturadas



- Todos os indivíduos possuem as mesmas taxas de sobrevivência, crescimento e fecundidade, ou seja, possuem a **mesma contribuição** para a geração futura;
- Os indivíduos nascem e morrem continuamente;
- Indivíduos podem se reproduzir imediatamente após o seu nascimento
- Ex. microrganismos

$$N_t = N_{t-1} + B - D; \text{ onde } B = \text{nascimentos e } D = \text{mortes}$$

$$\Delta N / \Delta t = B - D; \text{ onde } B = bN \text{ e } D = dN \text{ (equação diferencial)}$$

$$\Delta N / \Delta t = bN - dN$$

$$\Delta N / \Delta t = (b-d)N; \text{ onde } b-d = r$$

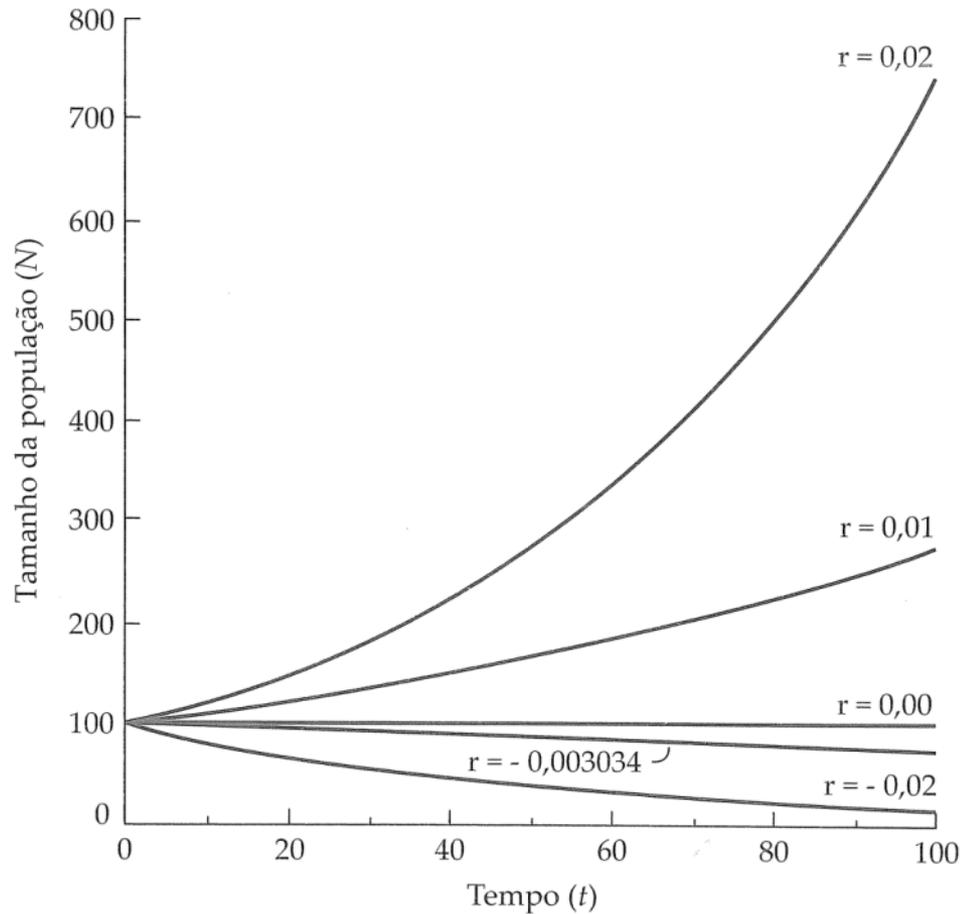
$$\Delta N / \Delta t = rN$$

→ Crescimento exponencial

$r$  é a taxa intrínseca de crescimento populacional ou taxa de crescimento populacional *per capita*.

(indivíduos.indivíduo<sup>-1</sup>.tempo<sup>-1</sup>)

# Modelos de dinâmica - exponencial



$$\Delta N/\Delta t = rN$$

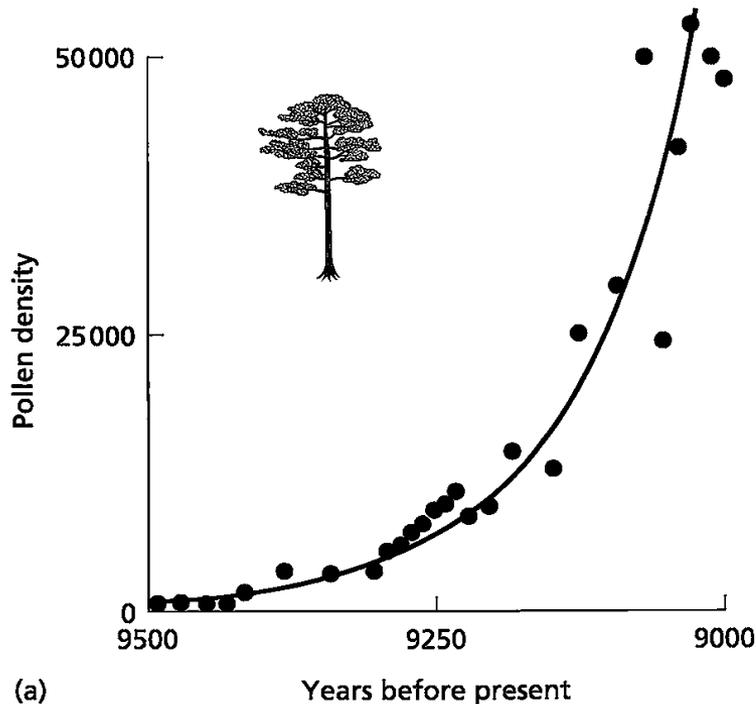
ou

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

- $r > 0$  – crescimento populacional exponencial e ilimitado
- $r = 0$  – estabilidade no tamanho populacional
- $r < 0$  – redução exponencial no tamanho populacional

# Modelos de dinâmica - exponencial

- Crescimento exponencial pode ocorrer em plantas por algum tempo em algumas circunstâncias, ex. espécie ruderal no início da sucessão secundária, plantas invasoras que colonizam um novo hábitat, etc.;



*Pinus sylvestris* entre 9.500 e 9.000 anos atrás, quando a espécie estava iniciando a colonização na Inglaterra

Registros de pólen (Bennett 1983)

→ Escala evolutiva

- Não é um modelo realista, pois os recursos disponíveis no hábitat são limitados e não suportariam populações crescendo ilimitadamente.

- Conforme aumenta a densidade de indivíduos, aumenta a competição intraespecífica por recursos

Dois tipos de competição intraespecífica:

**por exploração:** indivíduos interagem indiretamente. O nível de recursos disponível diminui devido à presença de vizinhos. Ex. disputa por nutrientes no solo.

**por interferência:** indivíduos interagem diretamente por um recurso. Ex. disputa por espaço entre as plantas em um costão rochoso.

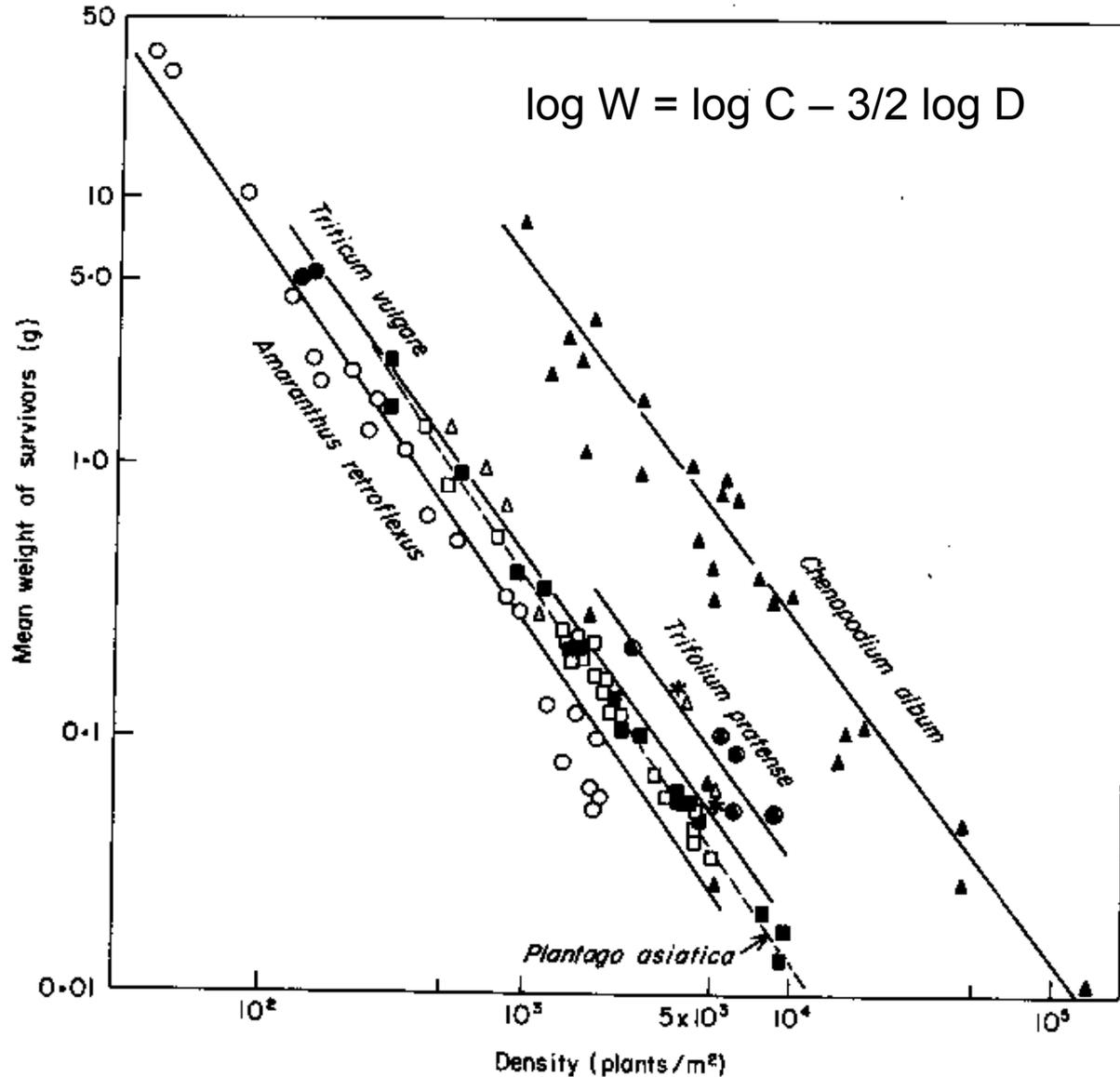
- Efeitos da competição não ocorrem devido ao tamanho populacional em si, mas sim pela ação dos vizinhos mais próximos

# Modelos de dinâmica – dependência da densidade

**Auto-desbaste:** redução na densidade de ind. de uma coorte conforme os ind. crescem em tamanho (Yoda et al. 1963).



# Modelos de dinâmica – dependência da densidade



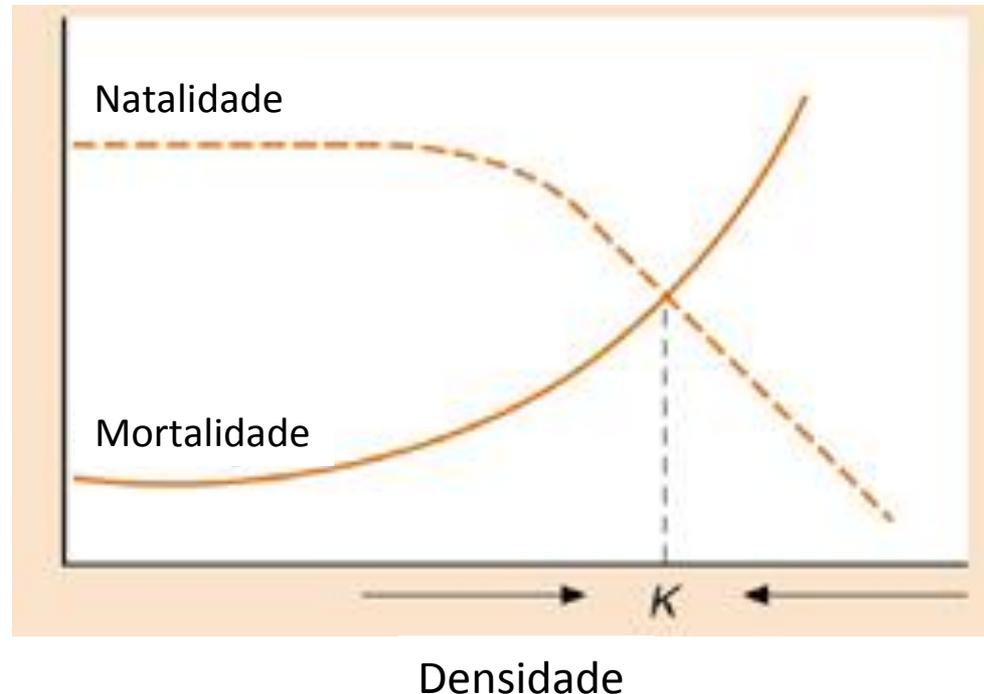
## Lei dos 3/2:

Razão entre o volume da planta (cubo de uma dimensão linear) e a sua área ocupada (quadrado de uma dimensão linear)

- A competição gera desigualdade no tamanho dos indivíduos
- A redução da densidade ocorre pela mortalidade dos ind. menores

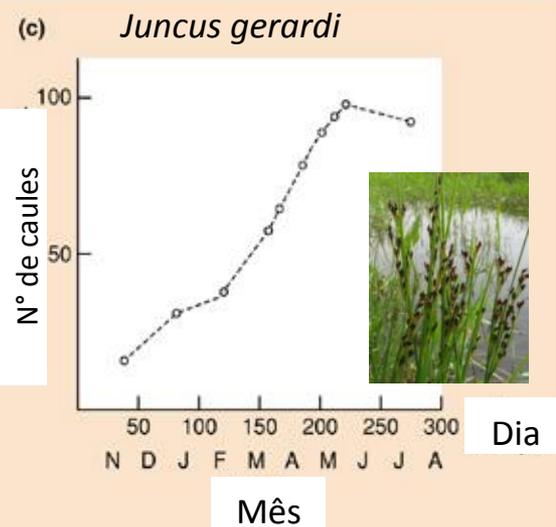
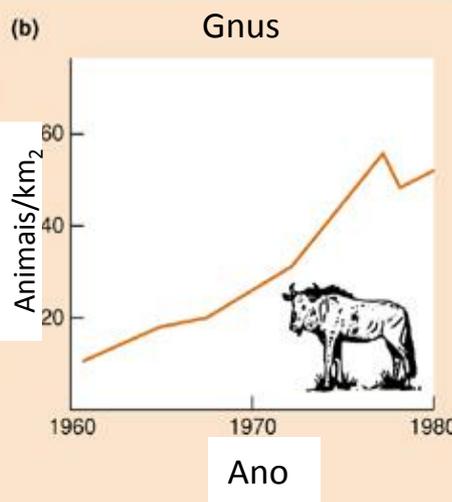
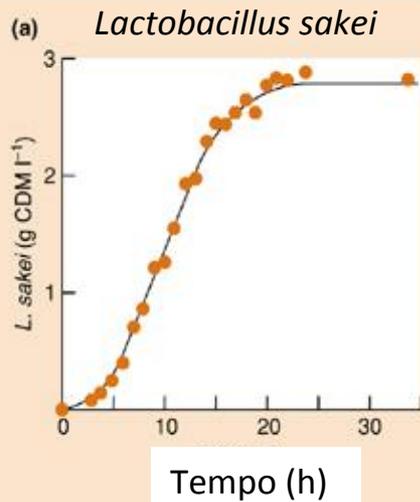
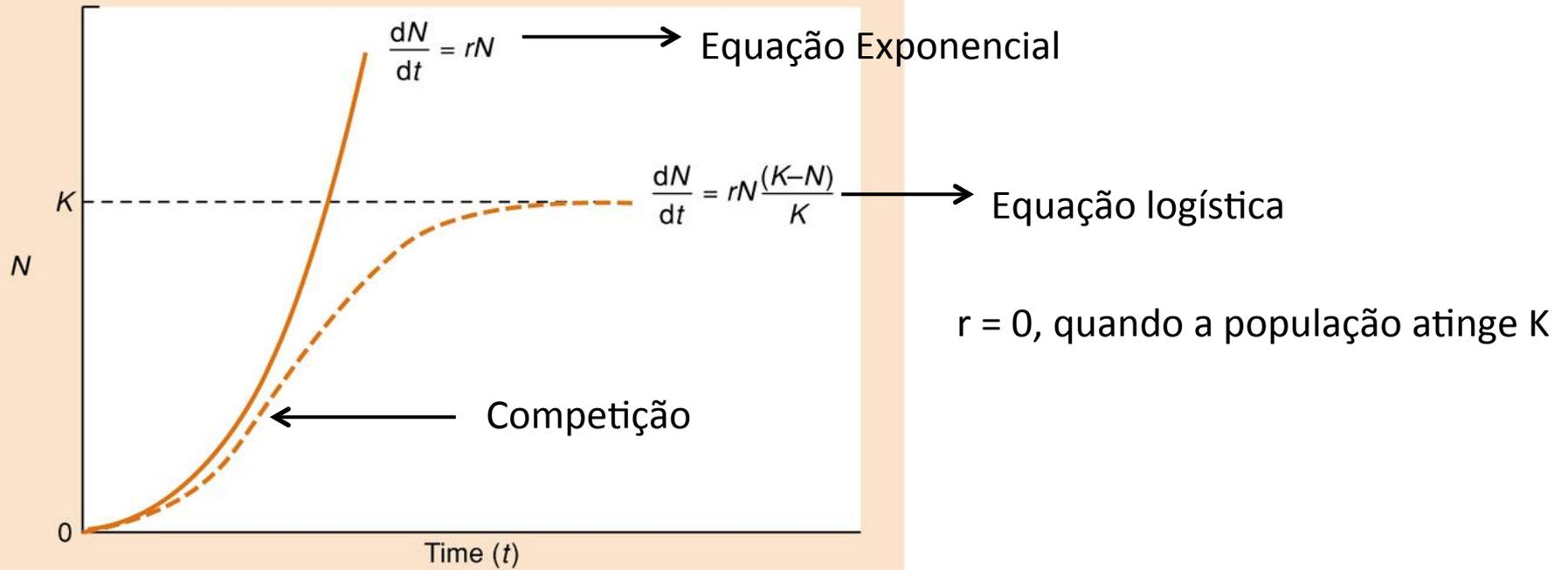
## Modelos de dinâmica – dependência da densidade

A natalidade também pode reduzir conforme aumenta a densidade, pois as plantas menores produzem menos sementes



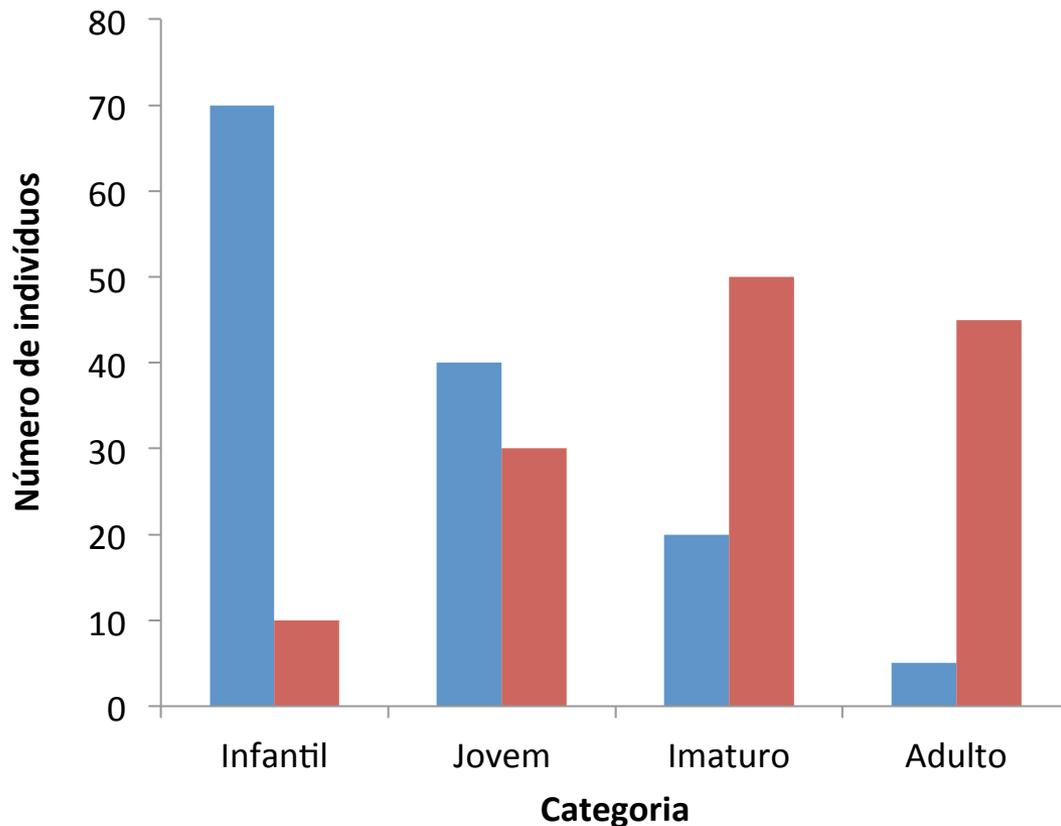
Capacidade de suporte ( $K$ ): tamanho da população que pode ser suportado pelos recursos disponíveis no hábitat, sem que haja uma redução ou aumento no número de indivíduos

# Modelos de dinâmica – dependência da densidade



## Populações estruturadas:

- Indivíduos de idades, tamanhos ou estádios diferentes ao mesmo tempo
- Cada fase do ciclo de vida possui diferentes contribuições para a dinâmica populacional.



