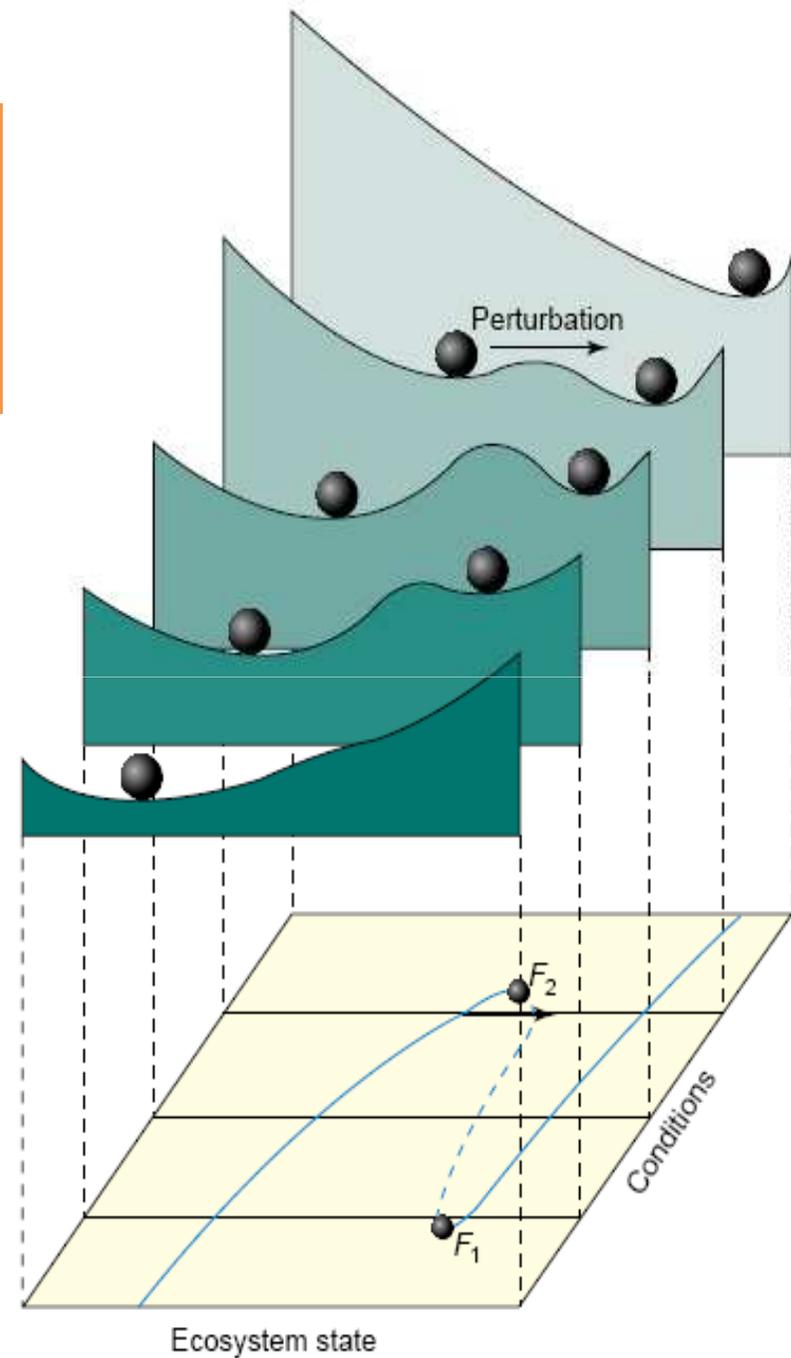
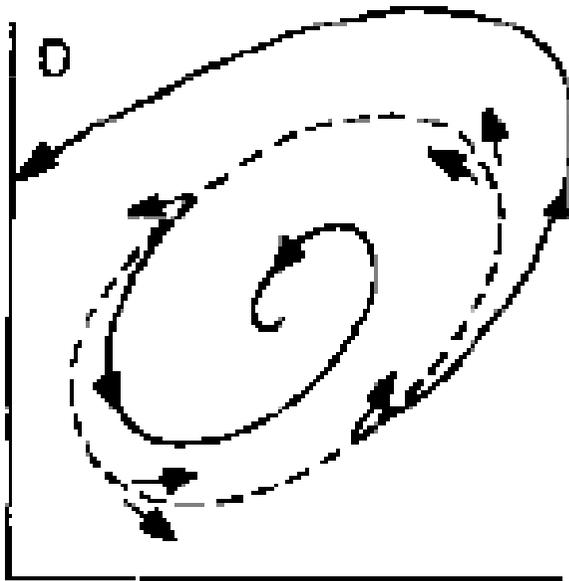
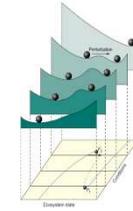


RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS

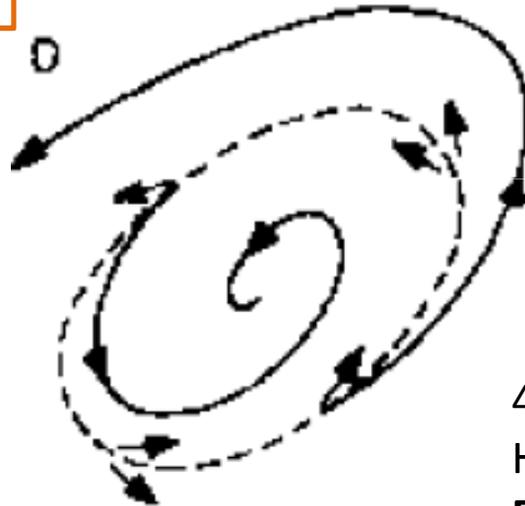


RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU
TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogias

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais



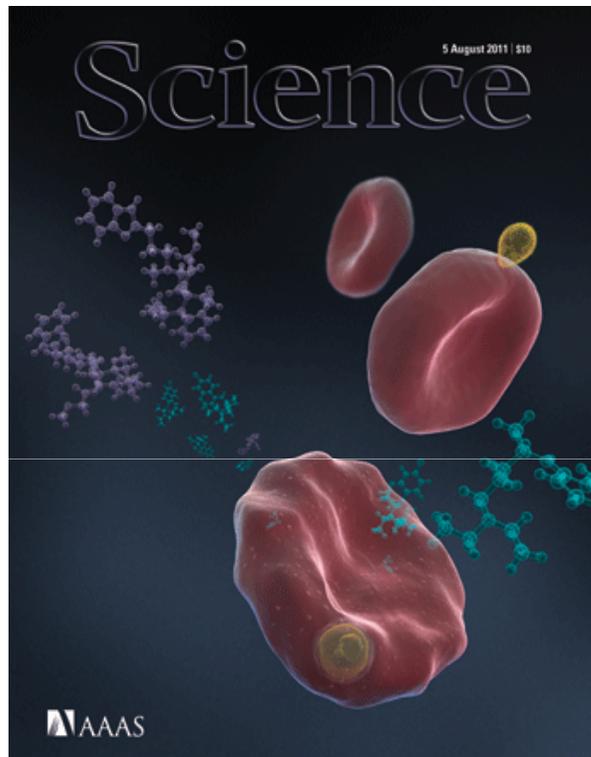
3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

6. IMPLICAÇÕES PARA O
MANEJO
**Resiliência e o manejo de
sistemas sócio-ecológicos**

4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES,
HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
**De novo, diversidade e
estabilidade**

5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?

MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS



Conhecimento da vida no nível molecular – expandindo rapidamente



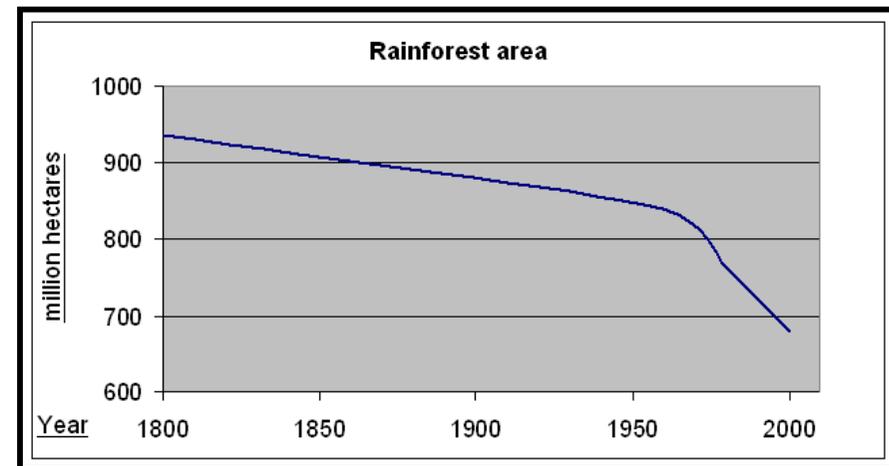
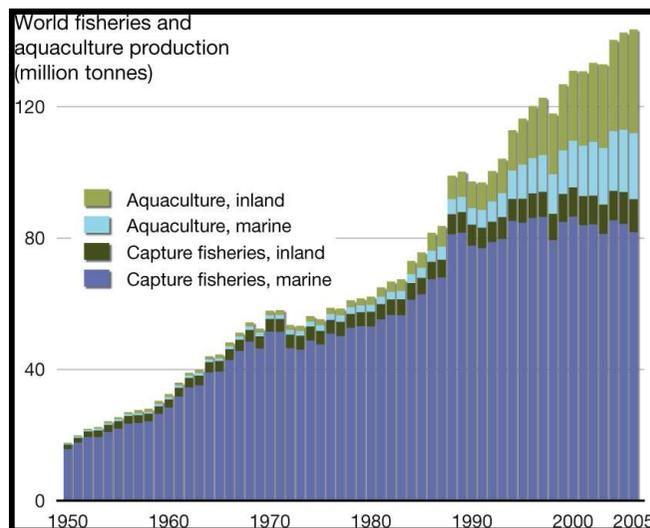
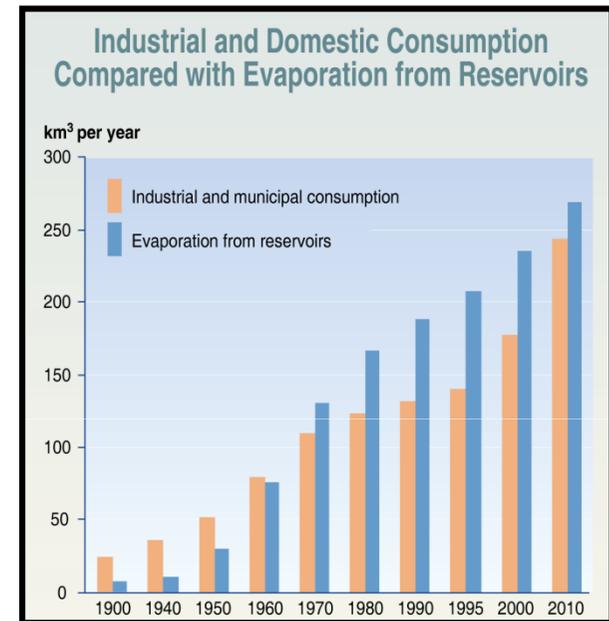
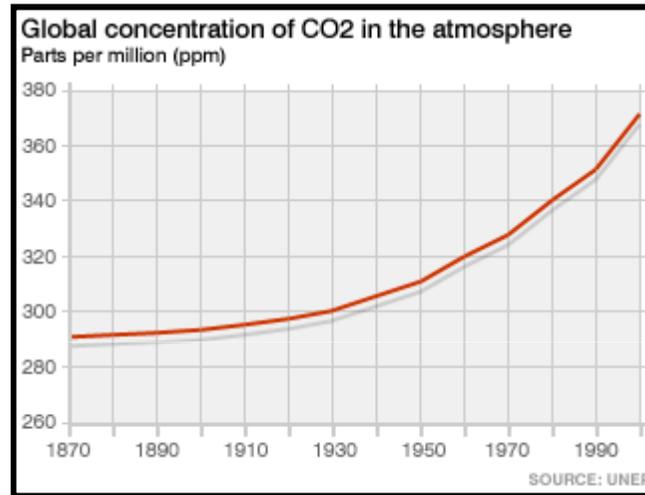
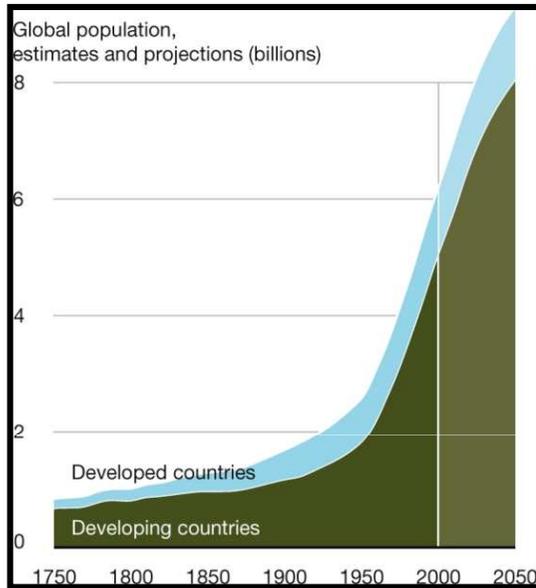
MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

Comparativamente, sabemos pouco sobre os **mecanismos** que levam a **transições na sociedade** ou que regulam a **estabilidade de ecossistemas**



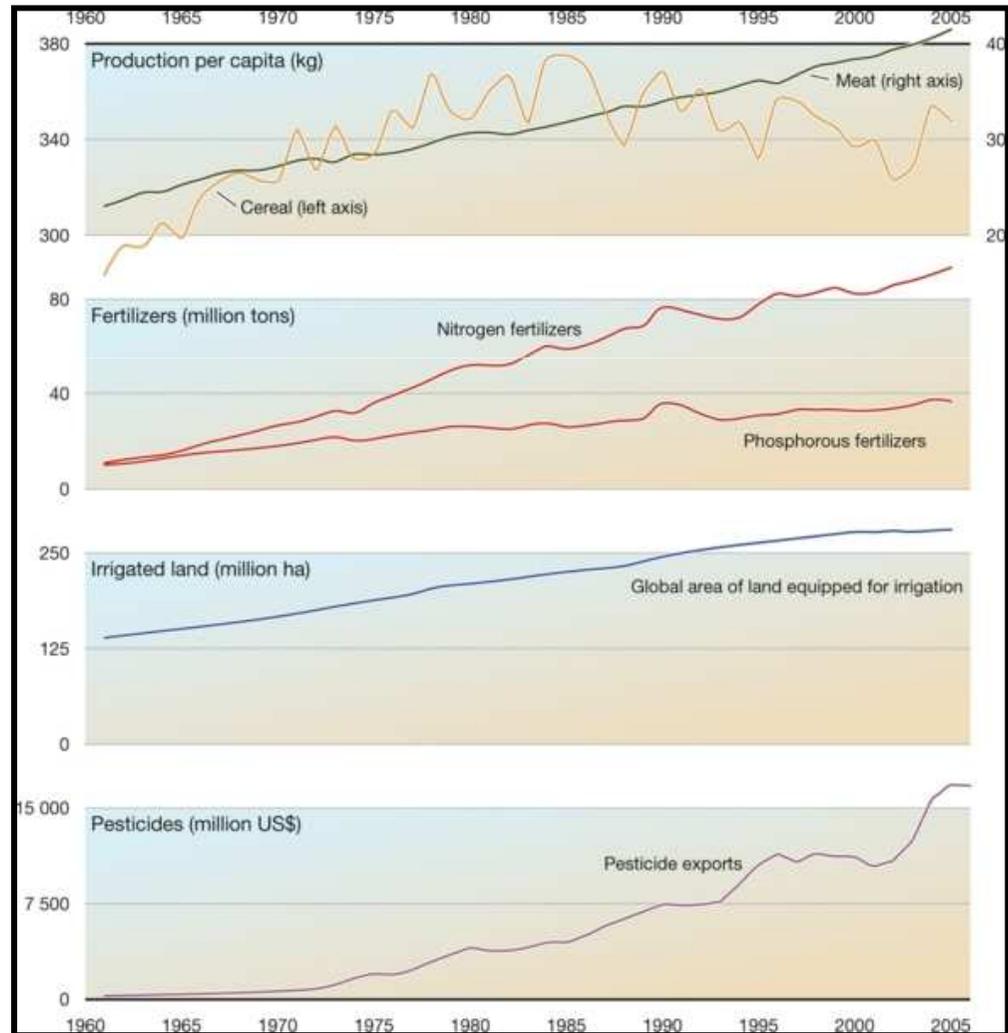
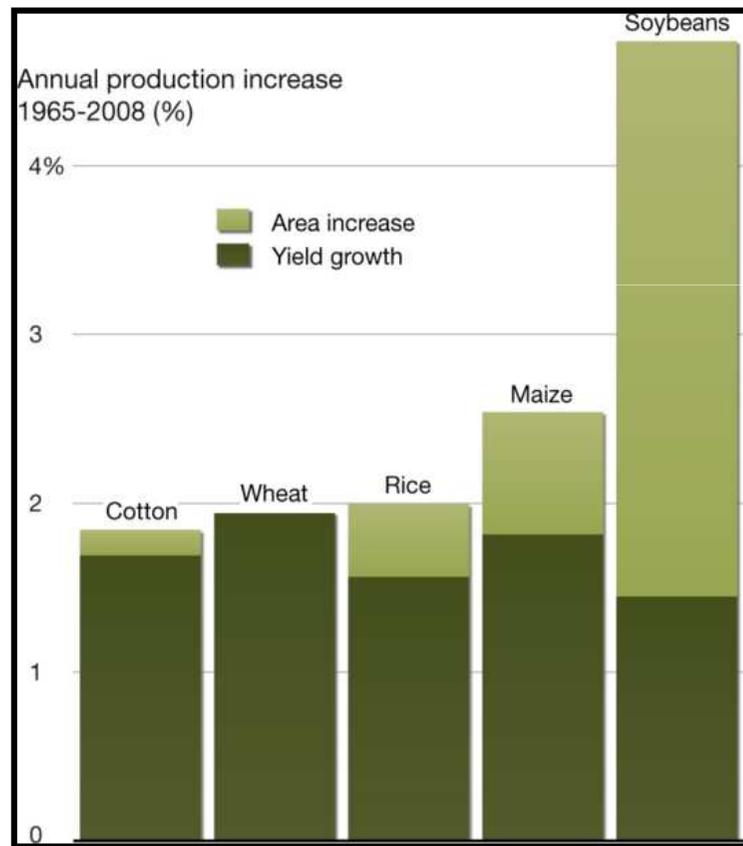
MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