- Tabelas de vida
- Modelos de matrizes
- Modelos de projeção integral

## Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

- Acompanhar uma coorte de indivíduos durante todo o ciclo de vida
- Censos realizados a intervalos curtos
- É geralmente utilizada para espécies anuais (ciclo de vida curto)
- Permite calcular vários parâmetros populacionais:

$l_x$  = probabilidade de sobrevivência até a idade  $x$

$d_x$  = taxa de mortalidade =  $l_x - l_{x+1}$

$q_x$  = taxa média de mortalidade por dia

$L_x = (l_x + l_{x+1})/2$

$e_x$  = expectativa de vida =  $(\sum L_x)/l_x$

$m_x$  = fecundidade

Taxa reprodutiva líquida =  $R_0 = \sum l_x \cdot m_x$  = número de ind. produzidos por ind. durante a vida

Tempo médio de geração:  $G = (\sum x \cdot l_x \cdot m_x)/R_0$

$r = \ln(R_0)/G$

## Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Tabela de vida para *Phlox drummondii* (Polemoniaceae) - Planta anual, herbácea

Leverich, W.J. & D.A. Levin. 1979. Age-specific survivorship and reproduction in *Phlox drummondii*. *American Naturalist* 113: 881.903.



# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Idade dos indivíduos



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$E_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Taxa de sobrevivência dos indivíduos até a idade  $x$

n° de ind. mortos em cada intervalo de tempo

$x$ (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$E_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Taxa média de mortalidade por dia



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$E_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Nº total de sementes produzidos no intervalo



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2.408,01$

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Nº médio de sementes produzidos por indivíduo no intervalo



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2.408,01$

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

Contribuição do intervalo para a geração futura



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$E_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000
						$\Sigma = 2.408,01$		$\Sigma = 2,4177$
Sementes		Vegetativo		Reprodutivo				

# Modelos de dinâmica - Tabelas de vida

$R_0$  = Taxa reprodutiva líquida

$$R_0 = N_{t+1}/N_t$$

$$R_0 = 2.408,01/996 = 2,4177$$

x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2.408,01$

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

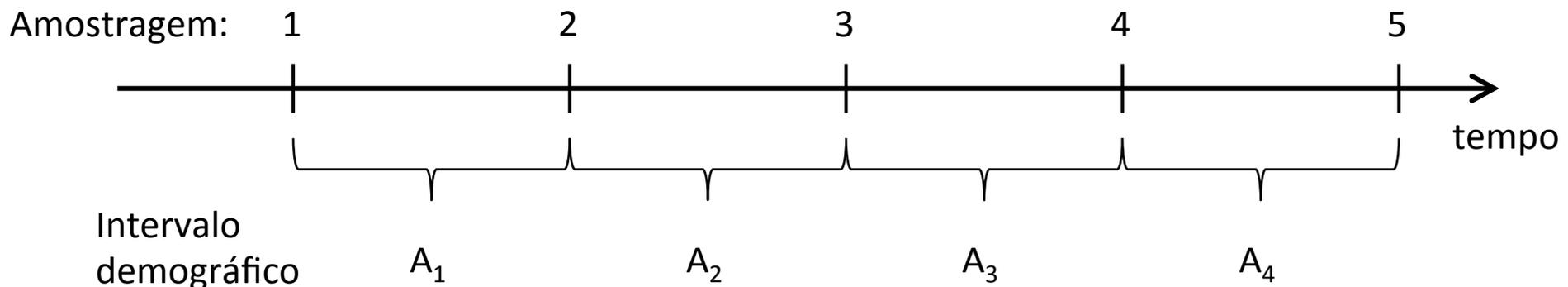
Reprodutivo

- Adequado para descrever a dinâmica de populações estruturadas e com ciclo de vida longo
- Não é necessário acompanhar uma coorte ao longo de todo o seu ciclo de vida
- Taxas demográficas são calculadas para cada categoria (idade, tamanho ou estágio) simultaneamente durante um intervalo demográfico

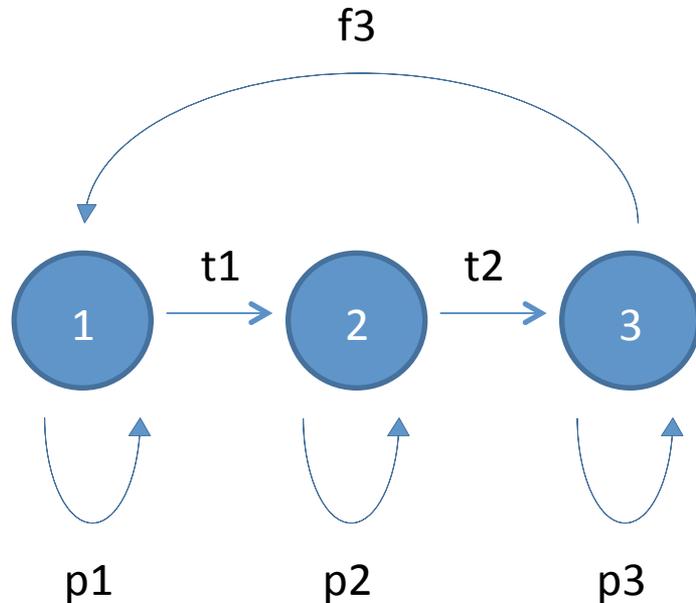
# Modelos Matriciais

Coleta dos dados:

- 1 – Montar parcelas na área onde ocorre a população
- 2 – Marcar todos os indivíduos dentro das parcelas
- 3 – Classificar os indivíduos por idade, tamanho ou estágio
- 4 – Amostrar novamente após um determinado intervalo de tempo
- 5 – Verificar o destino de cada indivíduo
- 6 – Contar as plântulas que entraram na população
- 7 – Calcular as taxas demográficas de cada classe no intervalo de tempo
- 8 – Montar a matriz de transição ( $A$ )
- 9 – Continuar a amostragem durante o maior período de tempo possível



## Ciclo de vida



## Matriz de Lefkovitch

		Estádios			
		1	2	3	
1	$p1$	$0$	$f3$		1
2	$t1$	$p2$	$0$		2
3	$0$	$t2$	$p3$		3

$$A = \begin{bmatrix} p1 & 0 & f3 \\ t1 & p2 & 0 \\ 0 & t2 & p3 \end{bmatrix}$$

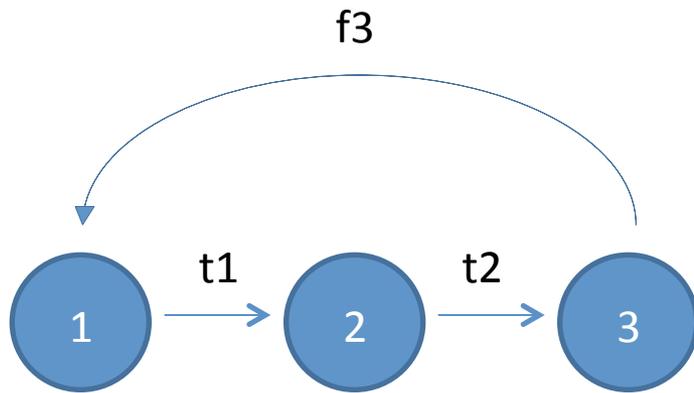
p = permanência

t = transição dos indivíduos entre estádios

f = fecundidade

Fecundidade: número médio de ind. do estágio 1 produzido por ind. do estágio 3

## Ciclo de vida de 3 anos



## Matriz de Leslie

Idade

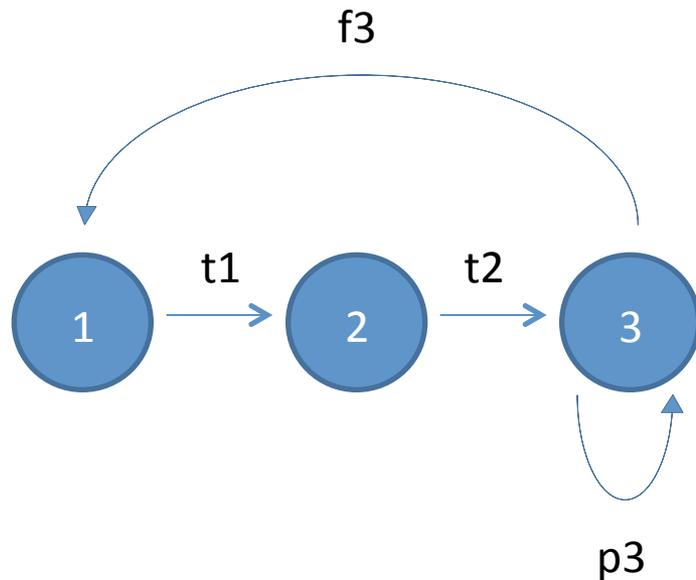
	1	2	3	
	0	0	f3	1
	t1	0	0	2
	0	t2	0	3

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & f3 \\ t1 & 0 & 0 \\ 0 & t2 & 0 \end{bmatrix}$$

t = taxa de sobrevivência dos indivíduos durante um intervalo de tempo

f = fecundidade

## Ciclo de vida



$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Idade} \\ 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & f3 \\ t1 & 0 & 0 \\ 0 & t2 & p3 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

t = taxa de sobrevivência dos indivíduos durante um intervalo de tempo

f = fecundidade

# Modelos Matriciais

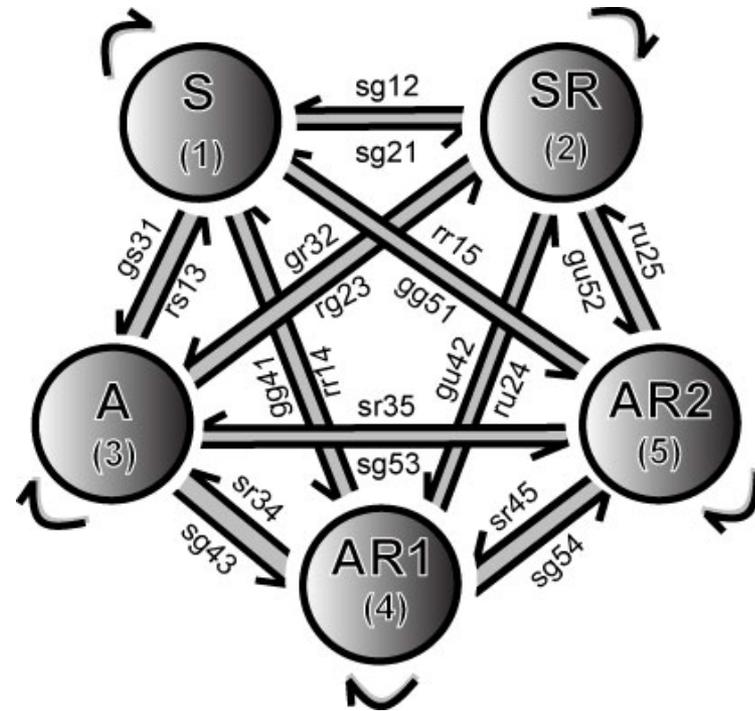


Table S3.1. *Syngonanthus nitens* population matrix equation and vital rates: S: survival, f: sexual reproduction, cr: clonal reproduction. Two letter codes indicate the fate of the ramet and of the genet in which the ramet were s: stasis, g: growth, r: retrogression, u: unknown.

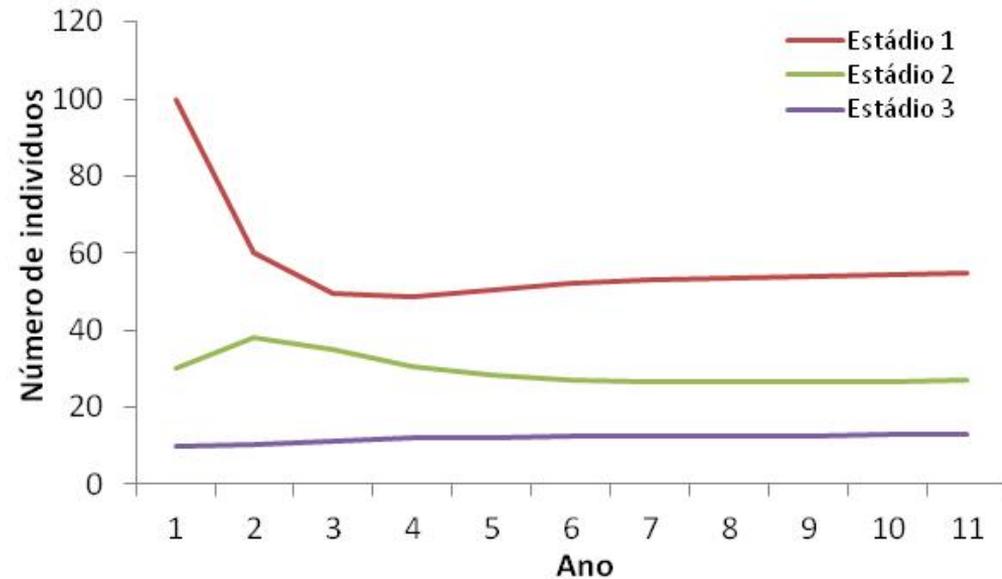
	S (1)	SR (2)	A (3)	AR1 (4)	AR2 (5)
S (1)	$S_1 * (1 - sg_{21} - gs_{31} - gg_{41} - gg_{51})$	$S_2 * sr_{12}$	$S_3 * rs_{13} + f_{13}$	$S_4 * rr_{14} + f_{14}$	$S_5 * rr_{15} + f_{15}$
SR (2)	$S_1 * sg_{21} + S_1 * cr_{21}$	$S_2 * (1 - sr_{12} - gr_{32} - gu_{42} - gu_{52}) + S_2 * cr_{22}$	$S_3 * rg_{23} + S_3 * cr_{23} + f_{23}$	$S_4 * ru_{24} + S_4 * cr_{24} + f_{24}$	$S_5 * ru_{25} + S_5 * cr_{25} + f_{25}$
A (3)	$S_1 * gs_{31}$	$S_2 * gr_{32}$	$S_3 * (1 - rs_{13} - rg_{23} - sg_{43} - sg_{53}) + f_{33}$	$S_4 * sr_{34} + f_{34}$	$S_5 * sr_{35} + f_{35}$
AR1 (4)	$S_1 * gg_{41} + S_1 * cr_{41}$	$S_2 * gu_{42} + S_2 * cr_{42}$	$S_3 * sg_{43} + S_3 * cr_{43} + f_{43}$	$S_4 * (1 - rr_{14} - ru_{24} - sr_{34} - sg_{54}) + S_4 * cr_{44} + f_{44}$	$S_5 * sr_{45} + S_5 * cr_{45} + f_{45}$
AR2 (5)	$S_1 * gg_{51}$	$S_2 * gu_{52} + S_2 * cr_{52}$	$S_3 * sg_{53} + S_3 * cr_{53} + f_{53}$	$S_4 * sg_{54} + S_4 * cr_{54} + f_{54}$	$S_5 * (1 - rr_{15} - ru_{25} - sr_{35} - sr_{45}) + S_5 * cr_{55} + f_{55}$

# Modelos Matriciais

$$\begin{matrix} & A & & n_1 & & n_2 \\ \begin{bmatrix} p1 & 0 & f3 \\ g1 & p2 & 0 \\ 0 & g2 & p3 \end{bmatrix} & * & \begin{bmatrix} n1 \\ n2 \\ n3 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} m1 \\ m2 \\ m3 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A n_t = n_{t+1}$$

$$n_{t+1} = \lambda n_t$$



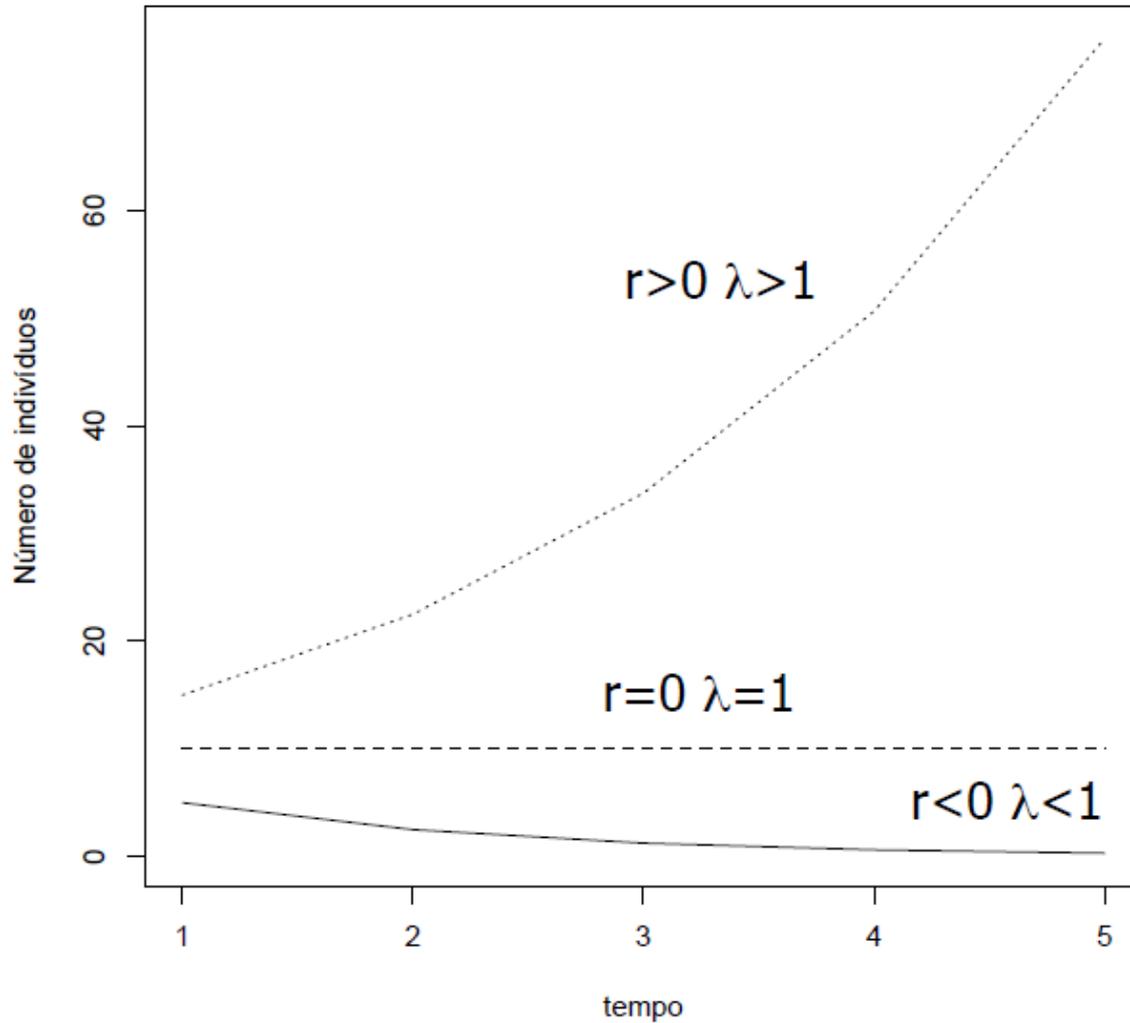
**Premissa do modelo: as condições não variam ao longo do tempo, ou seja, esses modelos são determinísticos.**

# Modelos matriciais e exponenciais

Relações entre  $r$  e  $\lambda$  :

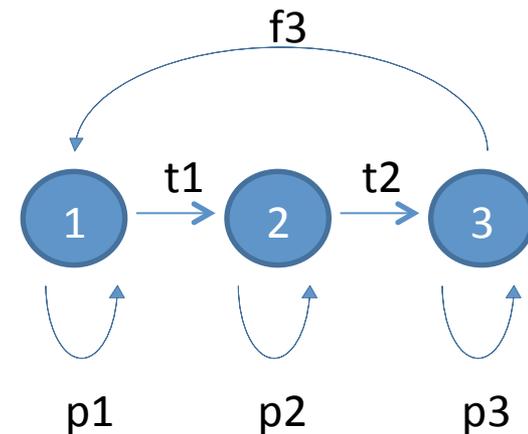
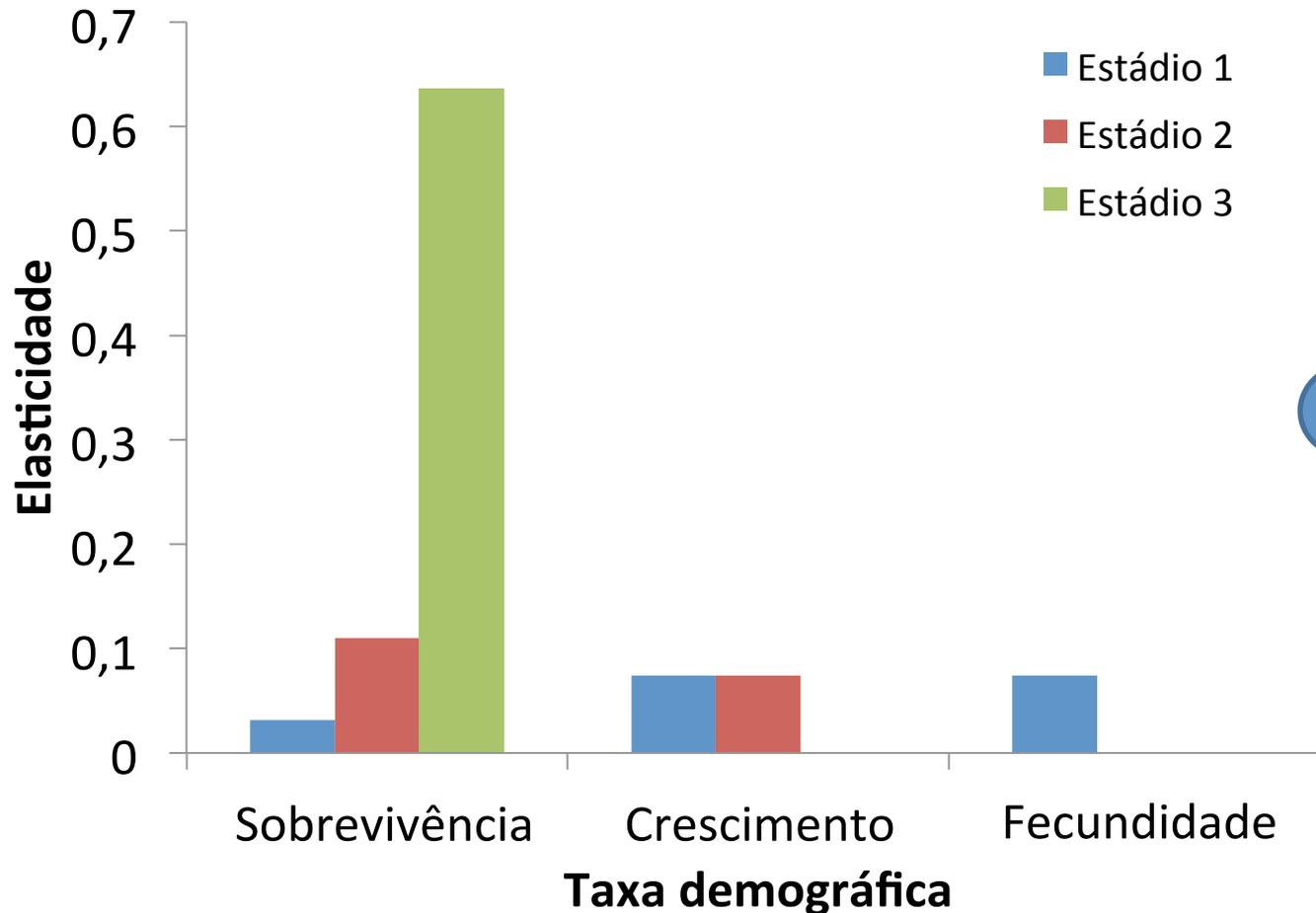
$$r = \ln(\lambda)$$

$$\lambda = e^r$$

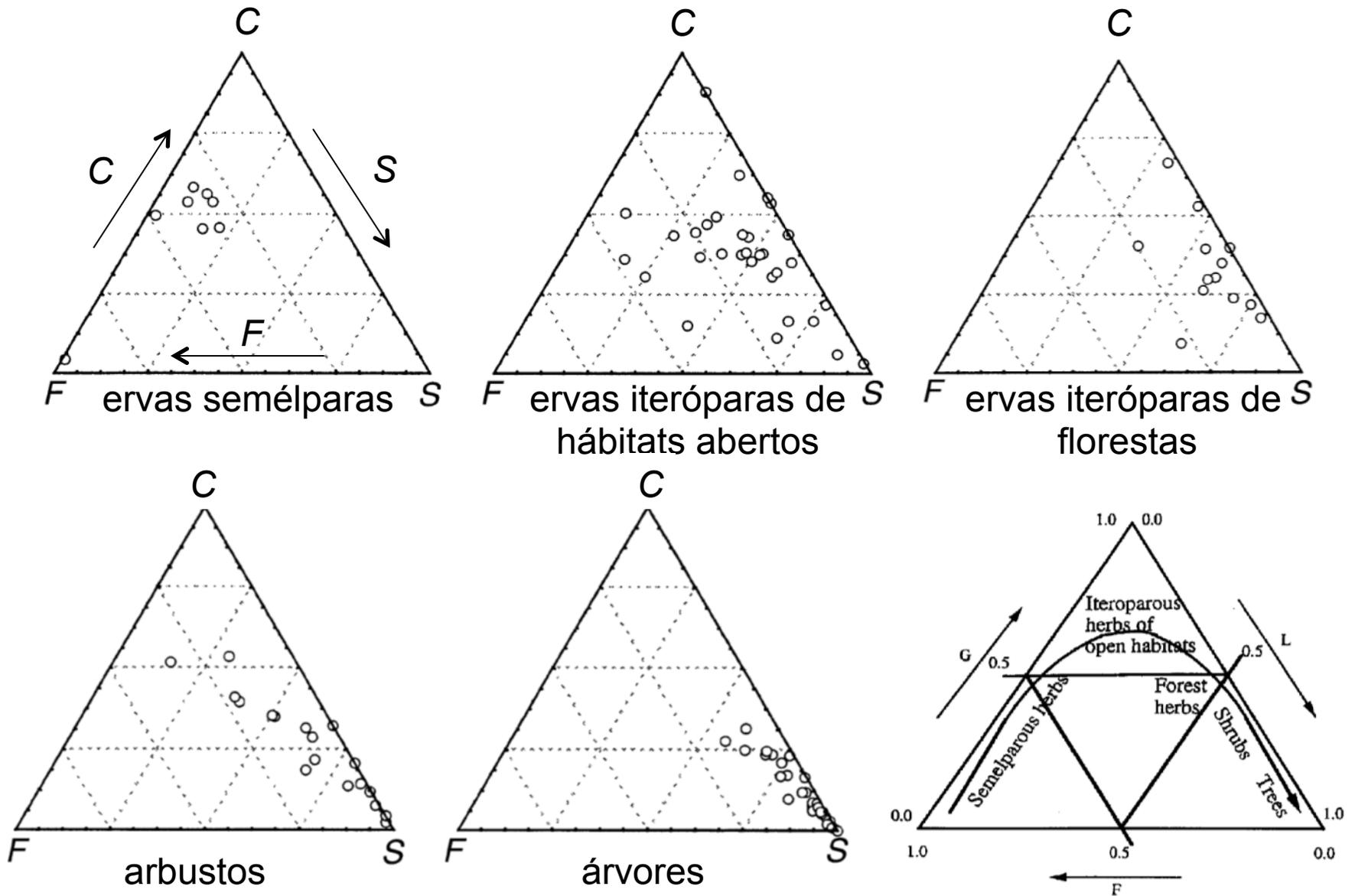


# Modelos matriciais - Elasticidade

**Elasticidade:** Estimativa do efeito em  $\lambda$  de uma pequena alteração em uma taxa demográfica

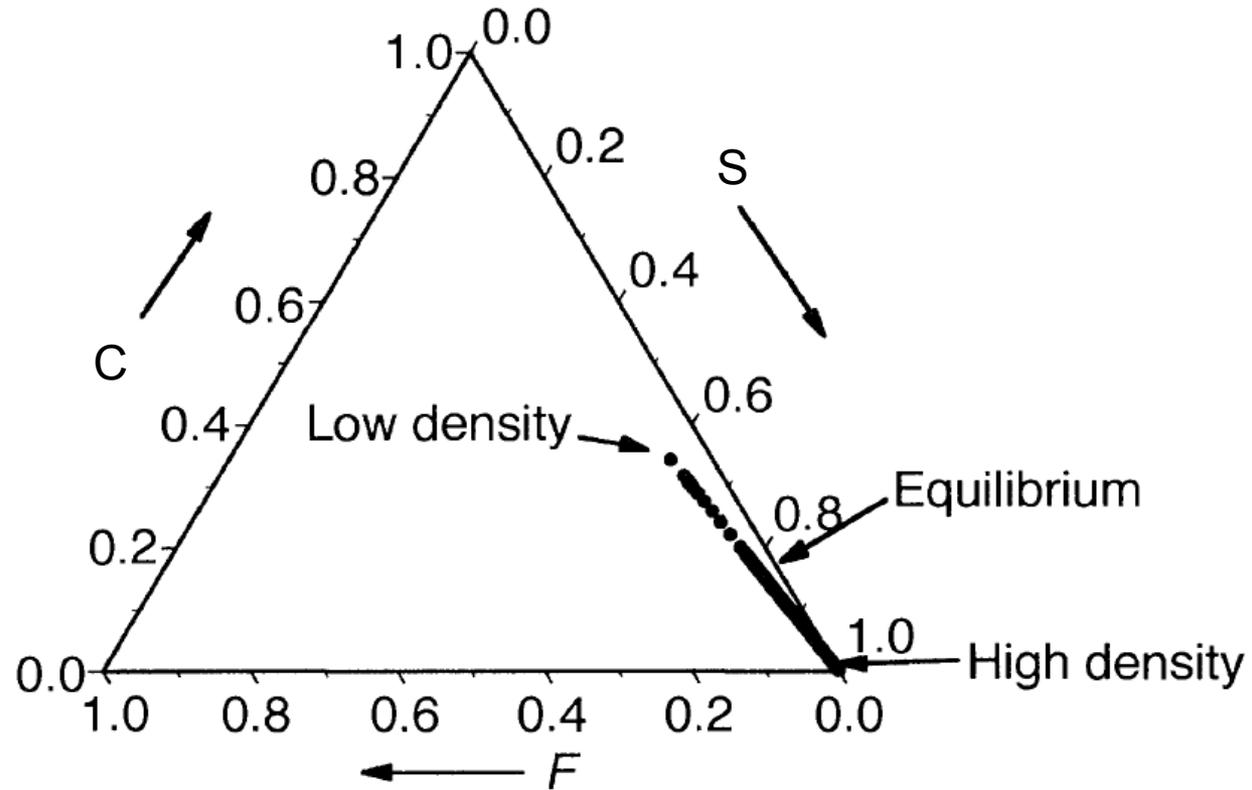


# Triângulo demográfico



O investimento varia entre histórias de vida (Silvertown et al. 1992)

# Triângulo demográfico



Triângulo demográfico para populações simuladas contendo diferentes densidades de plântulas de palmiteiro (*Euterpe edulis*) na mata de Santa Genebra, Campinas-SP.



*Contributed Paper*

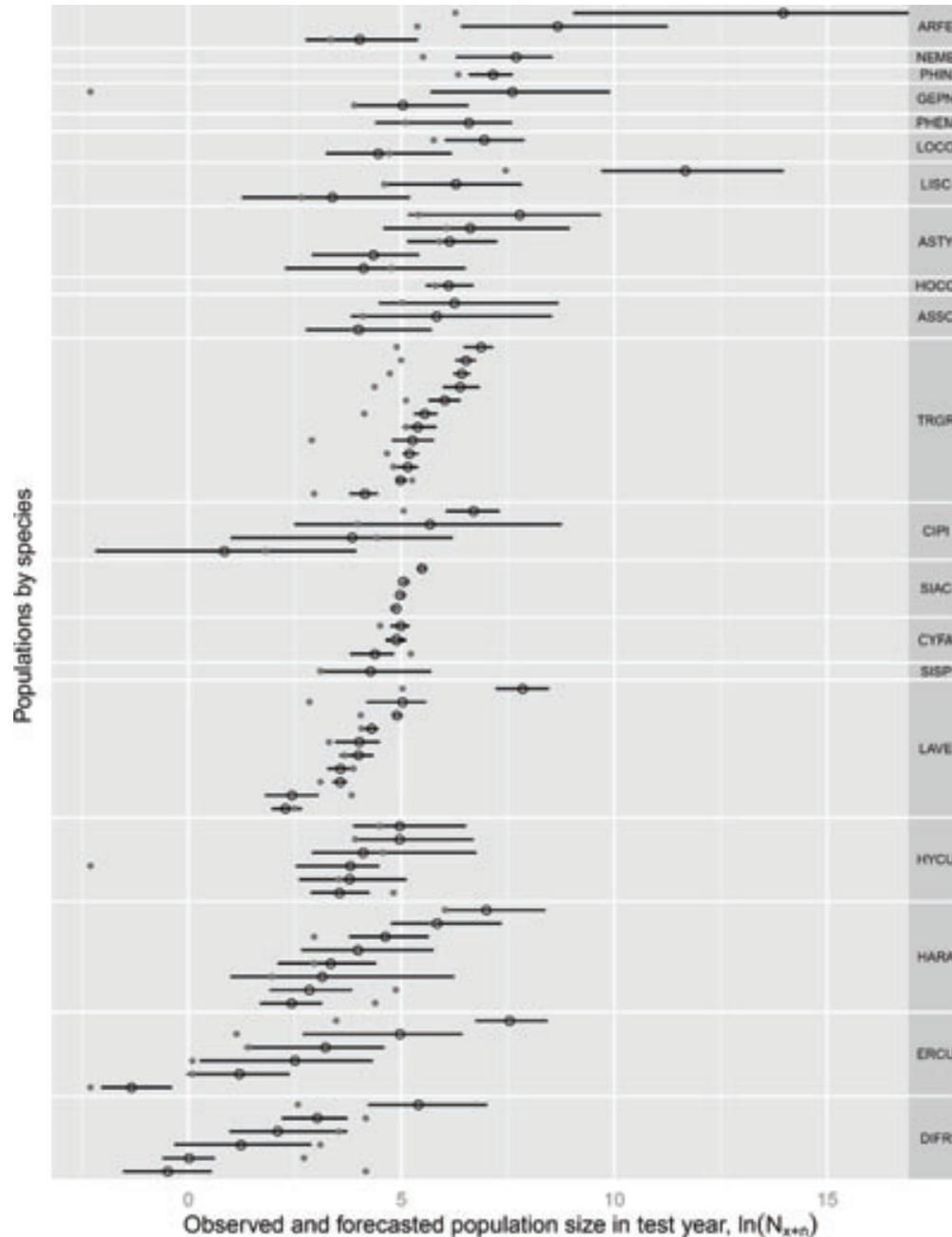
## **Ability of Matrix Models to Explain the Past and Predict the Future of Plant Populations**

ELIZABETH E. CRONE,\* MARTHA M. ELLIS,† WILLIAM F. MORRIS,‡ AMANDA STANLEY,§  
TIMOTHY BELL,\*\* PAULETTE BIERZYCHUDEK,†† JOHAN EHRLÉN,‡‡ THOMAS N. KAYE,§  
TIFFANY M. KNIGHT,§§ PETER LESICA,\*\*\* GERARD OOSTERMEIJER,†††  
PEDRO F. QUINTANA-ASCENCIO,‡‡‡ TAMARA TICKTIN,§§§ TERESA VALVERDE,\*\*\*\*  
JENNIFER L. WILLIAMS,†††† DANIEL F. DOAK,‡‡‡‡ RENGAIAN GANESAN,§§§§  
KATHYRN MCEACHERN,\*\*\*\*\* ANDREA S. THORPE,§ AND ERIC S. MENGES†††††

Crone et al. 2013

- Teste realizado com 82 populações de 20 espécies de plantas
  - 1 - Amostragem inicial durante dois a cinco anos consecutivos
  - 2 - Estimativa do tamanho populacional para t anos no futuro (pelo menos 5 anos) usando modelos matriciais
  - 3 - Reamostragem no ano t para conferir se a estimativa estava, ou não, correta

# Modelos Matriciais



- 40% das populações observadas caíram dentro do intervalo de confiança da estimativa feita usando os modelos matriciais