Crescimento e desenvolvimento da população humana causam mudanças graduais mas globais



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

Crescimento e desenvolvimento da população humana causam mudanças graduais mas globais



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

LAGOS



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

RECIFE DE CORAIS



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

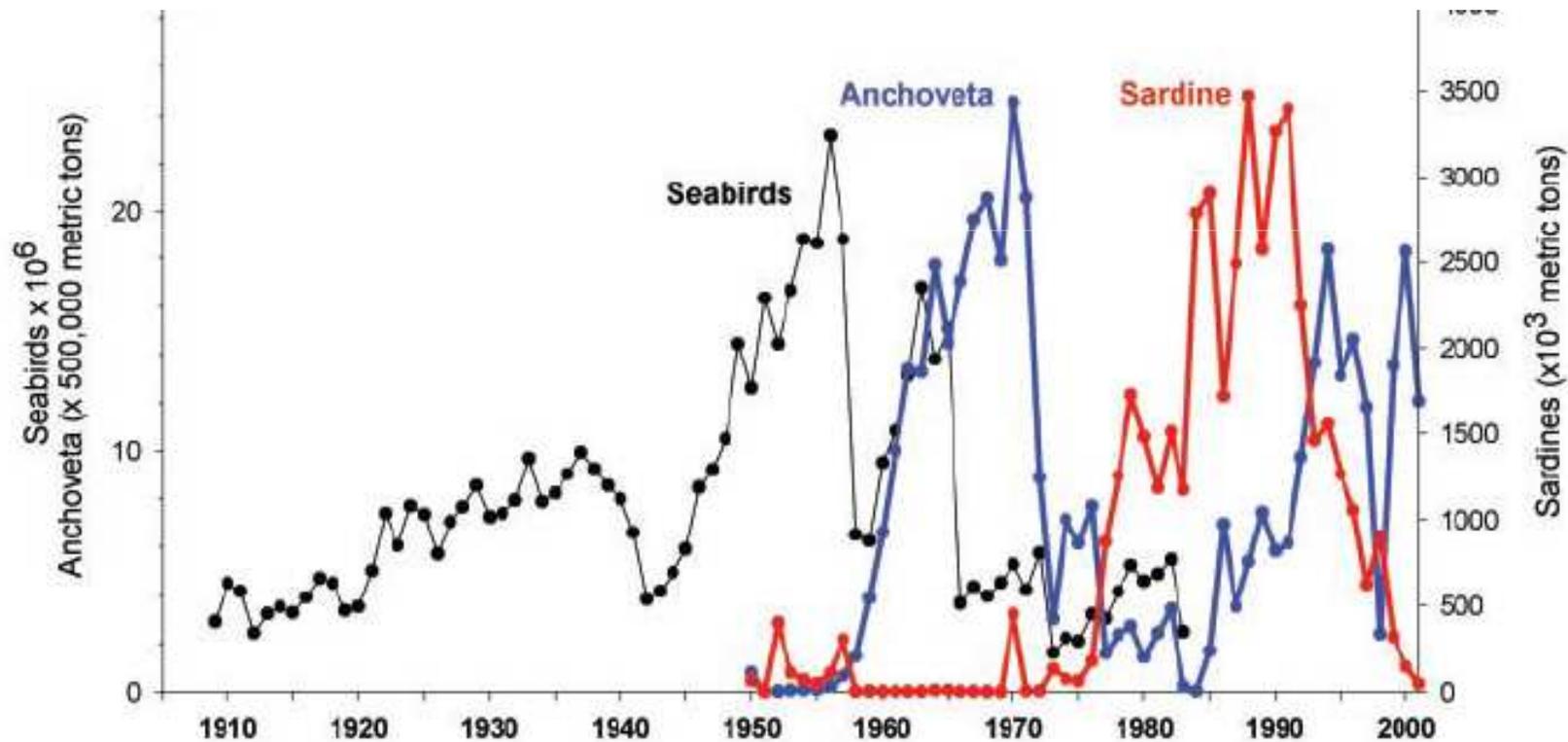


FLORESTAS DE KELP



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

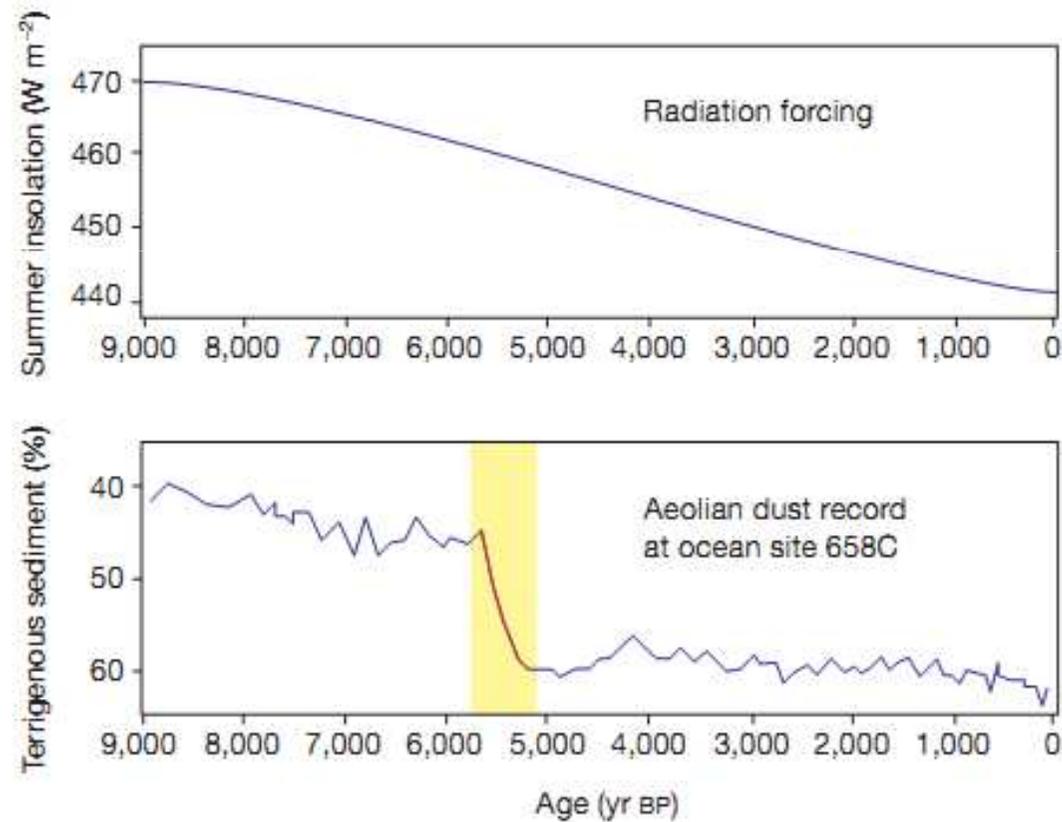
POPULAÇÕES DE PEIXES NOS OCEANOS



Chavez et al. Science 2003

MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

COBERTURA VEGETAL NO SAHARA

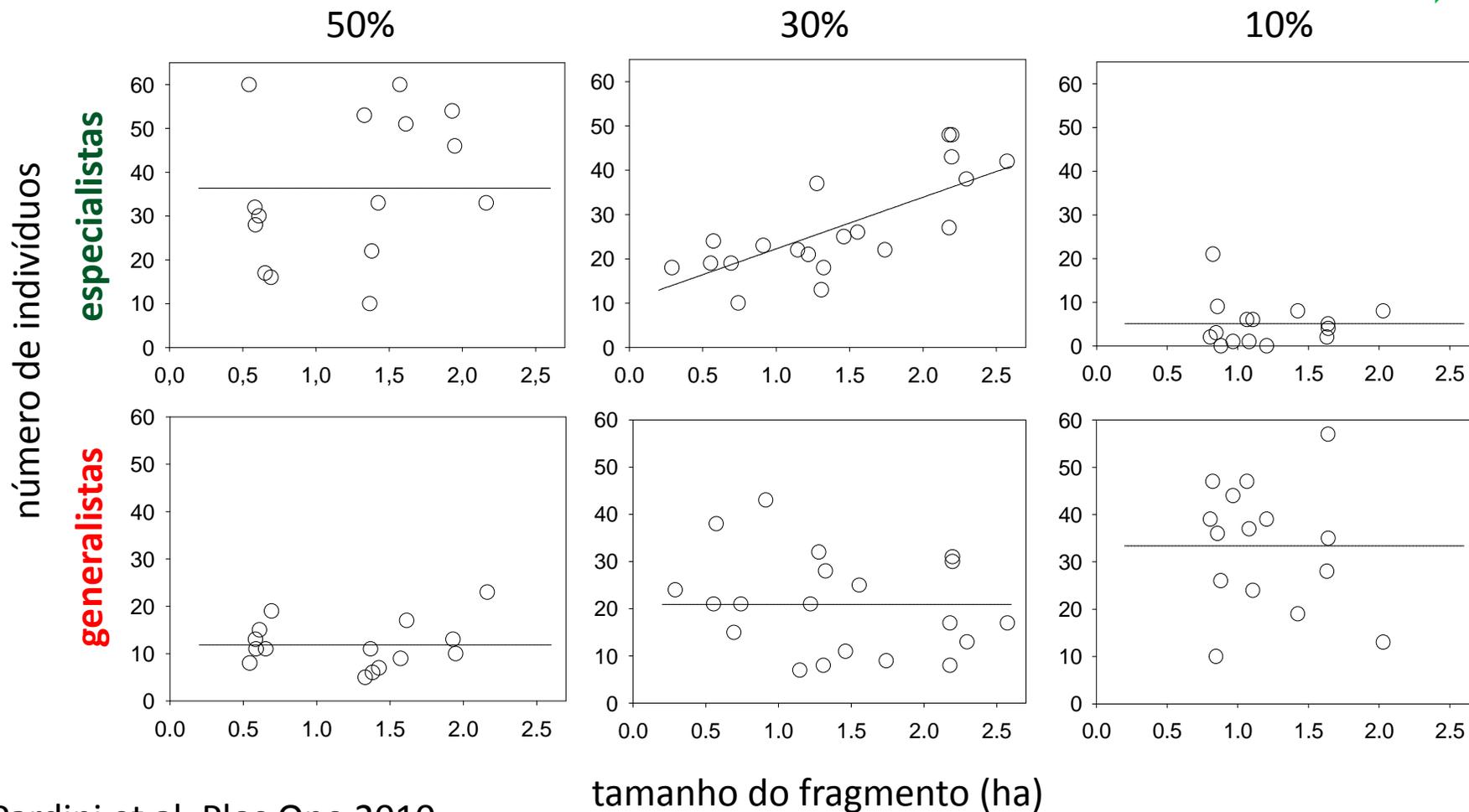


Scheffer et al. Nature 2001

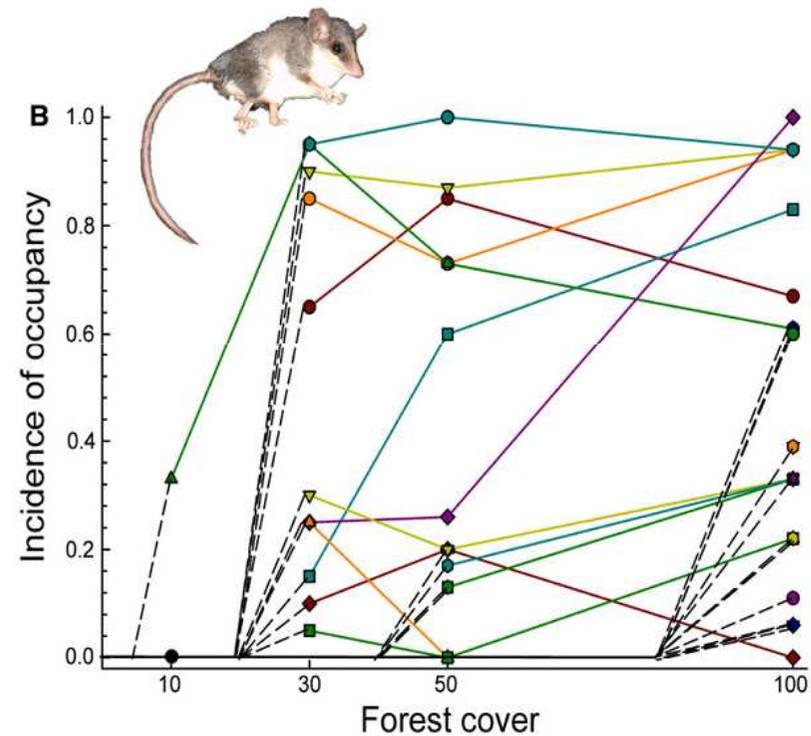
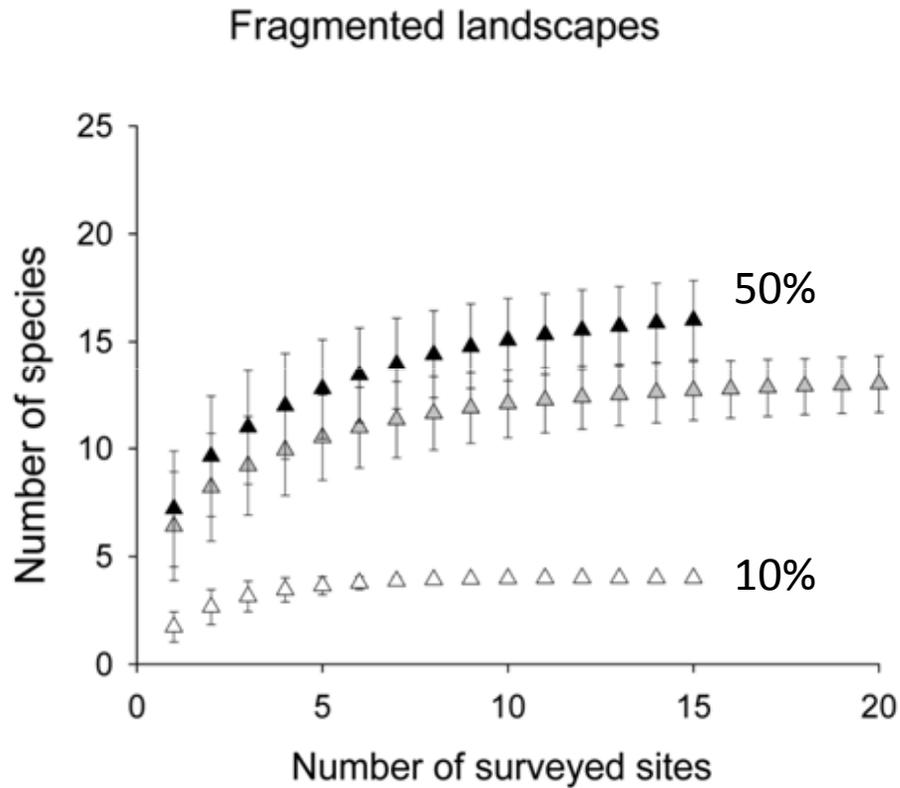
MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

ASSEMBLÉIAS DE MAMÍFEROS EM PAISAGENS FRAGMENTADAS

Perda de floresta na escala da paisagem



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS

✓ *mesma força - resultados muito diferentes*



MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS



Barco cheio que vira de repente - MODELO SIMPLES DE TRANSIÇÕES CRÍTICAS

✓ sistemas complexos como o clima, ecossistemas e sociedades perdem resiliência até que uma perturbação menor os empurra a um “ponto crítico”

Demonstra propriedades chave da teoria de múltiplos estados estáveis:

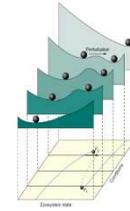
✓ voltar ao estado anterior requer mais do que tirar uma pessoa do barco

✓ é difícil ver que o ponto crítico está chegando

✓ perto do ponto crítico a resiliência é pequena e pequenos distúrbios levam a mudança brusca