- Em geral, os modelos matriciais superestimaram o tamanho populacional real

- O erro da estimativa deve estar relacionado à mudanças nas condições ambientais, principalmente precipitação e temperatura

“As condições do futuro não são iguais às do passado”

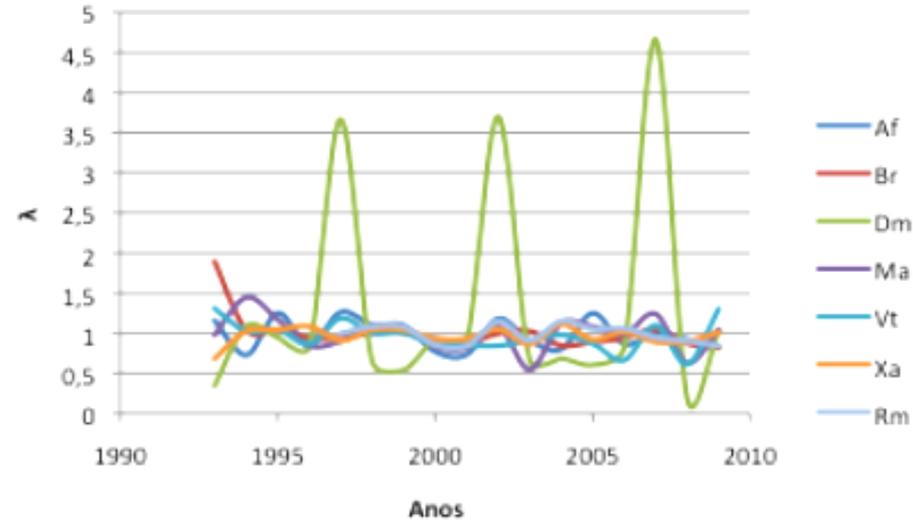
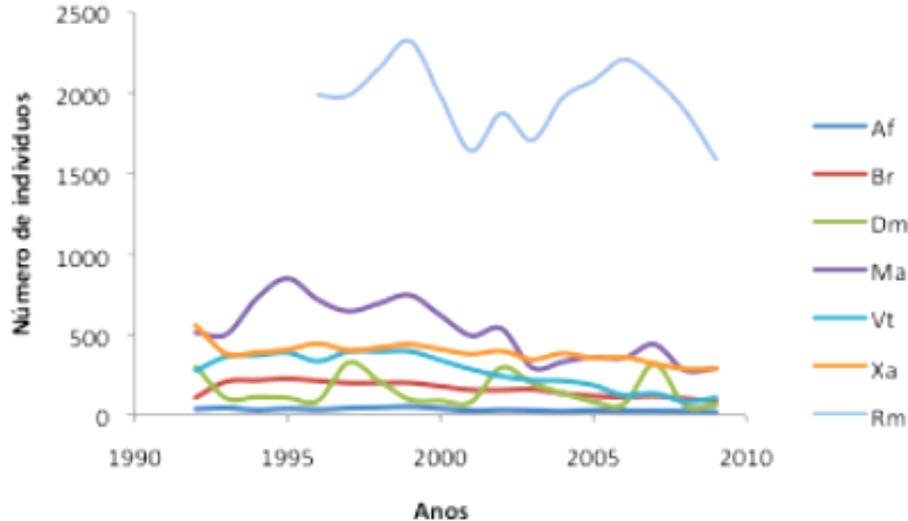
● — Estimativa  $\pm$  intervalo de conf.  
○ Observado

# Modelos Matriciais

- Modelos matriciais são pouco precisos para estimar o futuro das populações, a não ser que as condições ambientais se mantenham constantes;
- Útil para comparar o comportamento de populações sujeitas a diferentes condições ambientais;
- Útil para avaliar os efeitos em curto prazo de ações de manejo;
- Útil para tentar avaliar quais processos demográficos são mais importantes para a dinâmica populacional

# Modelos Matriciais - Estocásticos

A densidade e a taxa de crescimento populacional das espécies variam muito entre anos

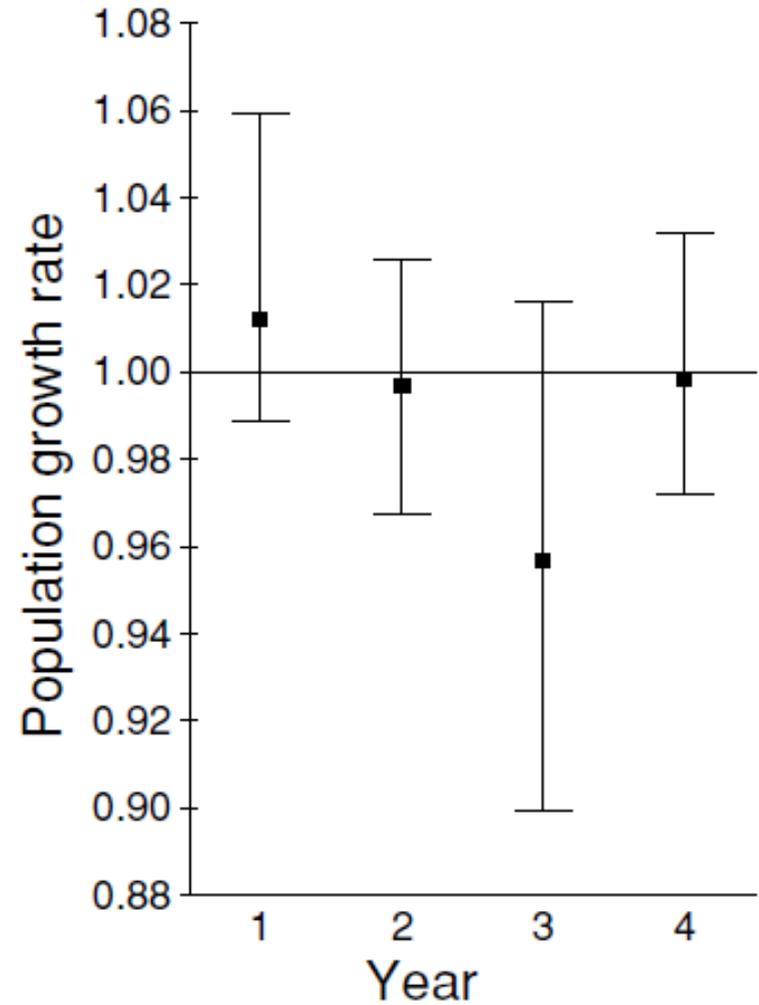


Af: *Anadenanthera falcata*  
Br: *Bauhinia rufa*  
Dm: *Dalbergia miscolobium*  
Ma: *Miconia albicans*  
Vt: *Vochysia tucanorum*  
Xa: *Xylopia aromatica*

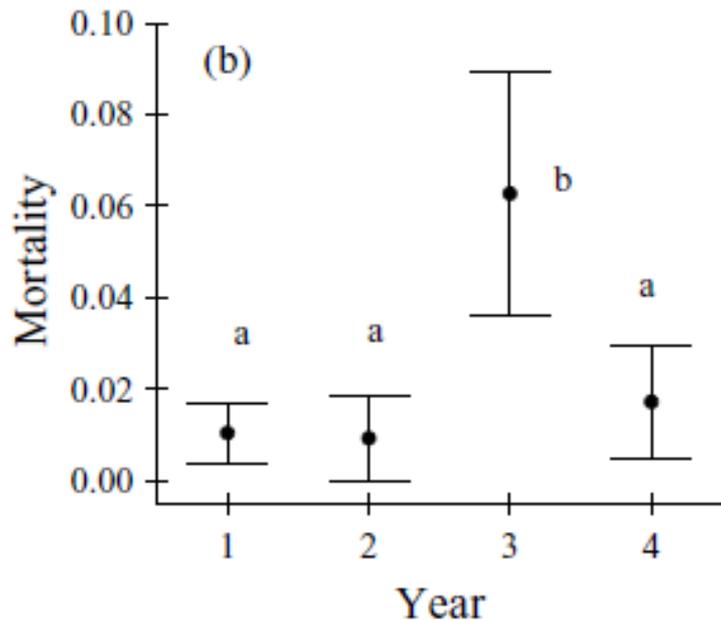
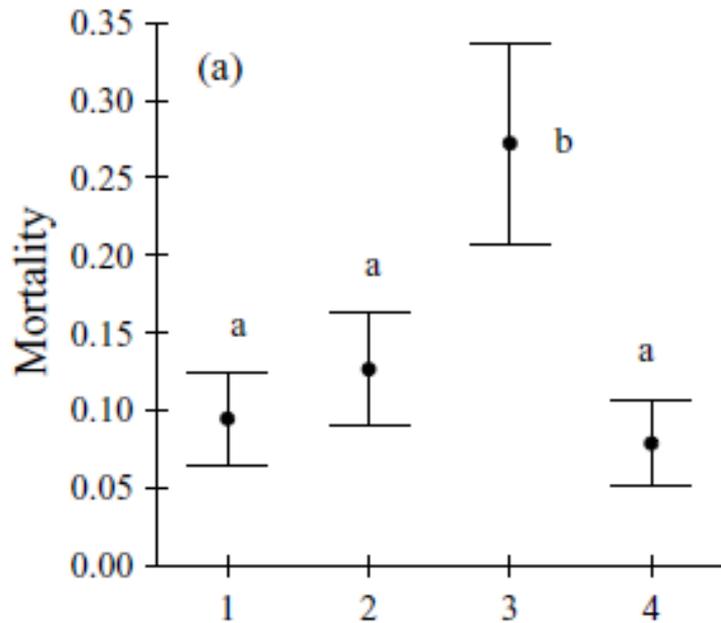
Fatores estocásticos:

- Variações climáticas entre anos
- Competição interespecífica
- Disponibilidade de recursos
- Herbivoria
- Fogo

## *Geonoma schottiana*



# Modelos Matriciais - Estocásticos



Predação do meristema apical por macacos em indivíduos jovens e reprodutivos no ano 3

4 matrizes de transição, 1 para cada ano:

1 = ano bom (A1)

2 = ano bom (A2)

3 = ano ruim (A3)

4 = ano bom (A4)

Modelo determinístico:

$$A * A * A * A * A * A * A * A * A * A * n_1 = n_{10}$$

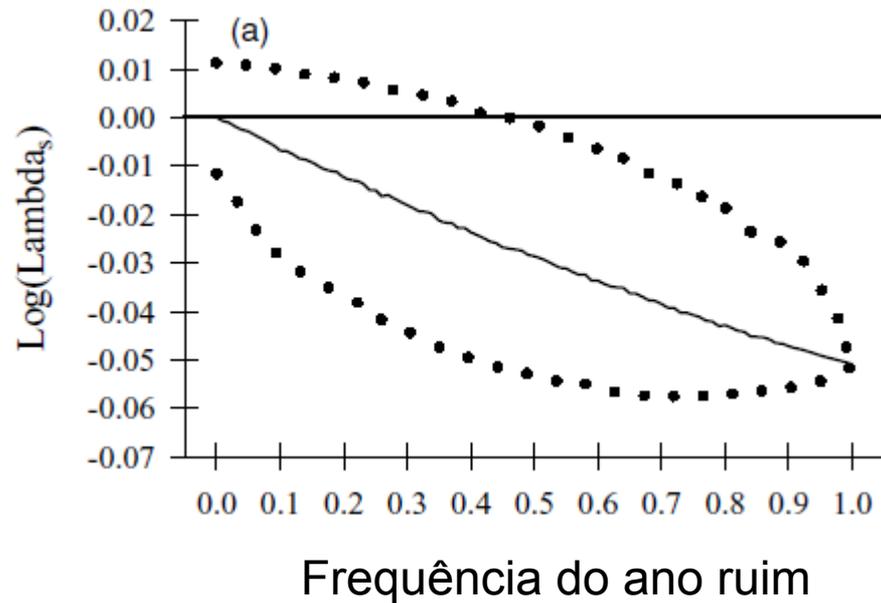
Modelo estocástico:

$$A2 * A3 * A4 * A1 * A3 * A1 * A1 * A2 * A3 * A4 * n_1 = n_{10}$$

Bootstrap (10.000 aleatorizações)

Simula o que aconteceria se as condições ambientais variassem ao longo do tempo

# Modelos Matriciais - Estocásticos



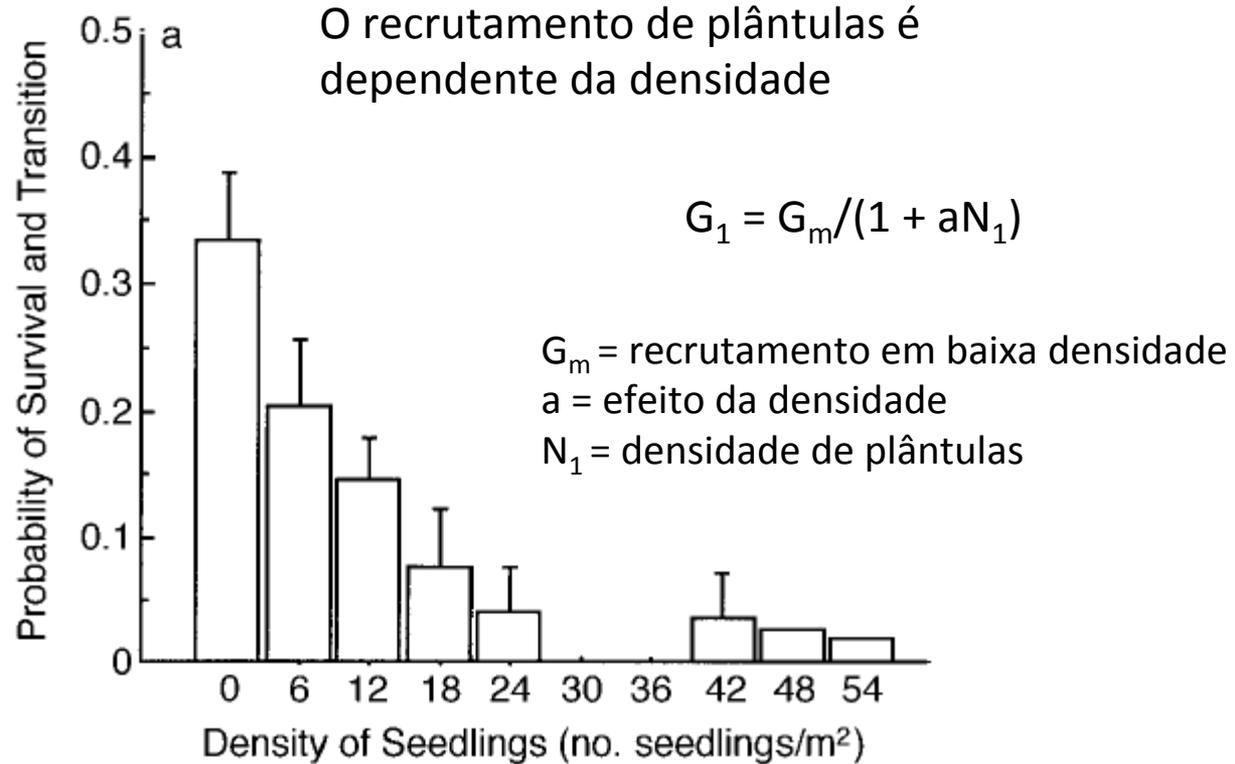
Simulação de diferentes frequências de ocorrência do ano ruim (matriz A3)

Se o ano ruim ocorrer mais de uma vez a cada três anos:

- $\lambda < 1$
- redução no tamanho da população em longo prazo

# Modelos Matriciais - dependência da densidade

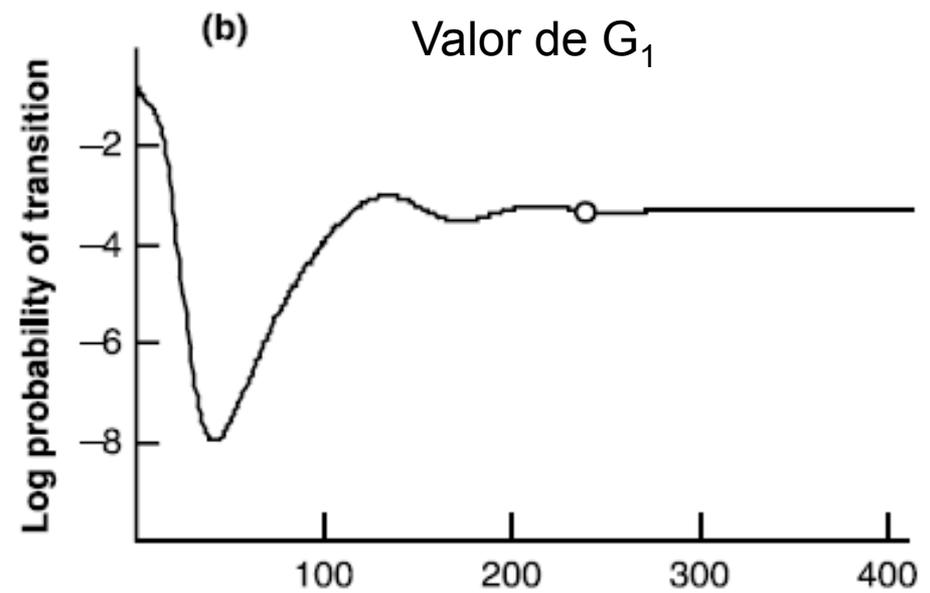
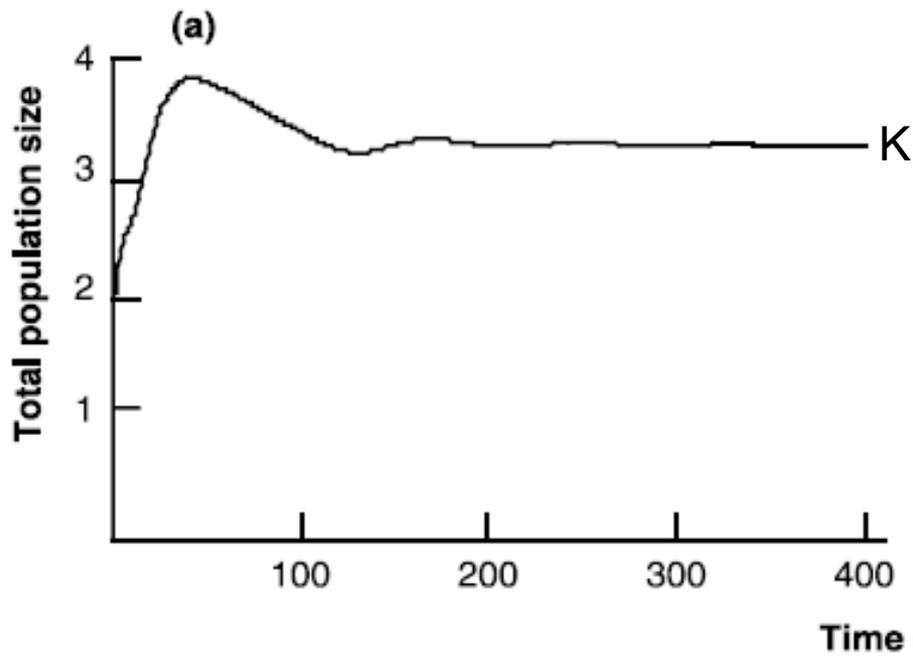
Palmeiteiro – *Euterpe edulis*



Matriz de transição

0.5116	0	0	0	0	0	98
$G_1$	0.7639	0	0	0	0	0
0	0.1089	0.7366	0	0	0	0
0	0	0.1995	0.611	0	0	0
0	0	0	0.3867	0.801	0	0
0	0	0	0	0.179	0.78	0
0	0	0	0	0	0.19	0.9954

# Modelos Matriciais - dependência da densidade



Silva-Matos et al 1999  
Freckleton et al 2003

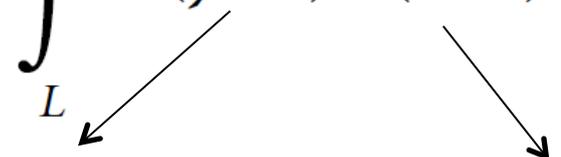
## Integral Projection Models (IPM):

- Utilizado para populações estruturadas
- Ao invés de classes ou estádios discretos, é utilizada uma variável contínua que descreve o tamanho
- Não há necessidade de criar classes arbitrárias para agrupar os indivíduos
- Maior precisão nas estimativas do que os modelos matriciais, pois IPMs levam em conta as variações entre indivíduos
- Mais realista, principalmente para espécies que não possuem estádios bem delimitados (ex. árvores)

# Modelos de Projeção Integral

O crescimento populacional é descrito por uma equação integral

$$\text{Modelo matricial: } n_{t+1} = A n_t$$

$$\text{IPM: } n(y, t + 1) = \int_L^U K(y, x) n(x, t) dx$$


Função de projeção que substitui a matriz  $A$ , onde  $K(y, x) = P(y, x) + F(y, x)$ .

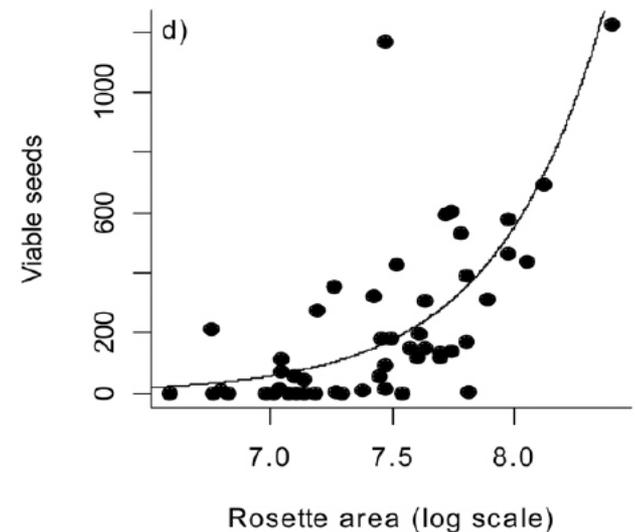
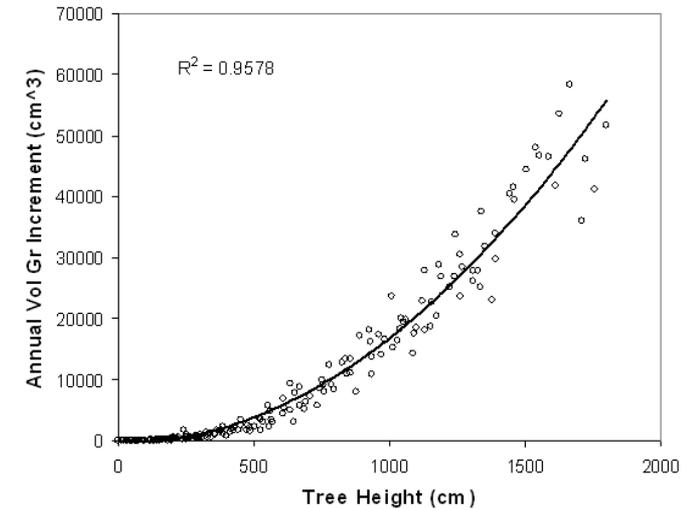
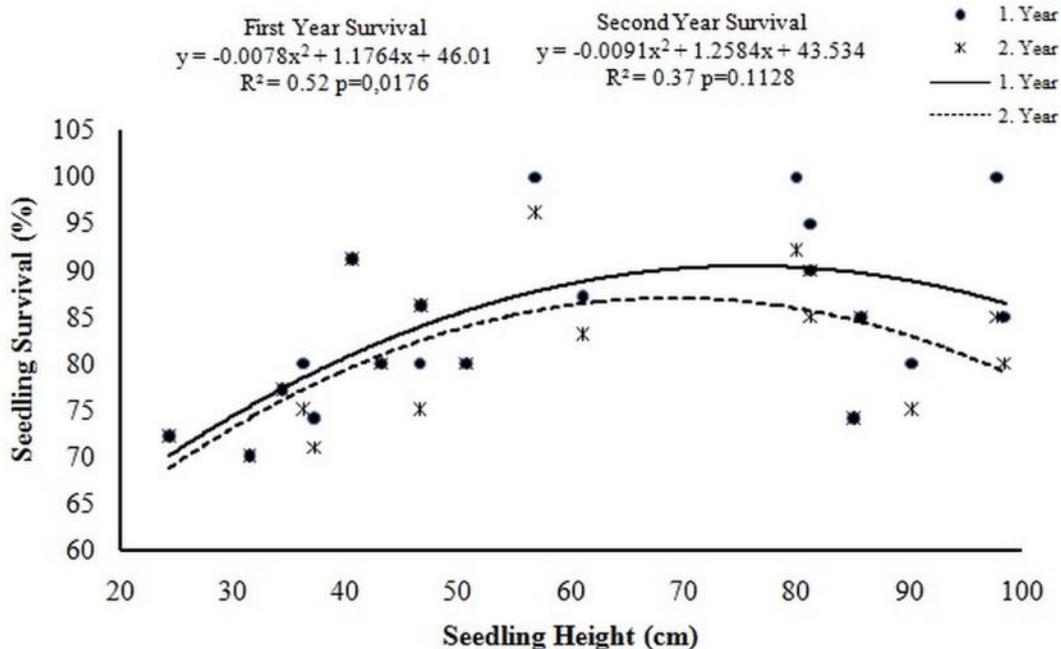
$P(y, x)$  é a probabilidade de sobrevivência e de crescimento do estado  $x$  para  $y$

$F(y, x)$  é a taxa de produção de indivíduos do estado  $y$  por indivíduo do estado  $x$

Função de distribuição que substitui o vetor do tamanho populacional ( $n_t$ ), e que é uma variável contínua ( $x$ ) que descreve o tamanho do indivíduo no tempo  $t$

# Modelos de Projeção Integral

A função de projeção  $K(y, x)$  é calculada usando regressões para estimar as taxas de sobrevivência, crescimento e fecundidade em função do tamanho do indivíduo.



Estudos de ecologia de populações têm sido muito utilizados para embasar o manejo de PFNM

Produtos Florestais Não-Madeireiros (PFNM):

- Materiais biológicos, exceto a madeira, colhidos de ecossistemas naturais
- Alimentos, remédios naturais, utensílios domésticos, etc.
- Importância social: gera renda que ameniza a pobreza na zona rural

Sobreexploração dos PFSM pode causar impactos ecológicos:

- Redução do vigor dos indivíduos sujeitos ao extrativismo
- Redução do estabelecimento de plântulas
- Redução da disponibilidade de recursos para animais
- Depleção dos nutrientes do ecossistema
- Perda de variabilidade genética

É importante avaliar a sustentabilidade do extrativismo

## Extrativismo de buriti

*Mauritia flexuosa* (buriti, miriti, muriti)

- Importante fonte de PFNM
- Produtos com maior valor econômico:
  - Óleo (1 l = R\$ 50,00)
  - Doce (2.000 kg = R\$ 10.000,00)
  - Fibras das folhas (IBGE 2010)  
476 ton. = R\$ 1.693.000,00  
principalmente no Maranhão
- Segurança alimentar
  - vitamina A, C, óleos, etc.



# Extrativismo de buriti



- Ampla distribuição na América do Sul
- No Brasil Central, é a espécie dominante dos brejos
- Brejos são estreitos e compridos
- Regiões de nascentes
- Solo encharcado
- Campo limpo nas margens



# Extrativismo de buriti

16 populações:

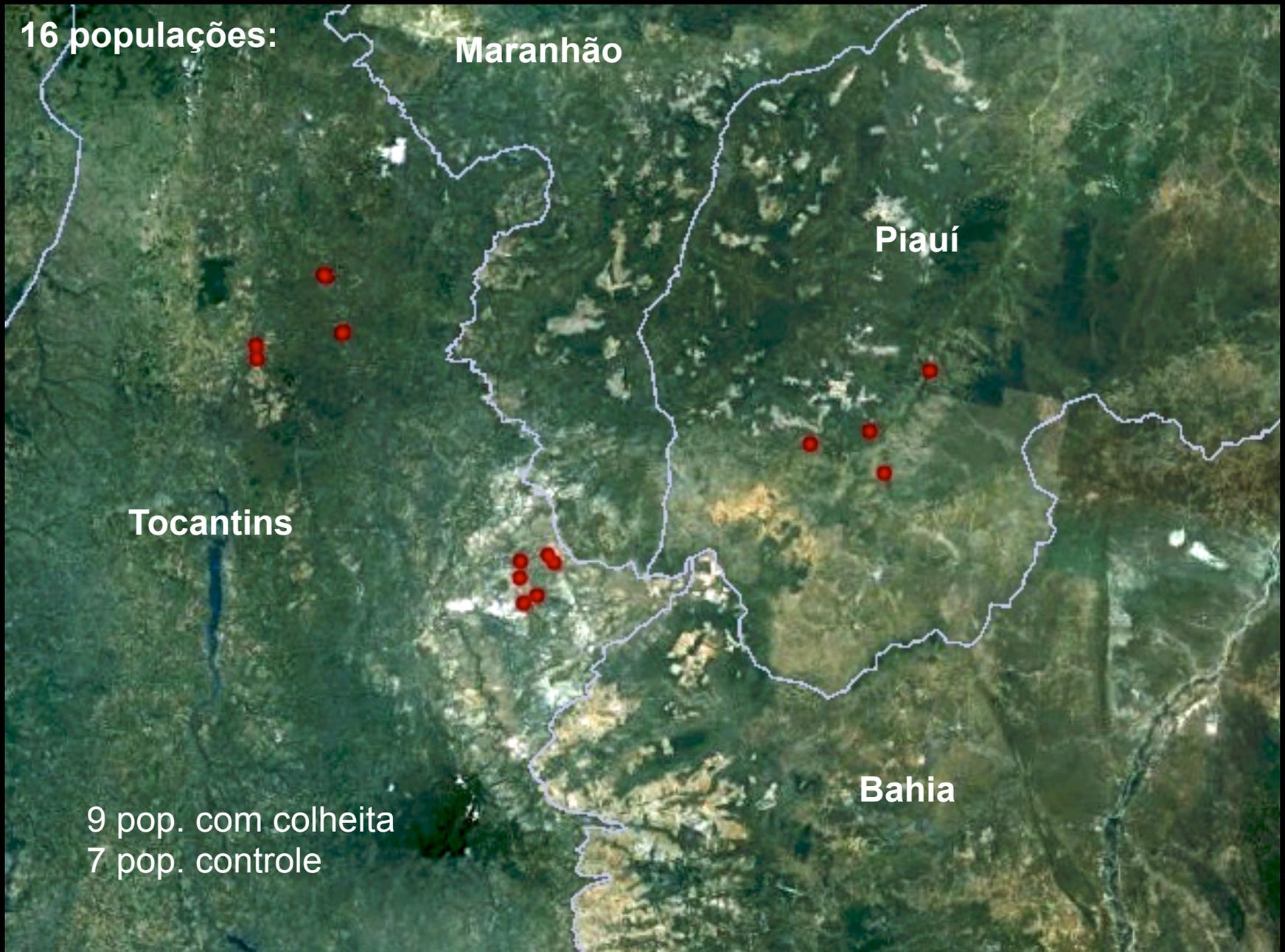
Maranhão

Piauí

Tocantins

Bahia

9 pop. com colheita  
7 pop. controle

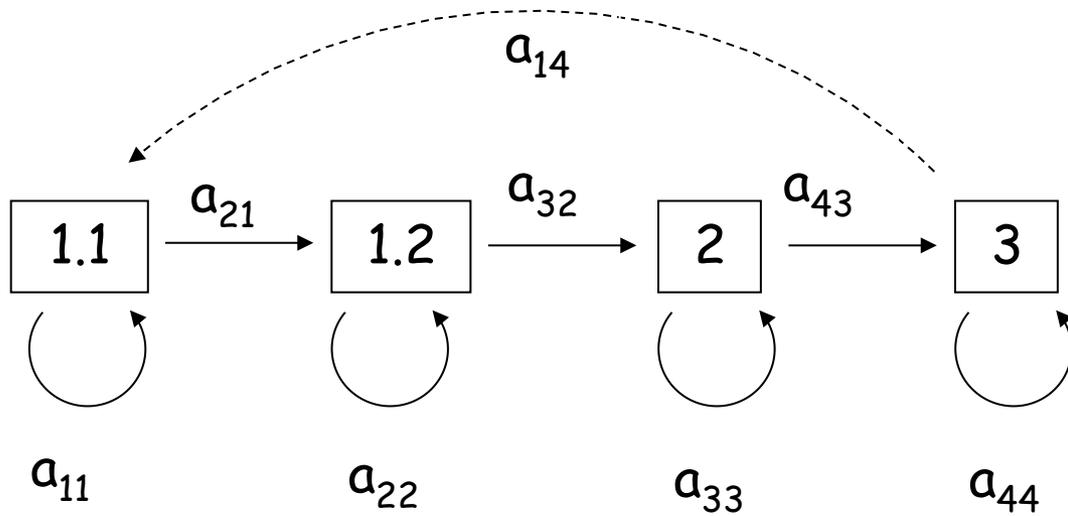


# Extratrativismo de buriti



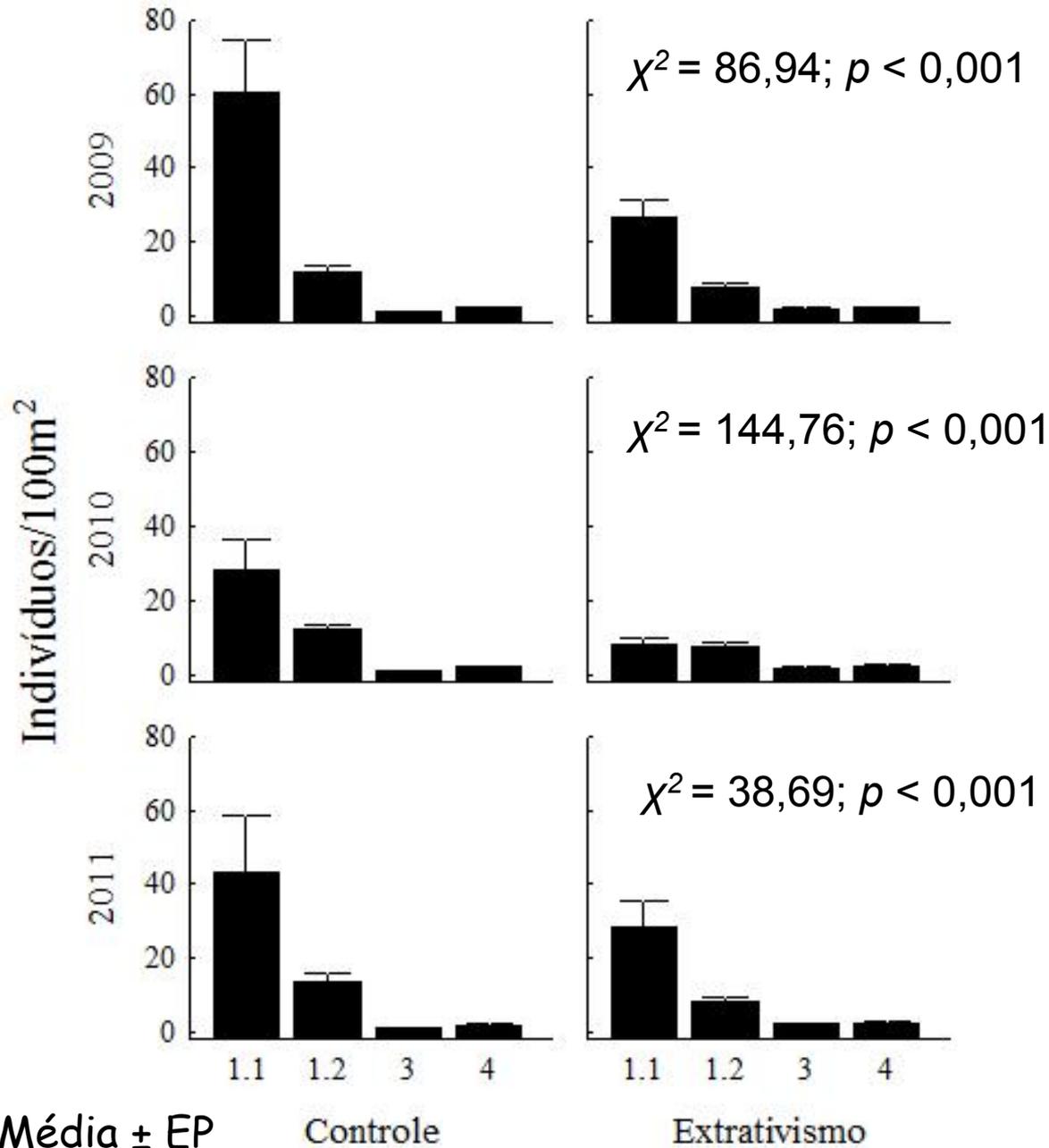
13 a 20 parcelas por brejo  
Amostragens em 2009, 2010 e 2011