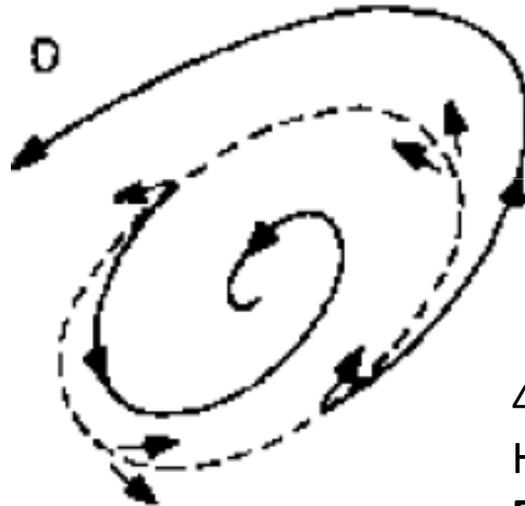


RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogia

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais

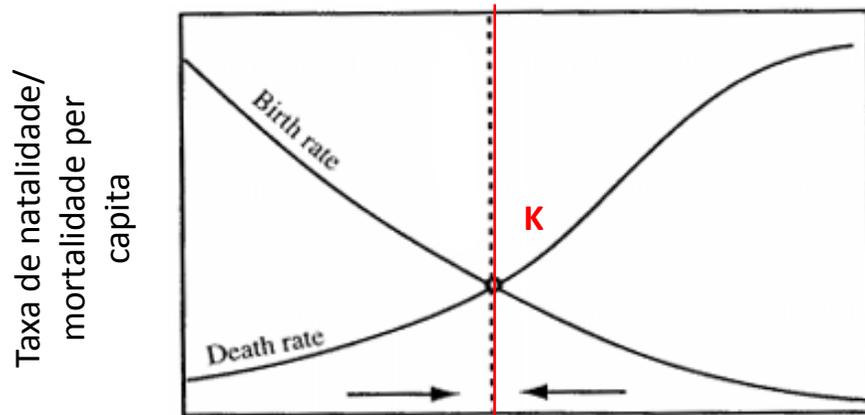


6. IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO
Resiliência e o manejo de sistemas sócio-ecológicos

3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

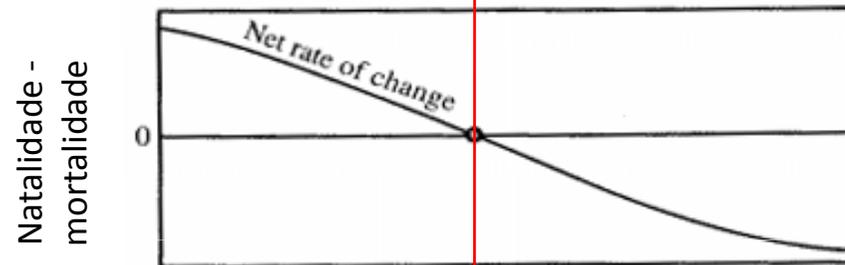
4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
De novo, diversidade e estabilidade

5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?



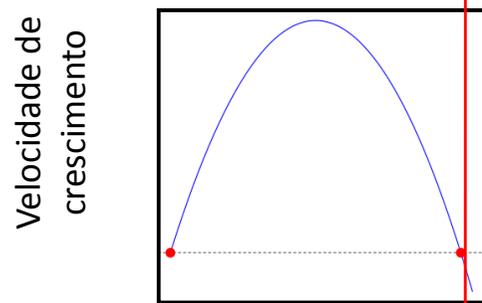
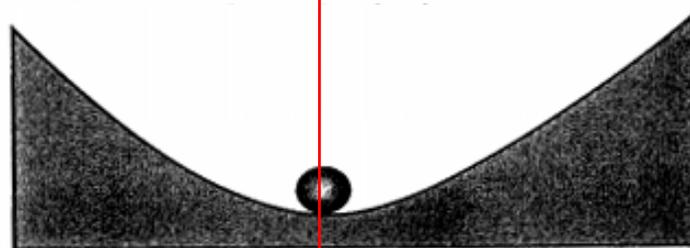
Equilíbrio

- ✓ processos responsáveis pelo estado do sistema se balanceiam
- ✓ estado do sistema (e.g. tamanho populacional) não muda, i.e. velocidade de mudança = 0



Paisagem de estabilidade

- ✓ analogia gráfica onde a inclinação representa a velocidade de mudança
- ✓ no equilíbrio velocidade e inclinação = 0

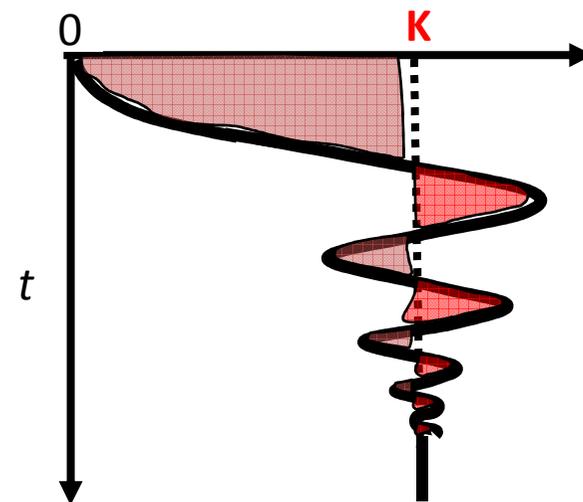


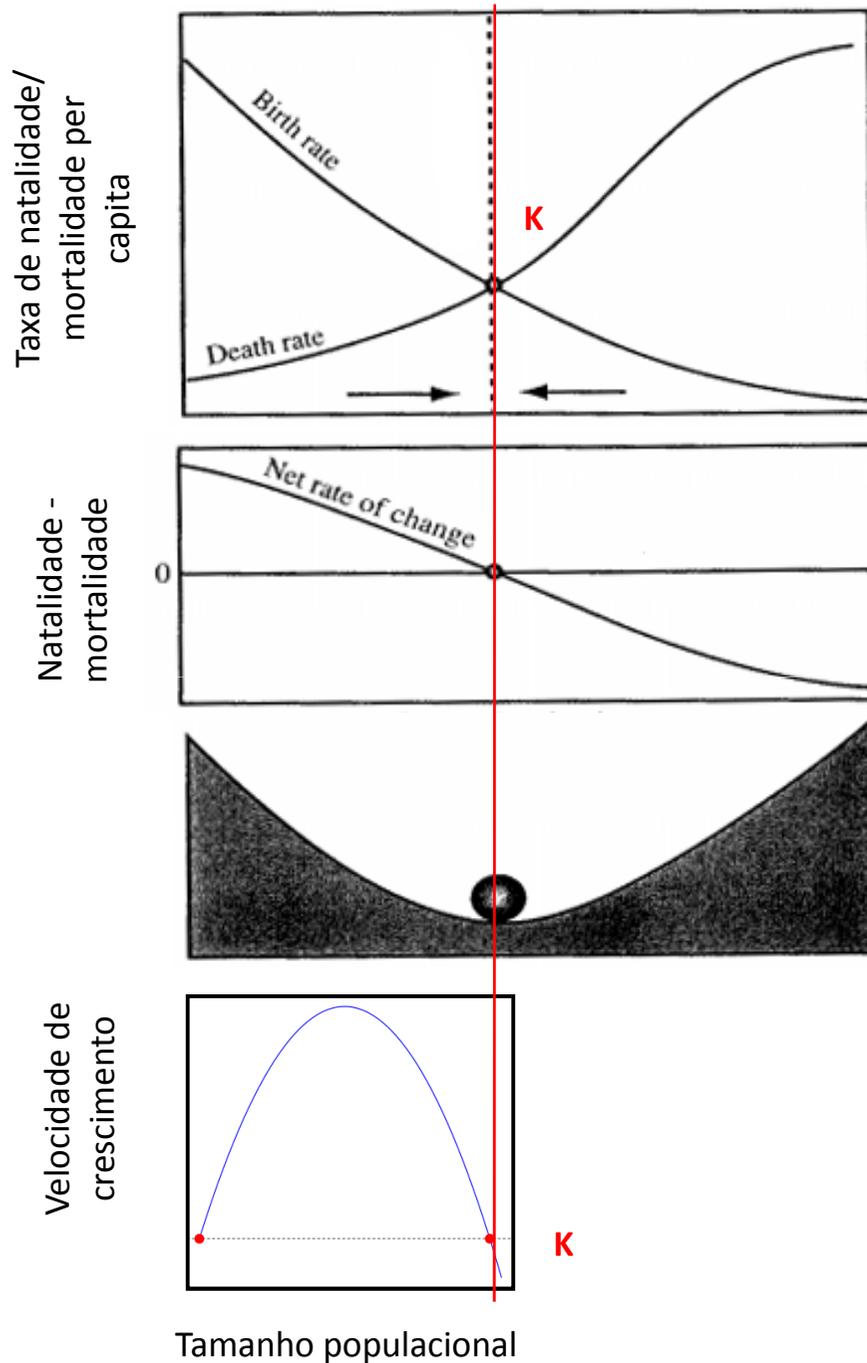
Estabilidade local

- ✓ velocidade de mudança tem uma relação negativa com o estado do sistema

Tamanho populacional

Tamanho populacional





Só há **um equilíbrio estável**, porque as taxas de **natalidade e mortalidade** per capita mudam **quase linearmente** com o **tamanho populacional**

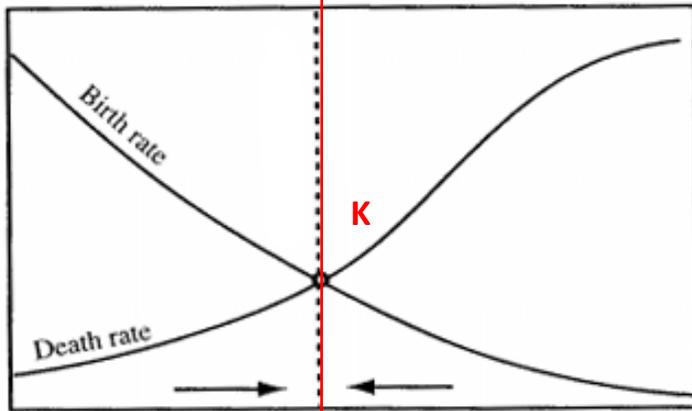
Assim, se **anulam** (se cruzam) em apenas **um ponto**

Mas será que a natalidade é alta e a mortalidade baixa em densidades populacionais baixas?

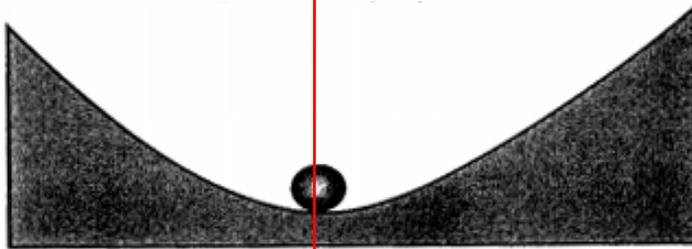
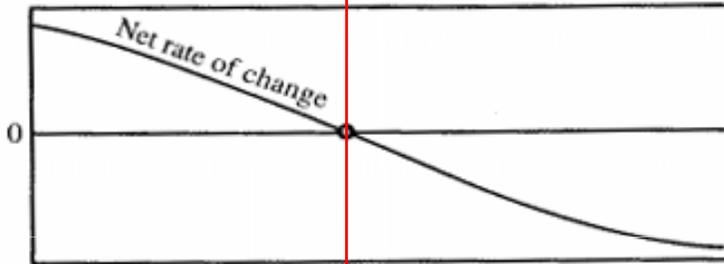
EFEITO ALLEE – taxa de crescimento populacional é negativa em populações pequenas

Warder Allee 1949

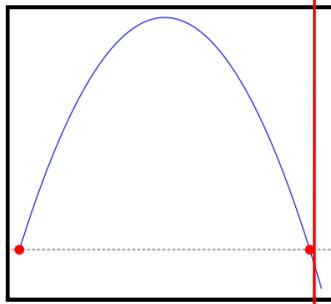
Taxa de natalidade/
mortalidade per
capita



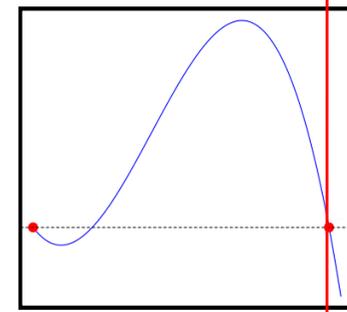
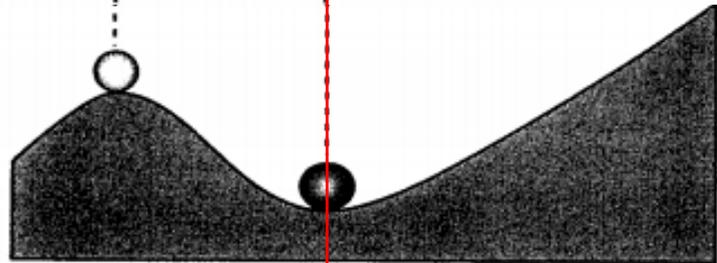
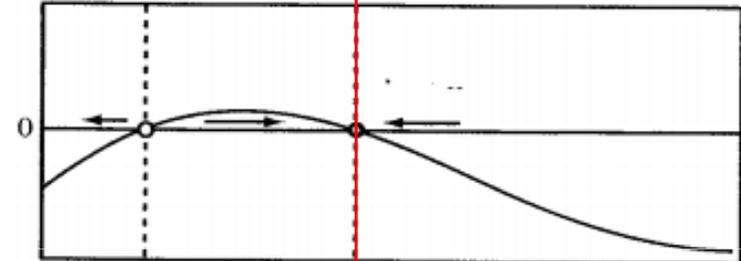
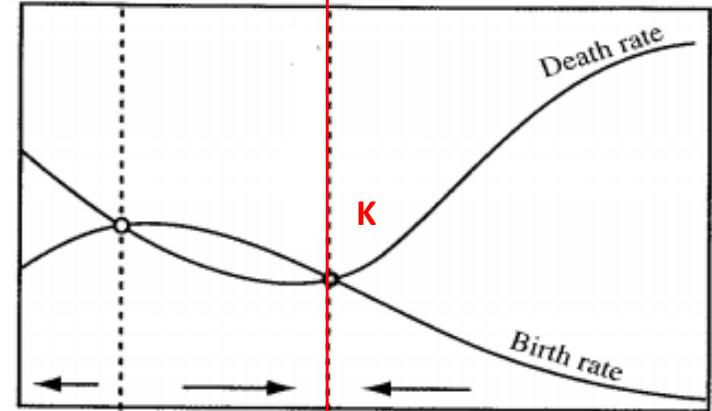
Natalidade -
mortalidade



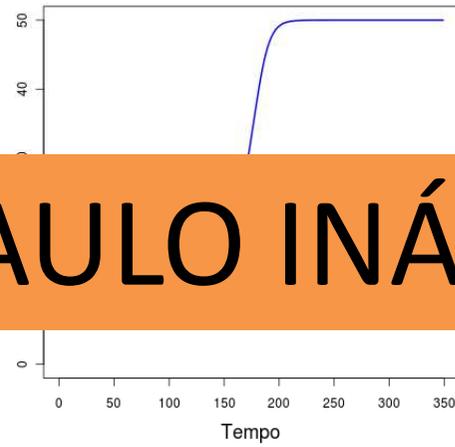
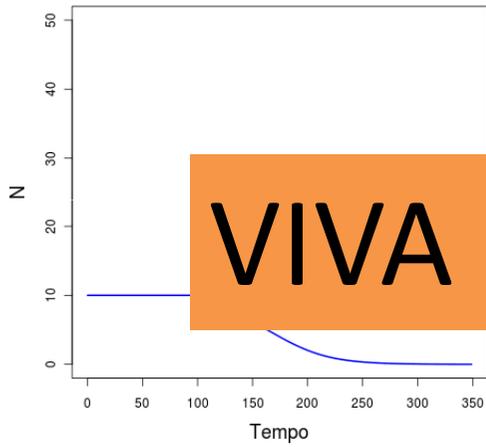
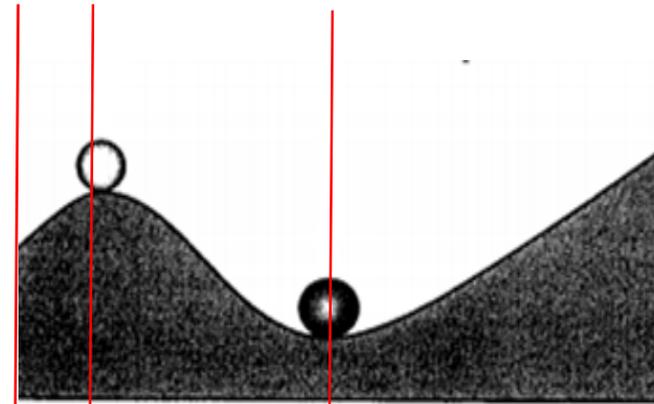
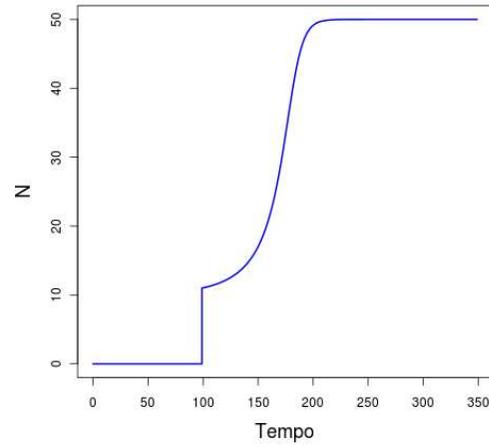
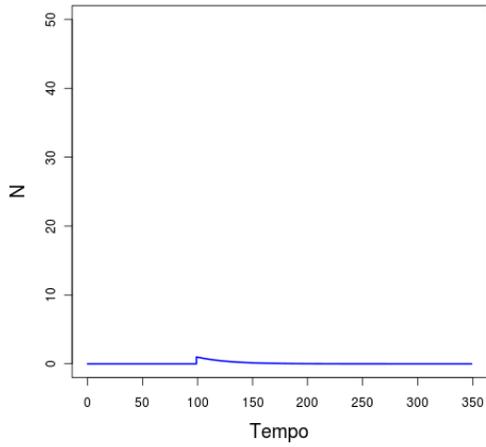
Velocidade de
crescimento