# Extrativismo de buriti



$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

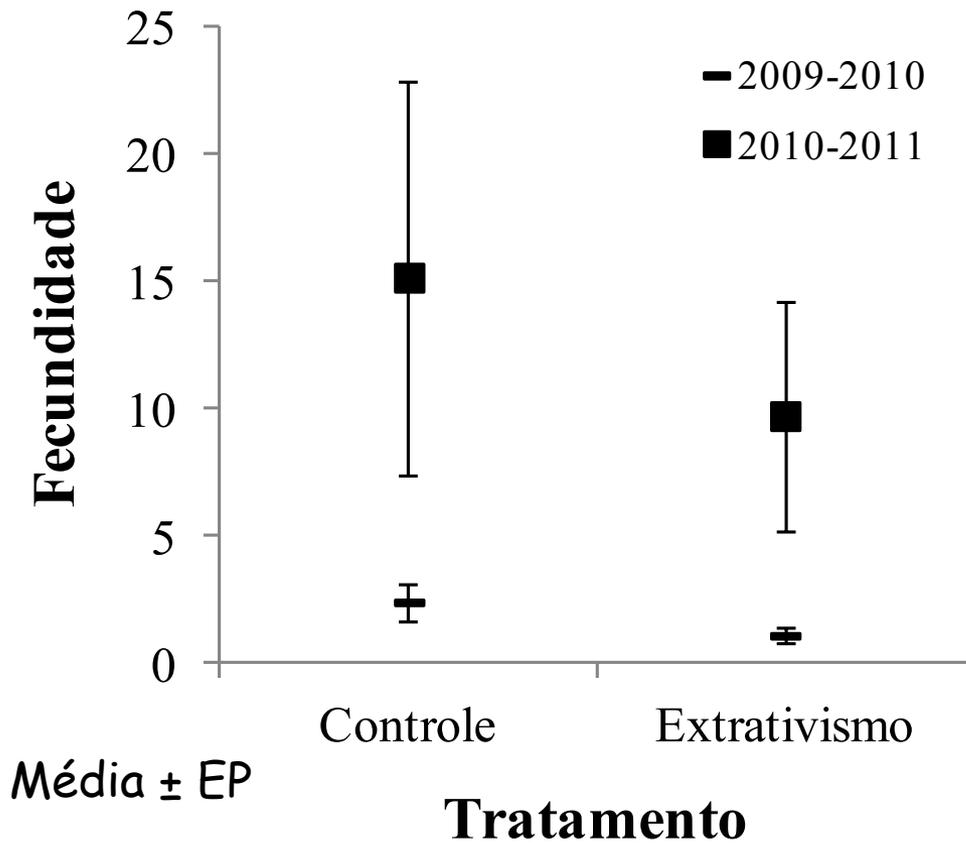
# Extrativismo de buriti



- Densidade de 1.1 foi menor no extrativismo do que no controle

# Extrativismo de buriti

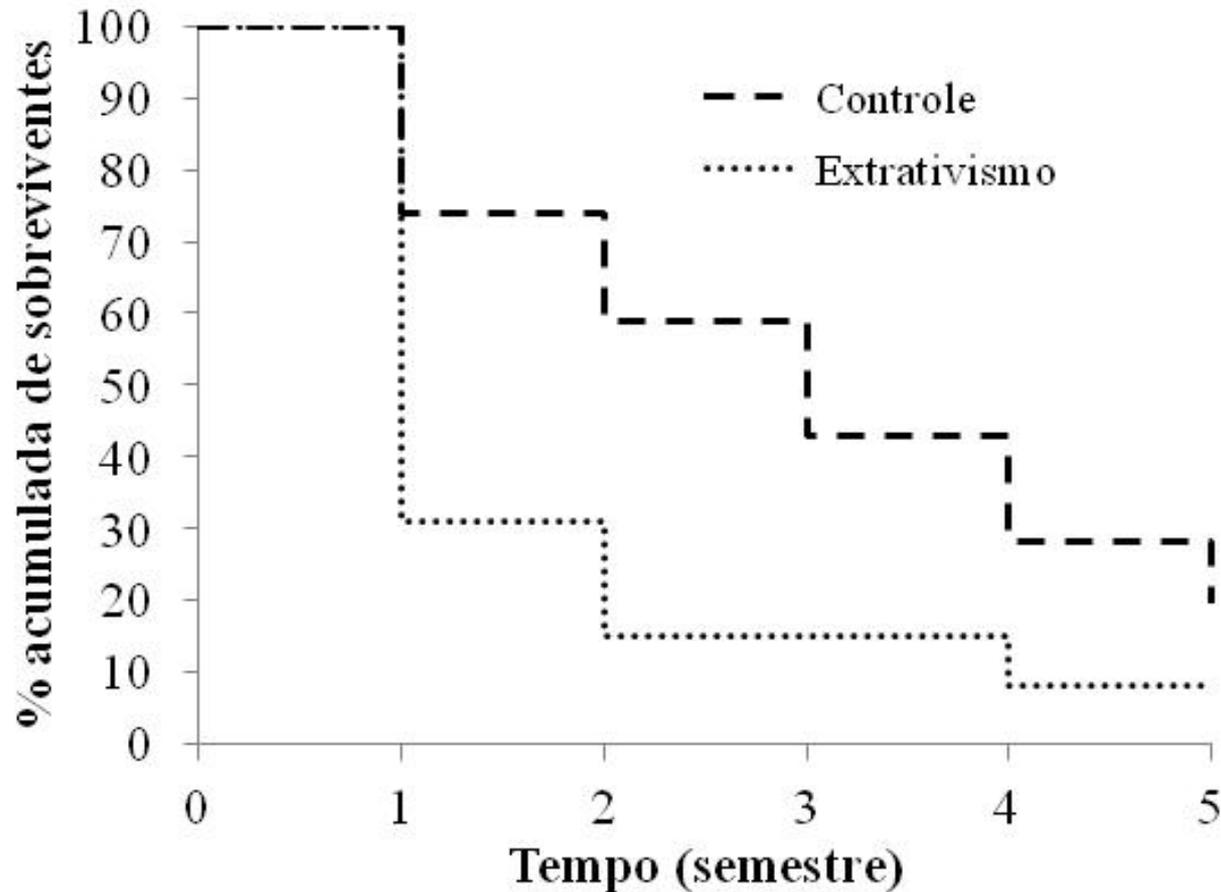
Fecundidade = número médio de recrutas gerado por cada reprodutivo



- A fecundidade não diferiu entre controle e extrativismo
- Maior fecundidade no período entre 2010-2011

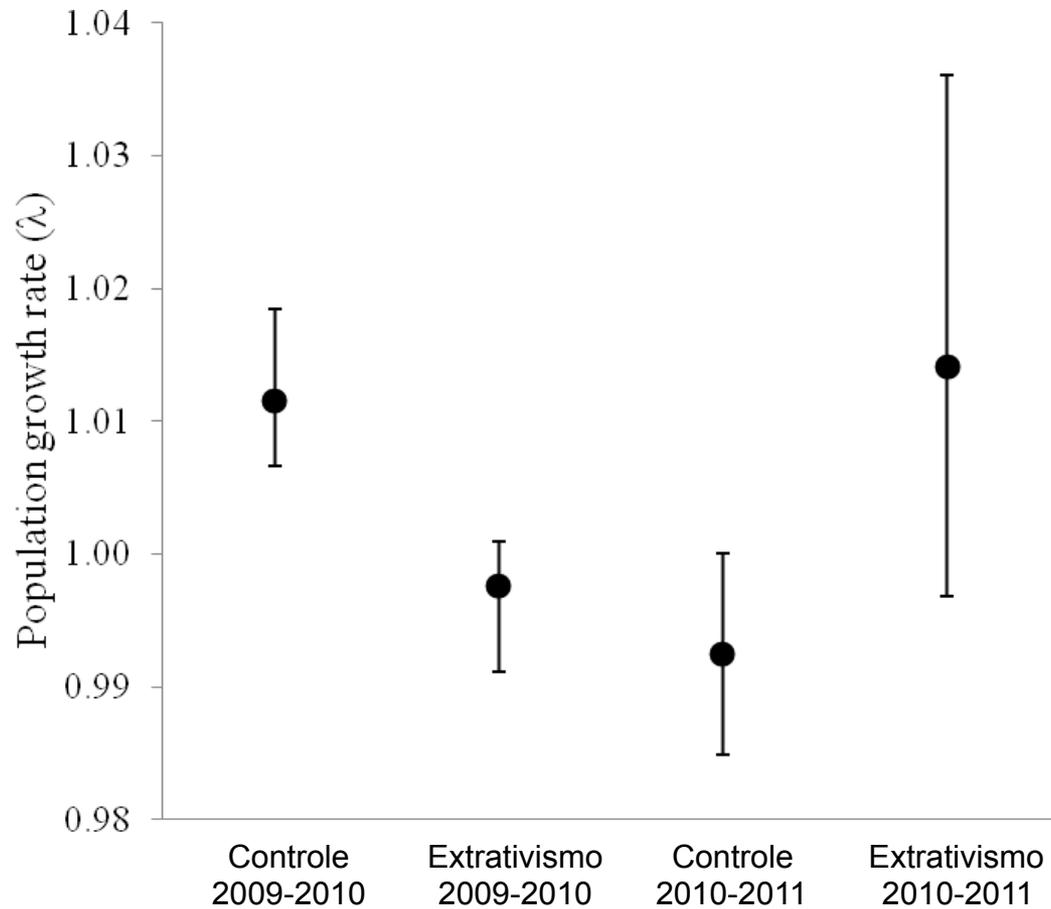
# Extrativismo de buriti

A fecundidade não foi diferente entre tratamentos, mas a sobrevivência de plântulas diferiu entre controle e extrativismo



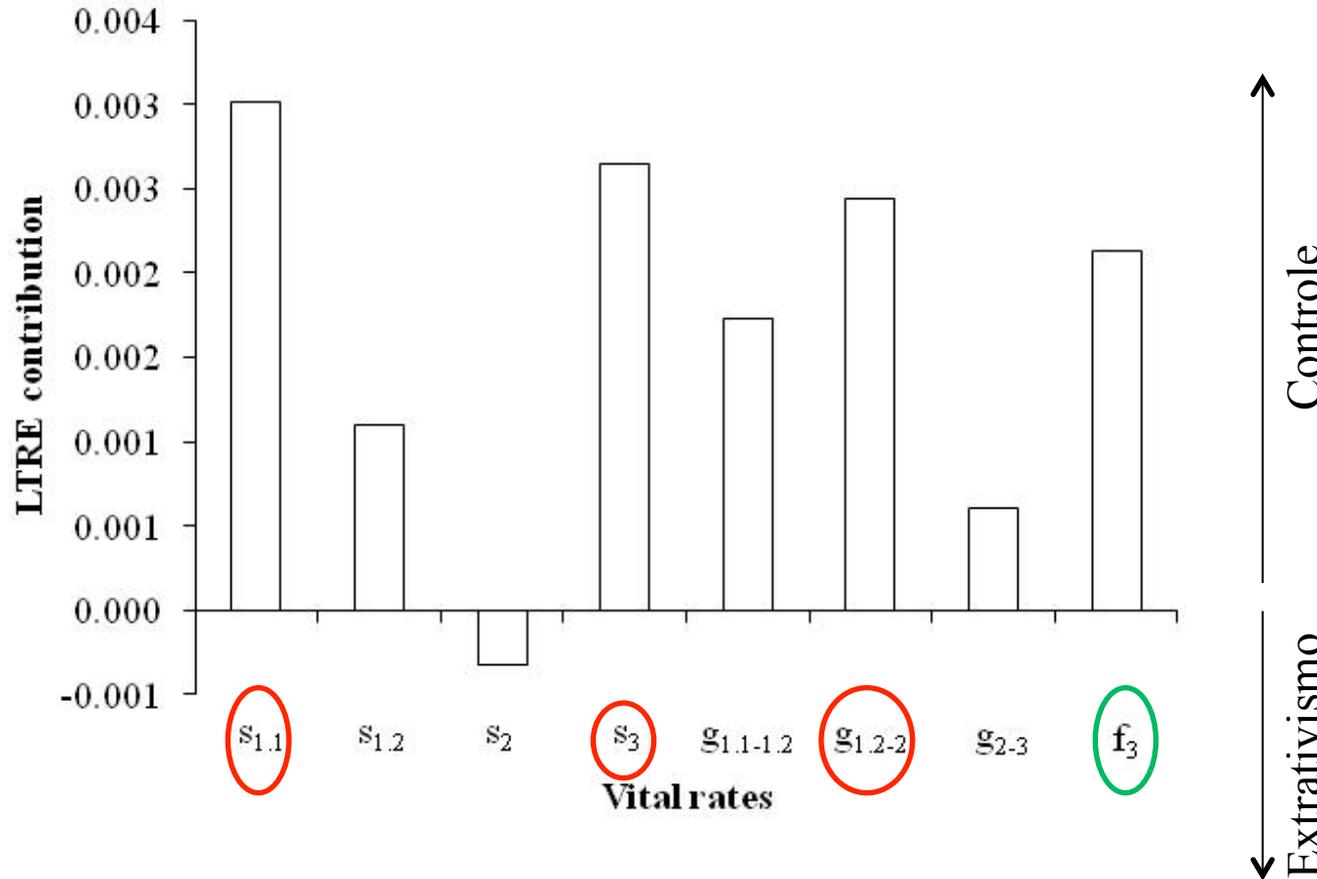
# Extrativismo de buriti

Houve diferença no crescimento populacional entre 2009 e 2010, mas não entre 2010 e 2011



# Extratrativismo de buriti

Análise de LTRE (Life Table Response Experiments) – contribuição das taxas vitais para a diferença no  $\lambda$  entre tratamentos no período de 2009 - 2010



• A fecundidade teve baixa contribuição

• A sobrevivência das plântulas e o crescimento dos indivíduos tiveram alta contribuição

s = sobrevivência

g = crescimento entre estádios

f = fecundidade

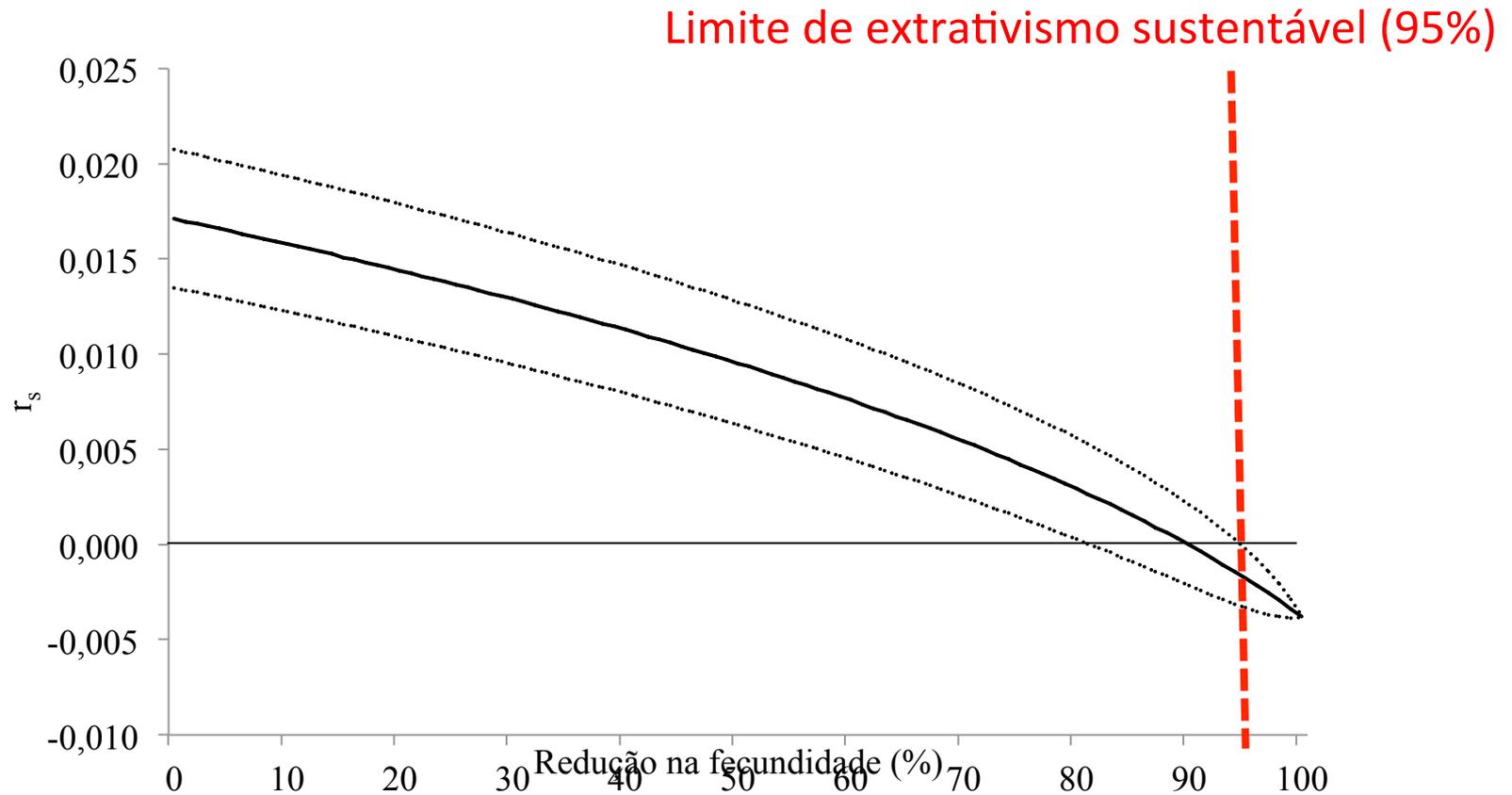
# Extrativismo de buriti

Simulação numérica dos efeitos do extrativismo de frutos na dinâmica populacional

$$\begin{matrix} & & A & & n_1 & & n_2 \\ \left[ \begin{array}{ccc} p1 & 0 & f3 - 10\% \\ c1 & p2 & 0 \\ 0 & c2 & p3 \end{array} \right] & * & \begin{bmatrix} n1 \\ n2 \\ n3 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} m1 \\ m2 \\ m3 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$n_{t+1} = \lambda n_t$$

# Extrativismo de buriti



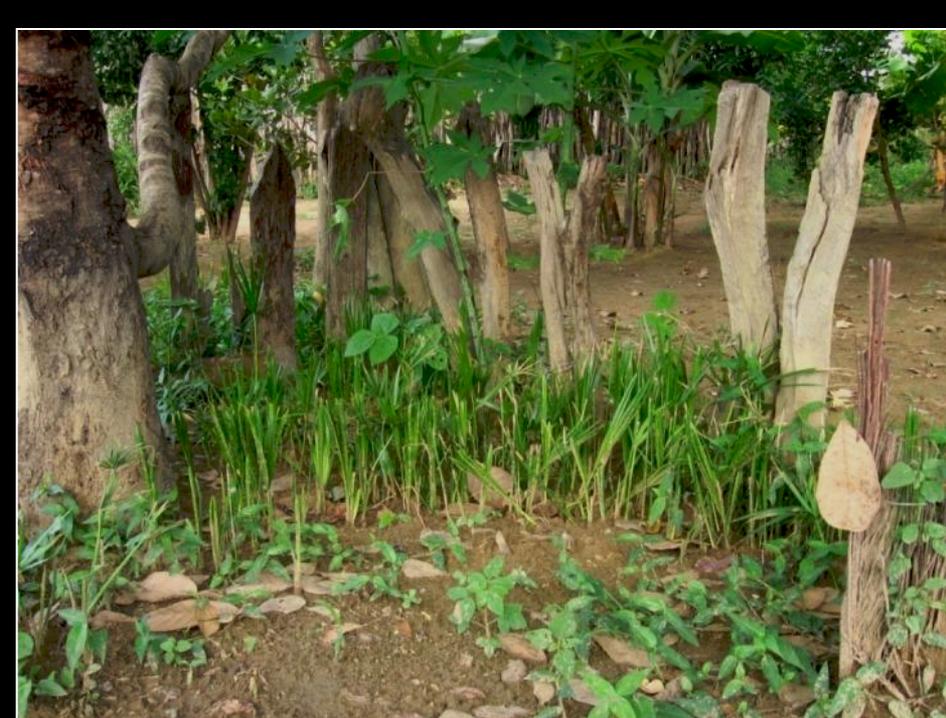
Algumas famílias conseguem colher até 50% dos frutos produzidos durante uma safra, mas dificilmente colherão mais do que isso.