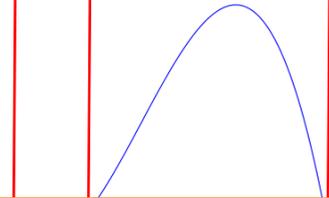
Tamanho populacional



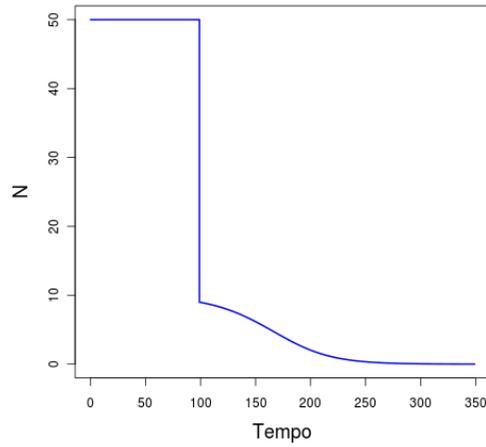
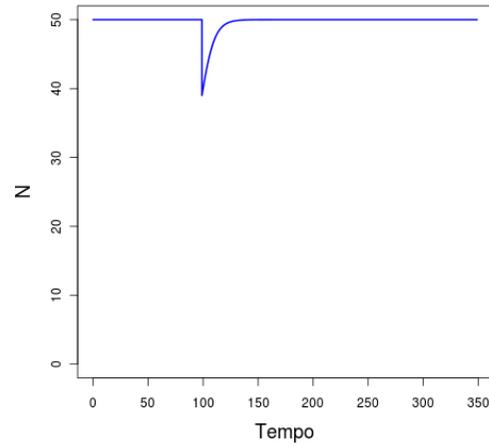
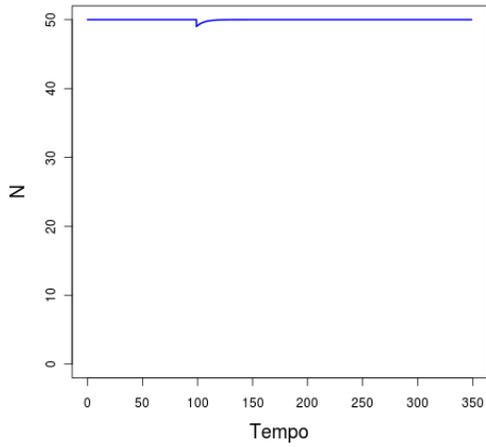
Tamanho populacional

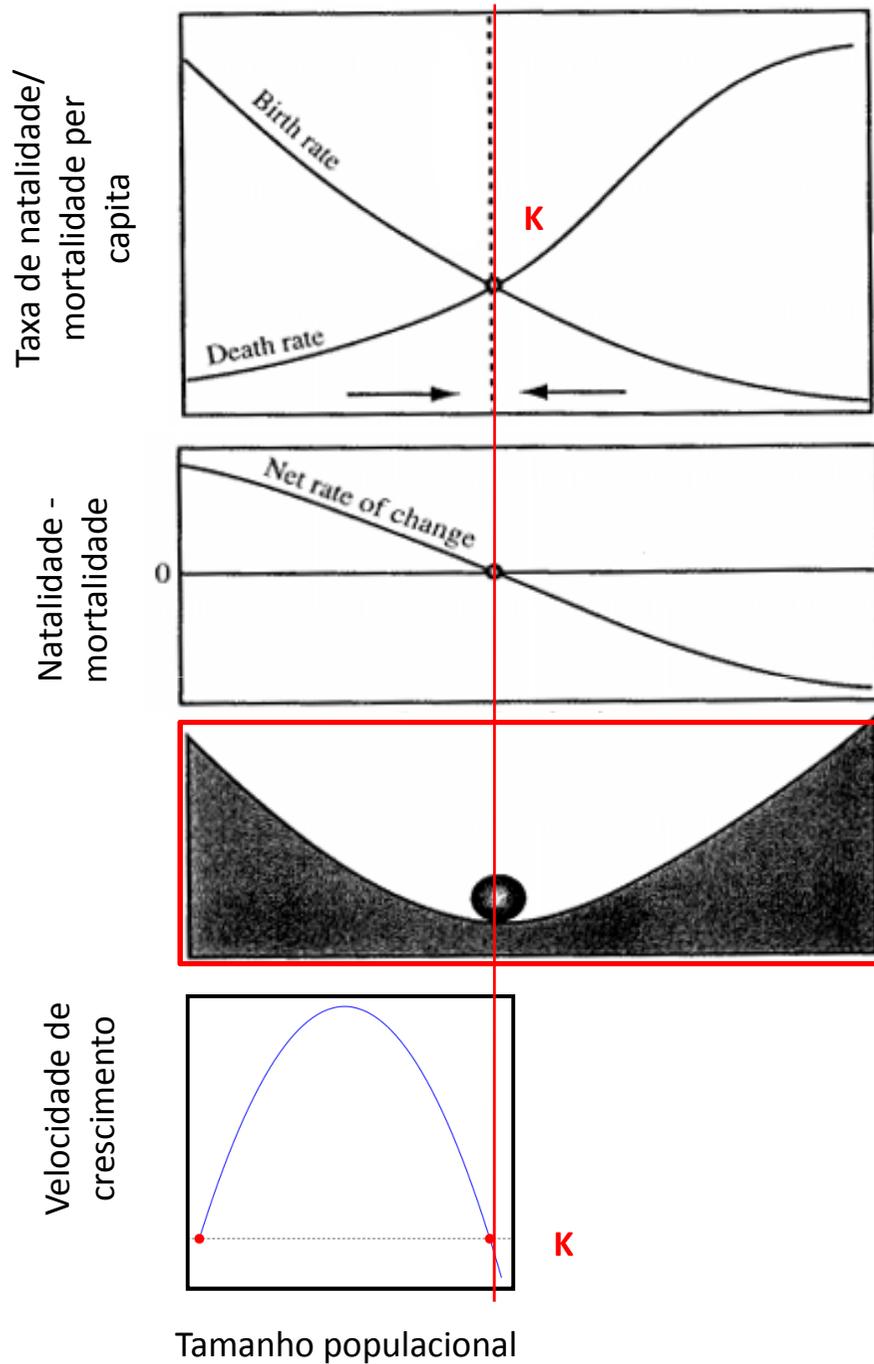


VIVA PAULO INÁCIO E O R!!!