Buriti – *Mauritia flexuosa*

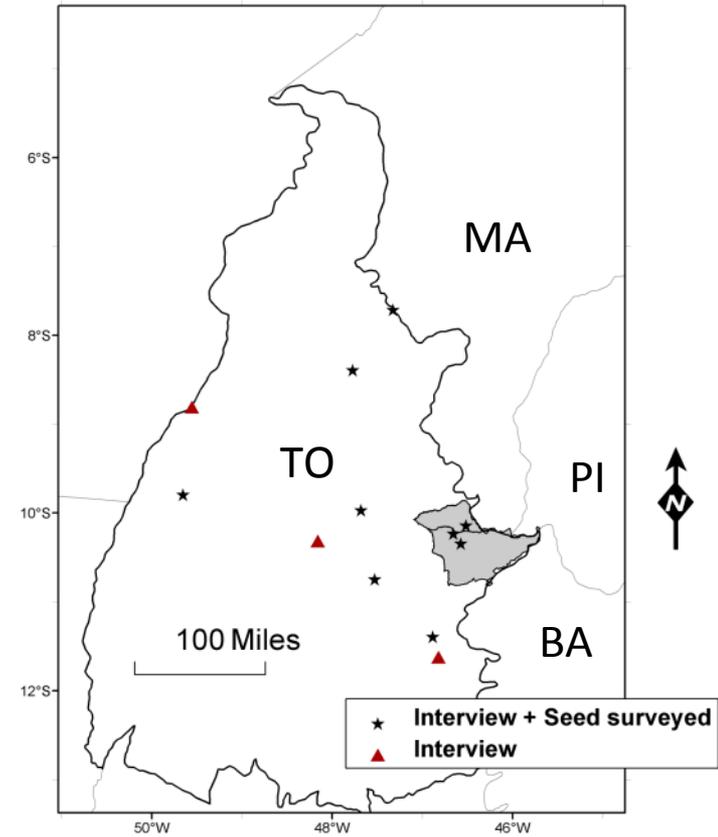
Sampaio & Santos (2012)

# Extrativismo de buriti

- Espalhar as sementes no brejo após o despulpamento dos frutos
- Reduzir o pisoteio das plântulas durante a coleta de frutos



# Extrativismo de capim-dourado



Schmidt & Ticktin 2012

# Extrativismo de capim-dourado



- Moradores da Mumbuca (Jalapão) desenvolveram a técnica de costura do capim-dourado com índios Xerentes, para produzir utensílios domésticos e chapéus, na década de 30.
- No início da déc. de 90 o Jalapão foi descoberto pelo turismo de aventura e começou a comercialização
- Em 2004, artesãos da Mumbuca demandaram ao IBAMA estudos para avaliar a sustentabilidade do extrativismo
- Isabel Schmidt foi convidada pelo IBAMA a iniciar o estudo (mestrado e doutorado)

# Extrativismo de capim-dourado



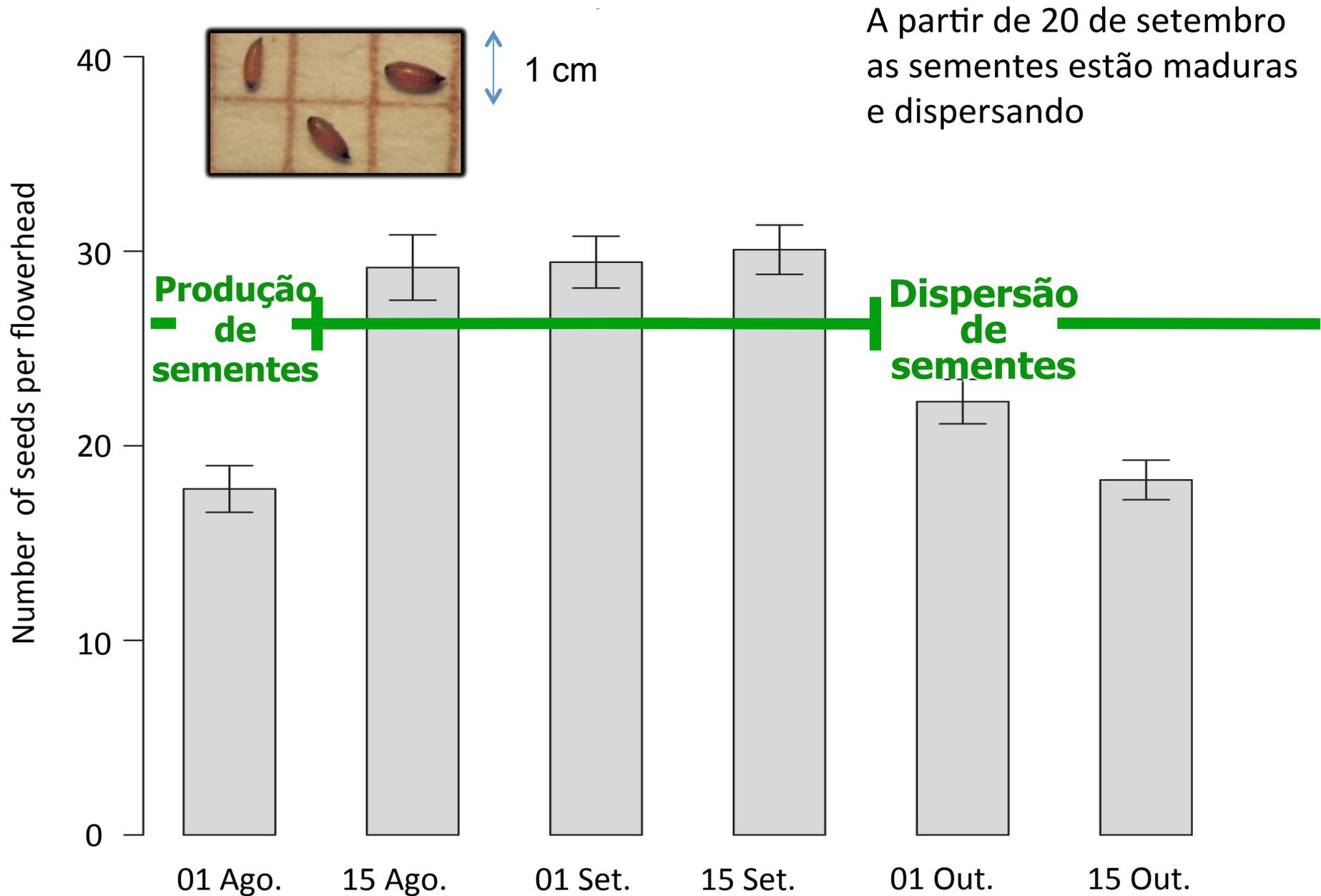
Capim-dourado – *Singonanthus nitens* (Eriocaulaceae)

Coleta de escapos maduros (após a dispersão das sementes) não causa alterações na:

- Sobrevivência dos indivíduos
- Crescimento dos indivíduos
- Recrutamento de plântulas
- Produção de escapos no ano após a colheita



# Extrativismo de capim-dourado

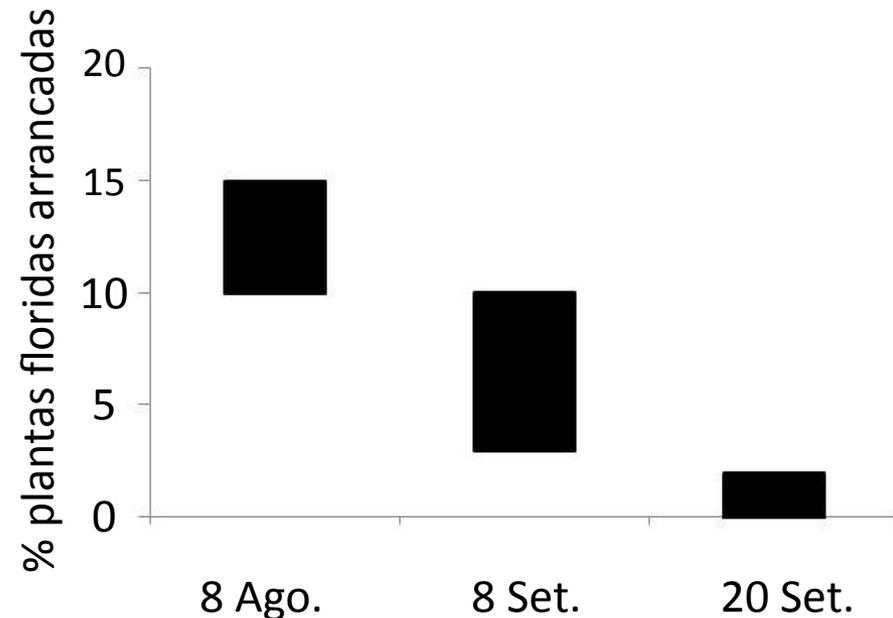


# Extrativismo de capim-dourado

Colheita precoce (antes de 20 de setembro), quando os escapos estão verdes, pode causar a mortalidade de indivíduos reprodutivos

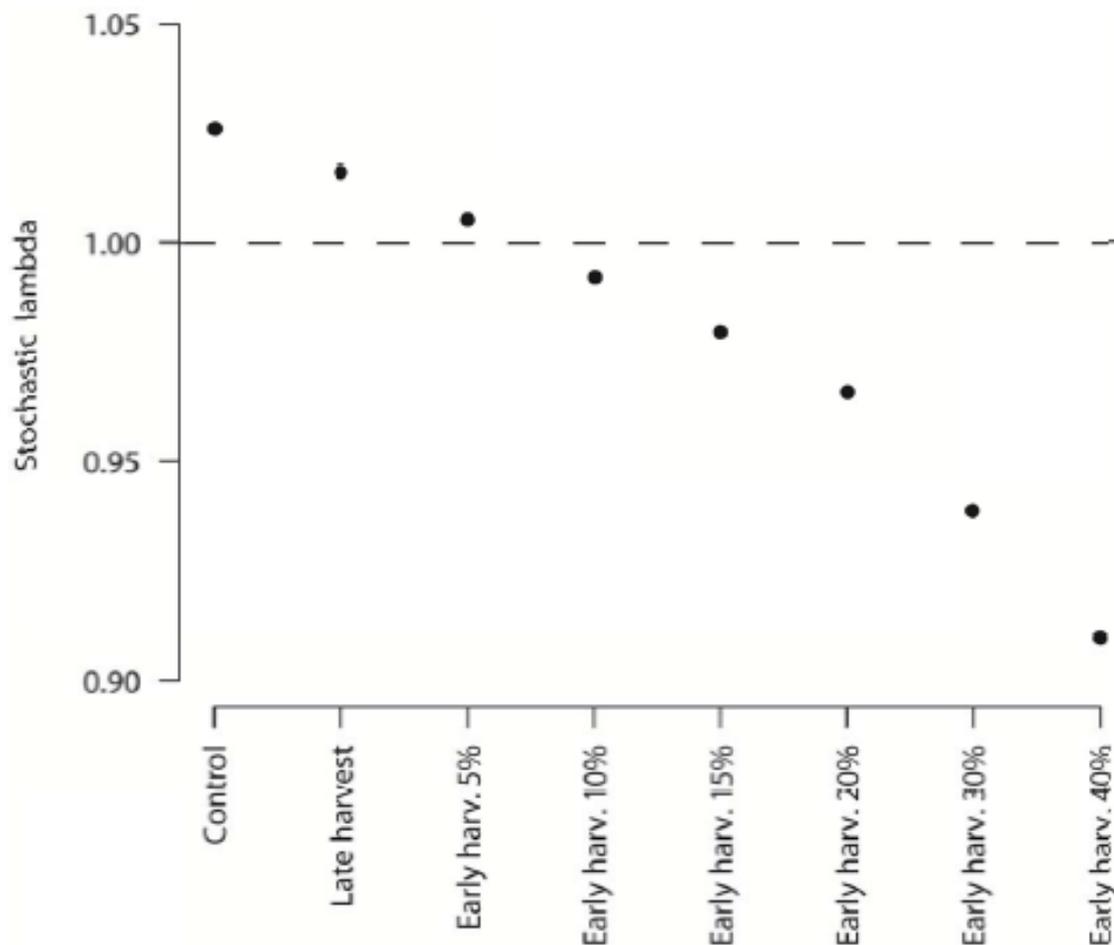


**Conhecimento Ecológico Local:**  
os extrativistas mais experientes já sabiam disso antes do estudo!



# Extrativismo de capim-dourado

## Modelos matriciais – Avaliar o impacto potencial da colheita precoce

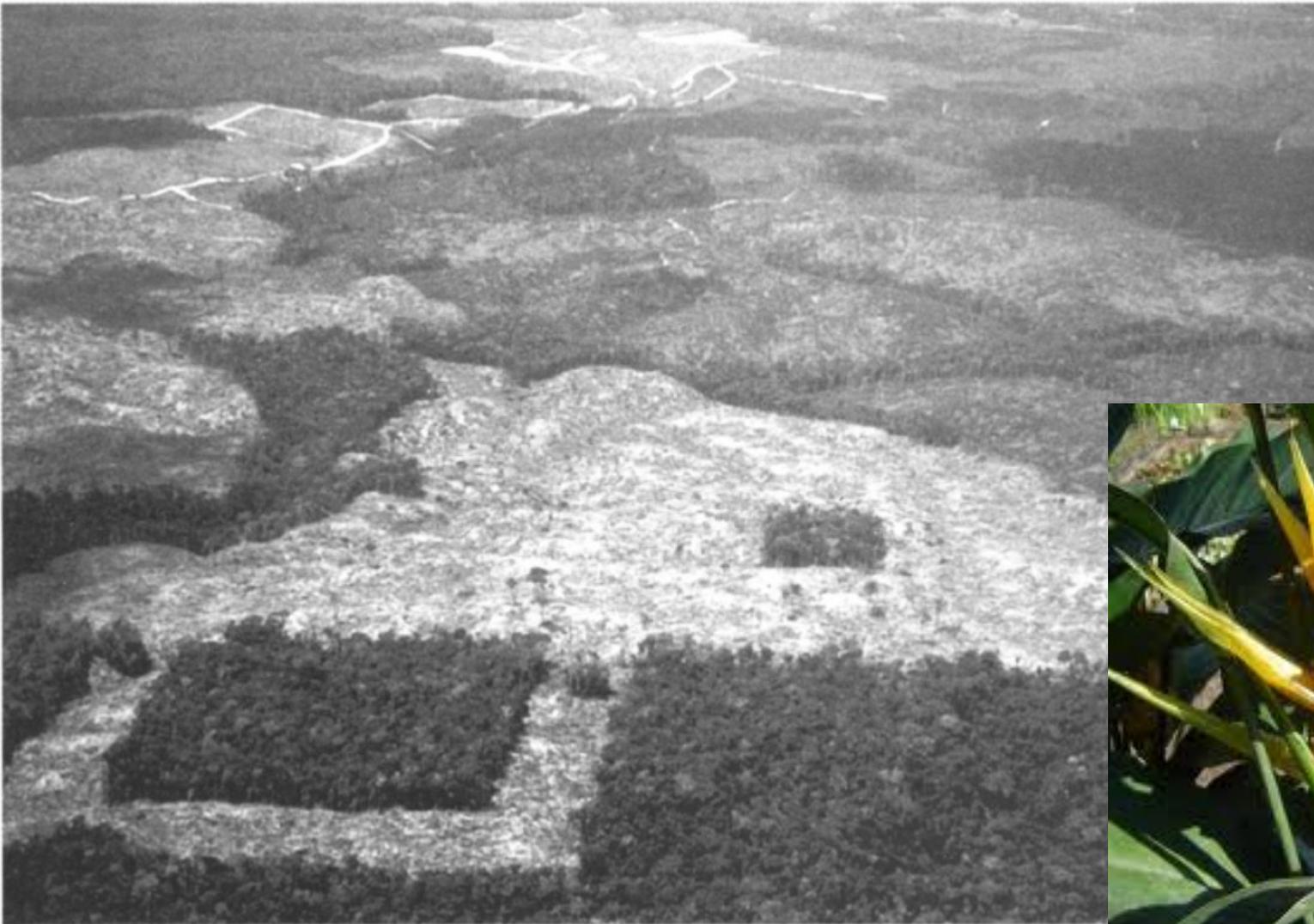


- Acordo entre extrativistas, gestores e pesquisadores
- Criação da Lei do capim-dourado do Tocantins
- Proíbe a coleta antes de 20 set. e estabelece que os capítulos sejam cortados na vereda (dispersão das sementes)

Figure 4.6. Stochastic population growth rates ( $\lambda_s$ ) for golden-grass populations subject to no harvest (control), late harvest (according to traditional practices, after flower stalks are dry), and early harvest (before flower stalks are dry). Early harvest is simulated with increasing rates of flowering adult mortality caused by flower stalks harvest. All simulations assume a biennial fire return interval.

# Efeitos da fragmentação florestal

PDBFF – Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (INPA)



*Heliconia acuminata*

Fragmentos de 1 ha, 10 ha e floresta contínua  
Bruna & Oli (2005)

# Efeitos da fragmentação florestal

TABLE 1. Asymptotic growth rates ( $\lambda$ ) of the populations used in this study and characteristics of the plots where they are located.

Plot	Habitat type <sup>†</sup>	BDFFP reserve no. <sup>‡</sup>	Year isolated	<i>Heliconia acuminata</i> density in 1999 <sup>§</sup>	1998–1999	1999–2000
					$\lambda$ (95% CI)	$\lambda$ (95% CI)
FF-1	1-ha	2107	1984	214	0.983 (0.937–1.000)	0.997 (0.967–1.017)
FF-2	1-ha	2108	1984	161	0.978 (0.880–1.000)	0.988 (0.955–1.000)
FF-3	1-ha	1104	1980	206	0.987 (0.859–1.040)	0.989 (0.967–1.000)
FF-4	1-ha	3114	1983	250	0.988 (0.960–1.000)	0.978 (0.948–0.991)
FF-5	10-ha	2206	1984	162	0.988 (0.945–1.000)	0.978 (0.942–0.996)
FF-6	10-ha	1202	1980	402	0.991 (0.975–0.998)	0.994 (0.984–0.999)
FF-7	10-ha	3209	1983	577	0.999 (0.995–1.000)	0.996 (0.990–0.999)
CF-1	CF	1301	...	753	1.028 (1.001–1.054)	1.040 (1.028–1.058)
CF-2	CF	1501	...	555	1.079 (1.059–1.106)	1.022 (1.013–1.033)
CF-3	CF	1501	...	703	0.987 (0.967–1.003)	0.991 (0.979–0.997)
CF-4	CF	Porto Alegre	...	112	plot not established	1.014 (1.001–1.040)
CF-5	CF	Dimona	...	171	plot not established	1.018 (1.004–1.046)
CF-6	CF	3402	...	235	plot not established	1.016 (1.006–1.040)

Note: All fieldwork was conducted at the Biological Dynamics of Forest Fragments Project (BDFFP), located 80 km north of Manaus, Brazil.

<sup>†</sup> Abbreviations: 1-ha, 1-ha fragments; 10-ha, 10-ha fragments; CF, continuous forest.

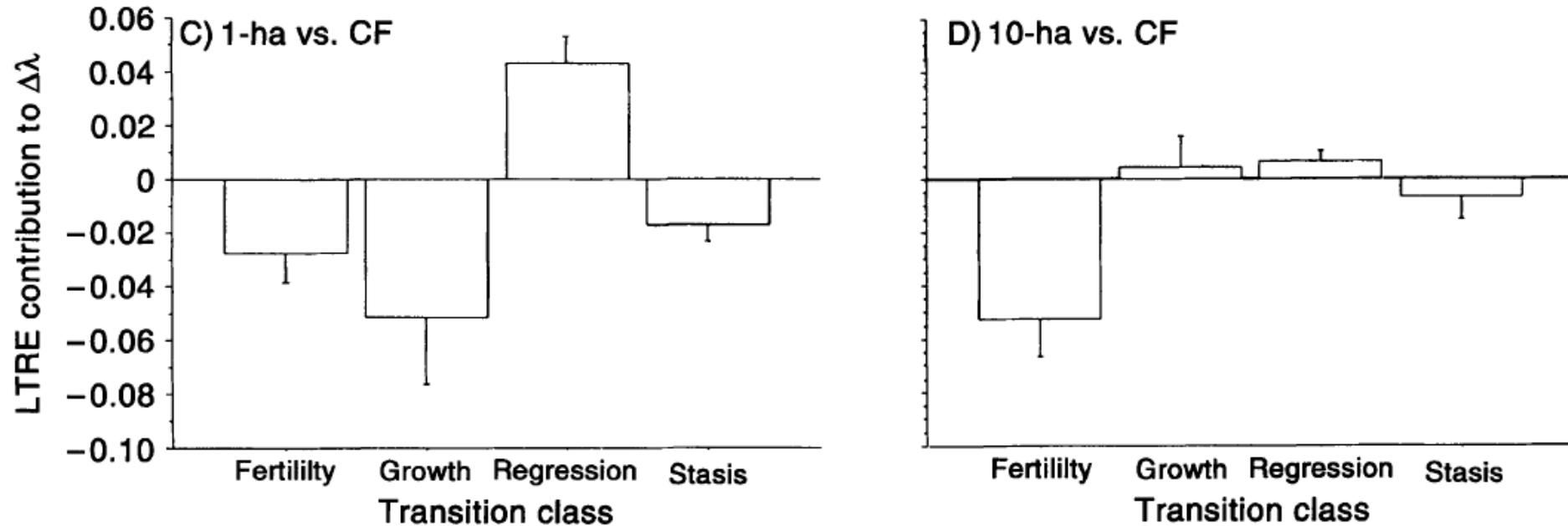
<sup>‡</sup> CF-4 and 5 have no BDFFP numbers; therefore I used the name of the ranch in which they are located instead.

<sup>§</sup> From Bruna and Kress (2002).

4 fragmentos de 1 ha  
3 fragmentos de 10 ha  
6 florestas contínuas

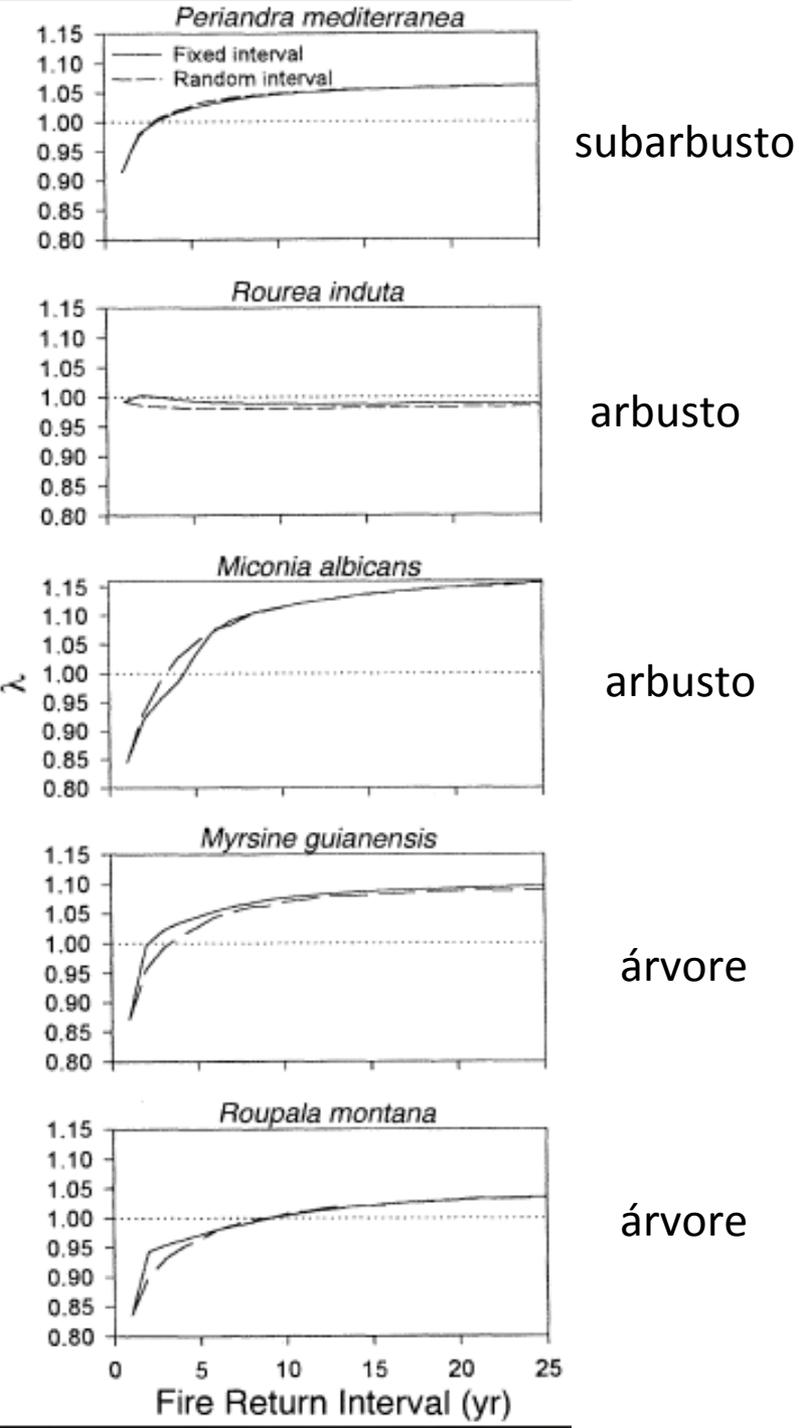
# Efeitos da fragmentação florestal

Causas das diferenças no lambda variaram entre tamanhos de fragmento:



- Em fragmentos de 1 ha, as plantas tiveram menor crescimento e fecundidade do que na floresta contínua, o que contribuiu muito para a diferença no lambda
- Em fragmentos de 10 ha, houve menor fecundidade do que na floresta contínua, o que contribuiu muito para a diferença no lambda
- De forma geral, a fragmentação influencia a reprodução de *Heliconia acuminata*

## Efeitos do fogo



- Cerrado *sensu strictu*

- *R. induta* e *P. mediterranea* possuem maior tolerância ao fogo

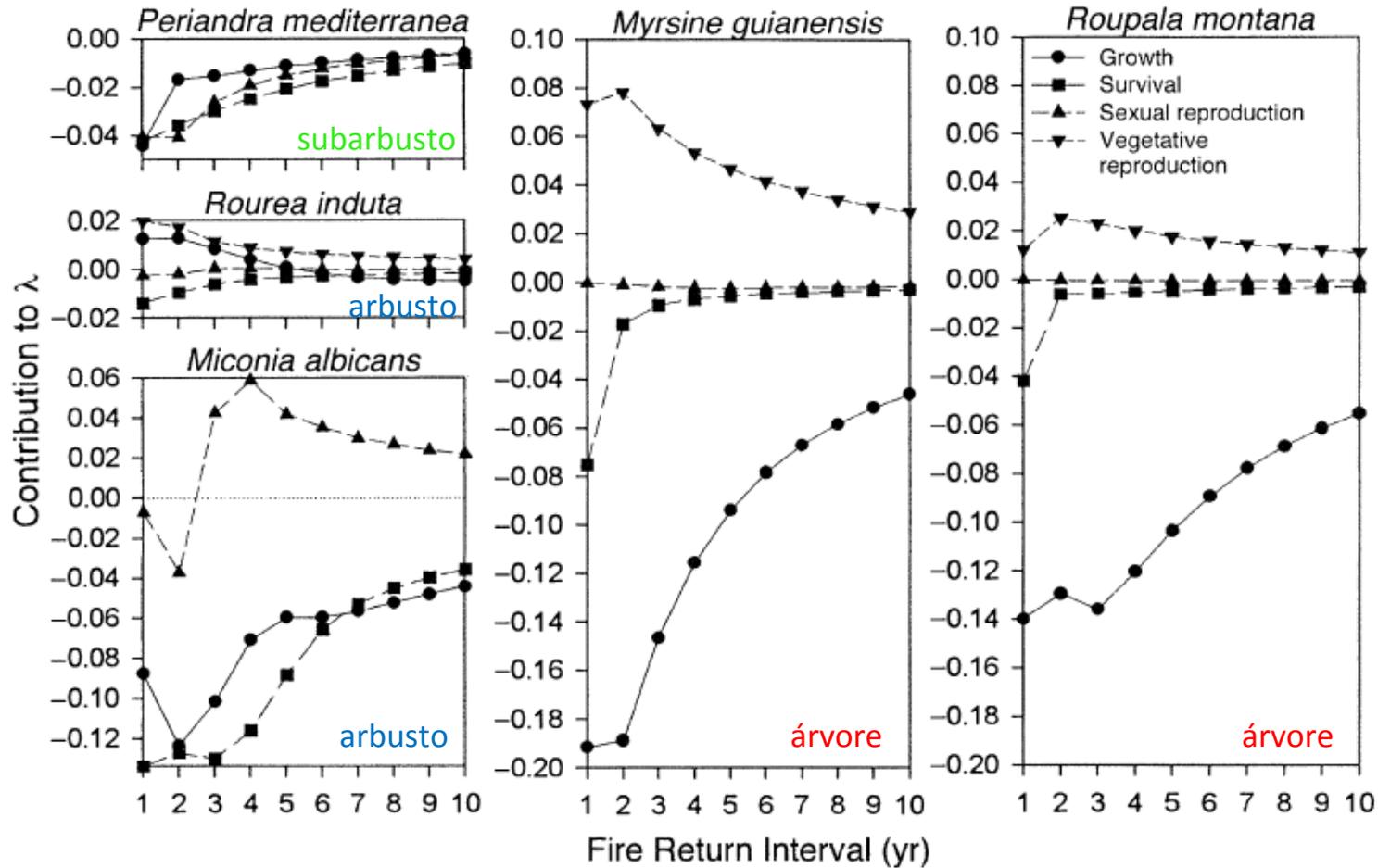
- Principais efeitos do fogo:

- mortalidade de plântulas
- regressão entre estádios

Hoffmann (1999)

# Efeitos do fogo

Resultado da LTRE



- Efeitos do fogo variam entre formas de vida
- Árvores: O fogo causa redução no crescimento e na sobrevivência. Rebrotas tem efeito positivo
- Fogo em alta frequência favorece espécies de porte menor, capazes de rebrotar, que são mais tolerantes - influencia a composição de espécies no Cerrado *sensu strictu*

# Conservação de espécies ameaçadas

## Tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*)



- Alta mortalidade de reprodutivos - pesca de arrasto
- Impacto antrópico nas áreas de desova
- Qual a melhor estratégia de conservação, proteger a ninhada ou os reprodutivos?

Crouse *et al.* 1987

TABLE 4. Stage-class population matrix for loggerhead sea turtles based on the life table presented in Table 3. For the general form of the matrix and formulae for calculating the matrix elements see Theoretical Population Projections.

eggs, hatchlings	0	0	0	0	127	4	80
small juveniles	0.6747	0.7370	0	0	0	0	0
large juveniles	0	0.0486	0.6610	0	0	0	0
subadults	0	0	0.0147	0.6907	0	0	0
novice breeders	0	0	0	0.0518	0	0	0
1st-yr remigrants	0	0	0	0	0.8091	0	0
mature breeders	0	0	0	0	0	0.8091	0.8089

# Conservação de espécies ameaçadas

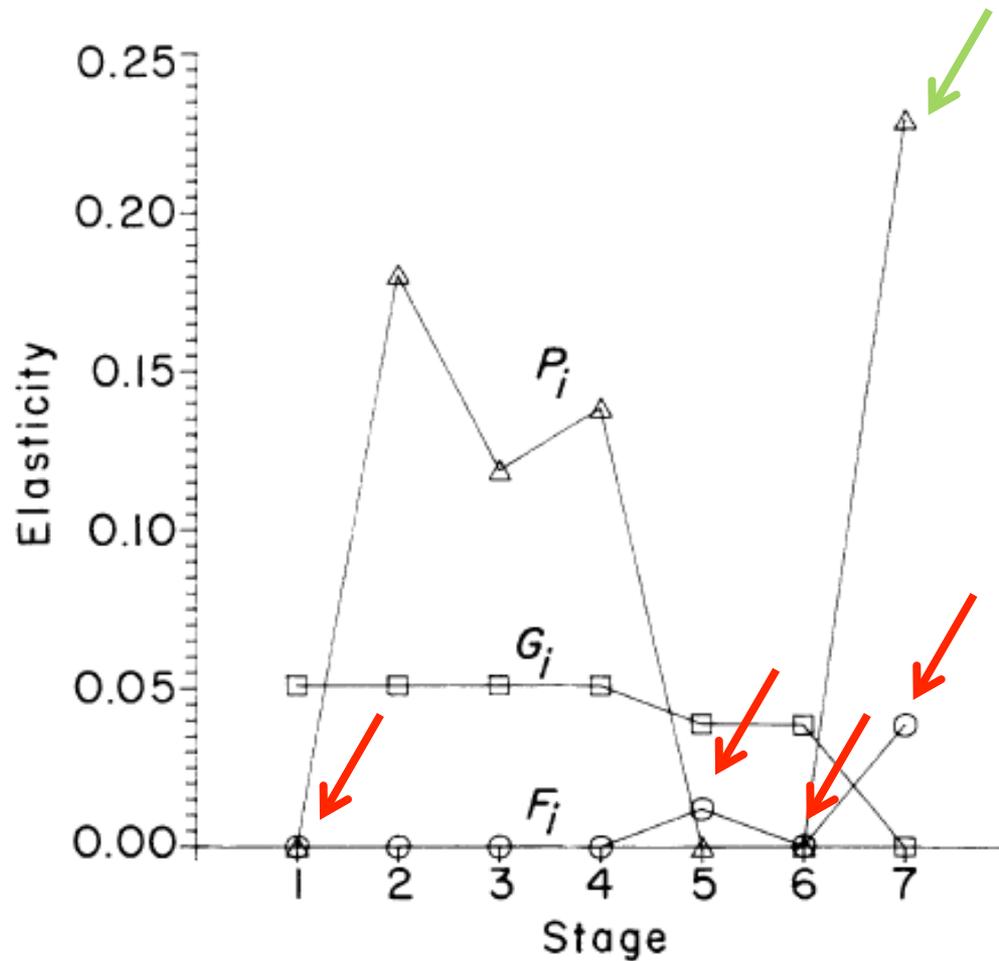
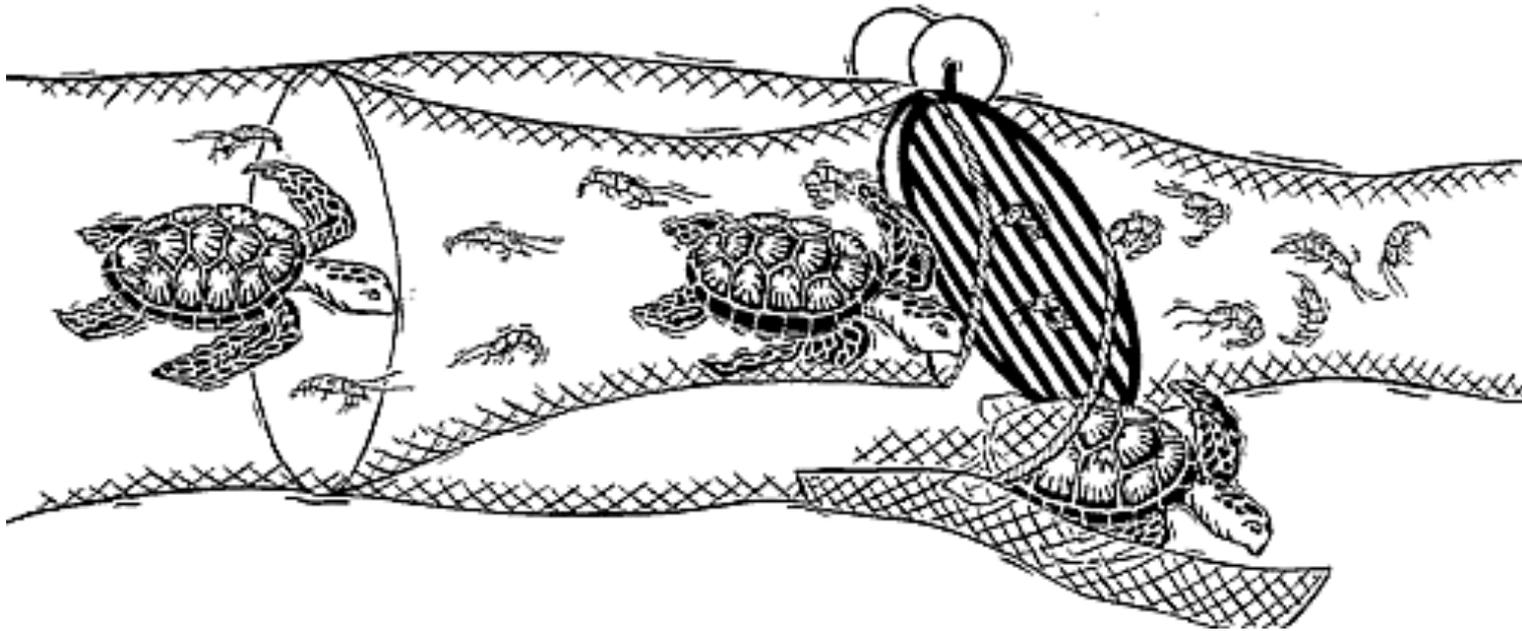


FIG. 3. The elasticity, or proportional sensitivity, of  $\lambda_m$  to changes in fecundity  $F_i$  (○), survival while remaining in the same stage  $P_i$  (△), and survival with growth  $G_i$  (□). Because the elasticities of these matrix elements sum to 1, they can be compared directly in terms of their contribution to the population growth rate  $r$ .

- Alta elasticidade para a sobrevivência de indivíduos (P), principalmente no estágio 7 (reprodutivos)
- Baixa elasticidade para sobrevivência de filhotes e para a fecundidade
- É mais vantajoso investir na sobrevivência dos reprodutivos do que proteger ninhos e filhotes

## Conservação de espécies ameaçadas

Além da proteção das áreas de nidificação e dos esforços direcionados para aumentar o sucesso reprodutivo, devem ser promovidas ações que aumentem a sobrevivência dos reprodutivos, como o Turtle excluder device.



## Outras aplicações

Quais outras aplicações podemos pensar para os estudos de dinâmica de populações de plantas?

## Outras aplicações

Quais outras aplicações podemos pensar para os estudos de dinâmica de populações de plantas?

- Manejo de espécies invasoras
- Avaliar os efeitos de outras perturbações antrópicas nas populações (ex. emissão de poluentes no solo, extração de madeira, mudanças climáticas)
- Avaliar os efeitos de perturbações naturais nas populações (ex. vendavais, enchentes, secas severas, etc)
- Testar os efeitos de gradientes ambientais (altitude, tipos de solo, tipos de vegetação, etc)

## Referências gerais

Goteli, N. J. 2009. Ecologia. 4ª Ed. Editora Planta.

Gurevitch, J.; Scheiner, S.; Fox, G. 2002. The ecology of plants. Sinauer Associates, Sunderland, USA.

Harper, J. L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, London.

Silvertown, J. & Charlesworth, D. 2001. Introduction to plant population biology. 4ª Ed. Blackwell Publishing, USA.

# Referências sobre modelos matriciais

Copyrighted Material

## Matrix Population Models

SECOND  
EDITION

CONSTRUCTION, ANALYSIS, AND INTERPRETATION



HAL CASWELL

Copyrighted Material

Copyrighted Material

WILLIAM F. MORRIS • DANIEL F. DOAK

## QUANTITATIVE CONSERVATION BIOLOGY

THEORY AND PRACTICE OF POPULATION VIABILITY ANALYSIS



$$G(T|d, \mu, \sigma^2) = \Phi\left(\frac{-d - \mu T}{\sqrt{\sigma^2 T}}\right) + \exp(-2\mu d / \sigma^2) \Phi\left(\frac{-d + \mu T}{\sqrt{\sigma^2 T}}\right)$$

Copyrighted Material