Tamanho populacional

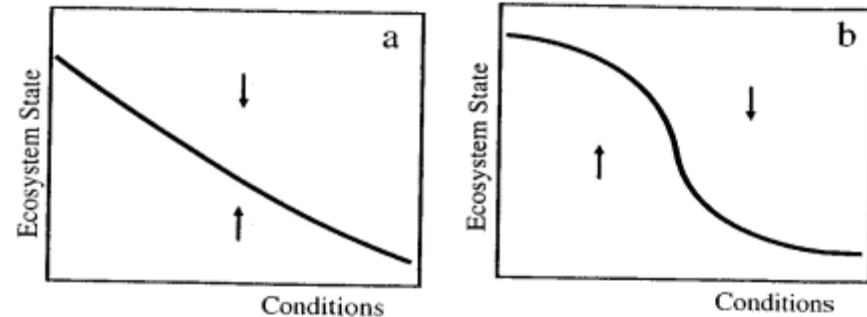




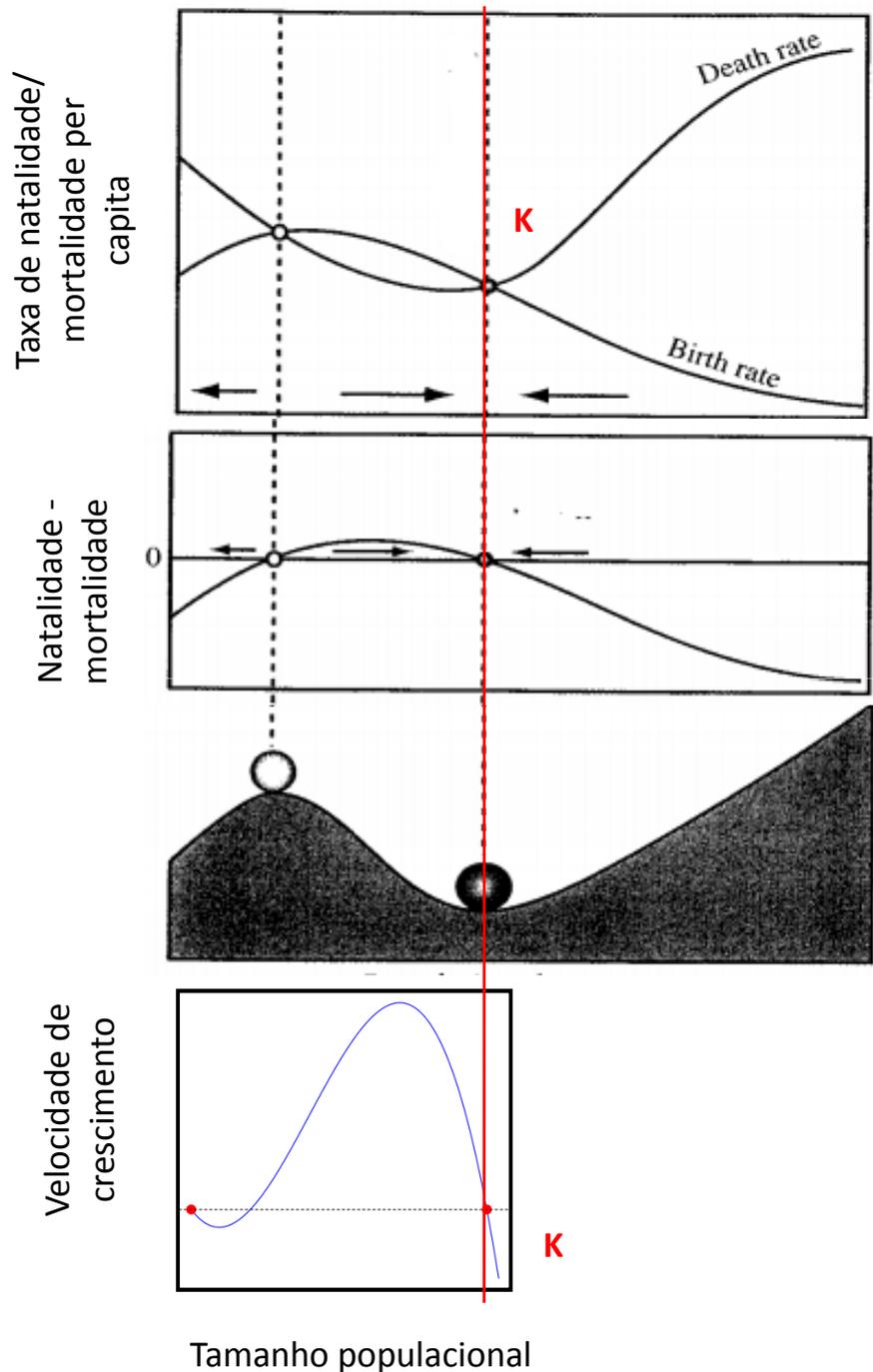
ESTABILIDADE GLOBAL

Equilíbrio estável é um **atrator global** e o vale é a bacia de atração

Estado no equilíbrio pode mudar se as **condições se modificam** – por exemplo, se o ambiente é alterado alterando K, o tamanho da população no equilíbrio muda



Mas se há apenas um equilíbrio estável, a **paisagem de estabilidade não muda com as condições ambientais**

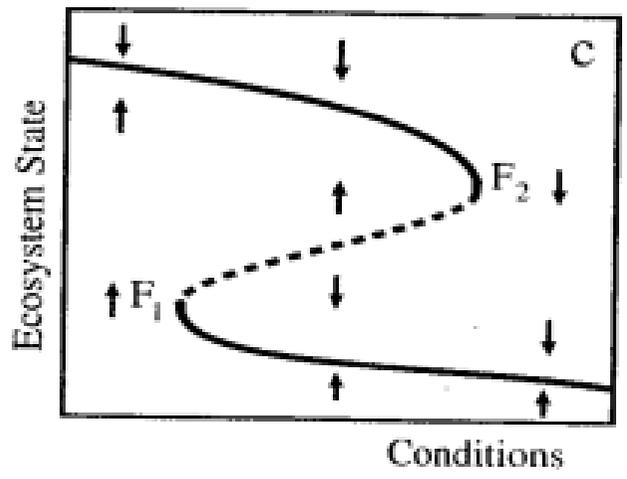


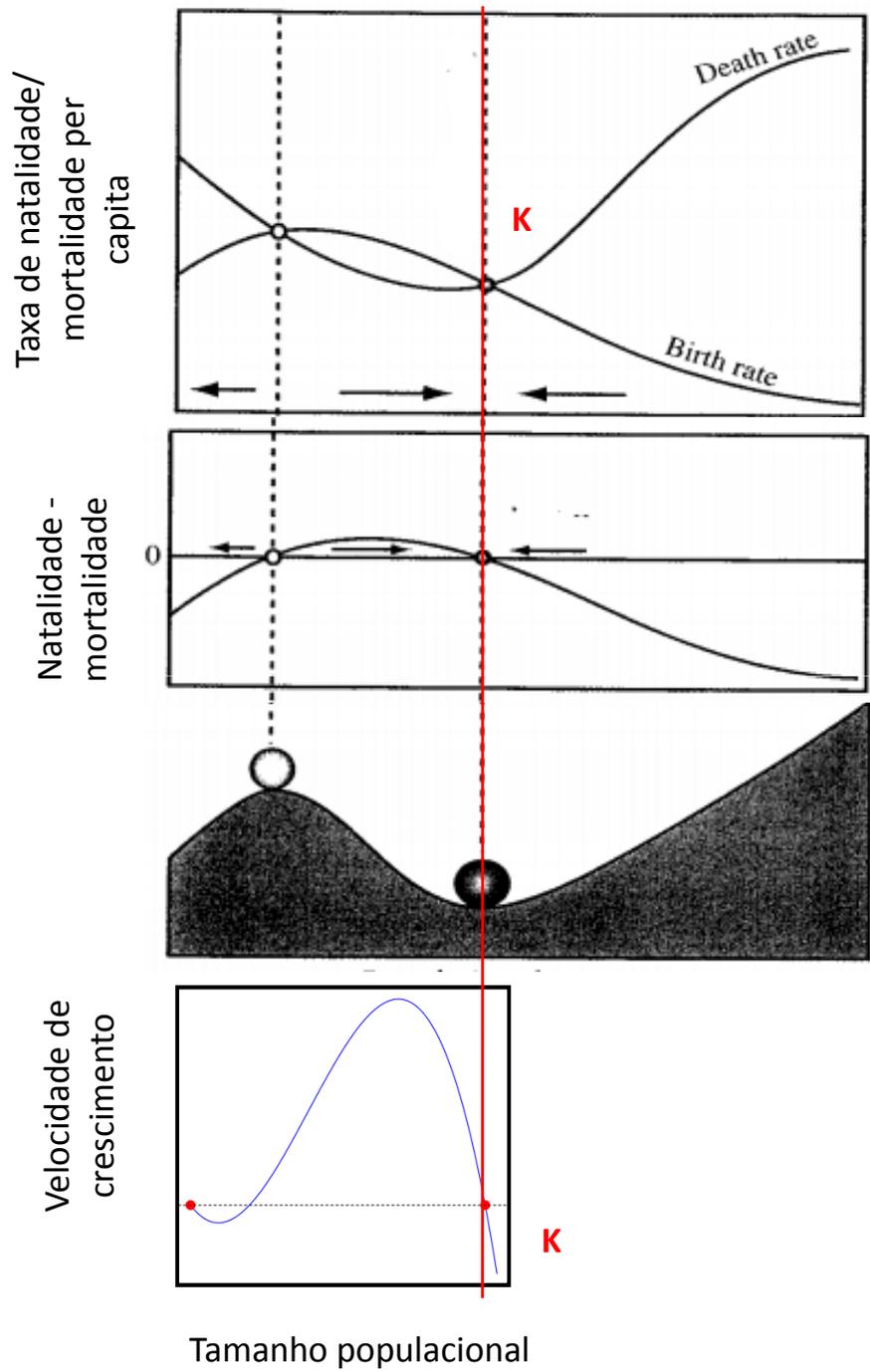
ESTABILIDADE NÃO É GLOBAL

Dois equilíbrios e estados estáveis

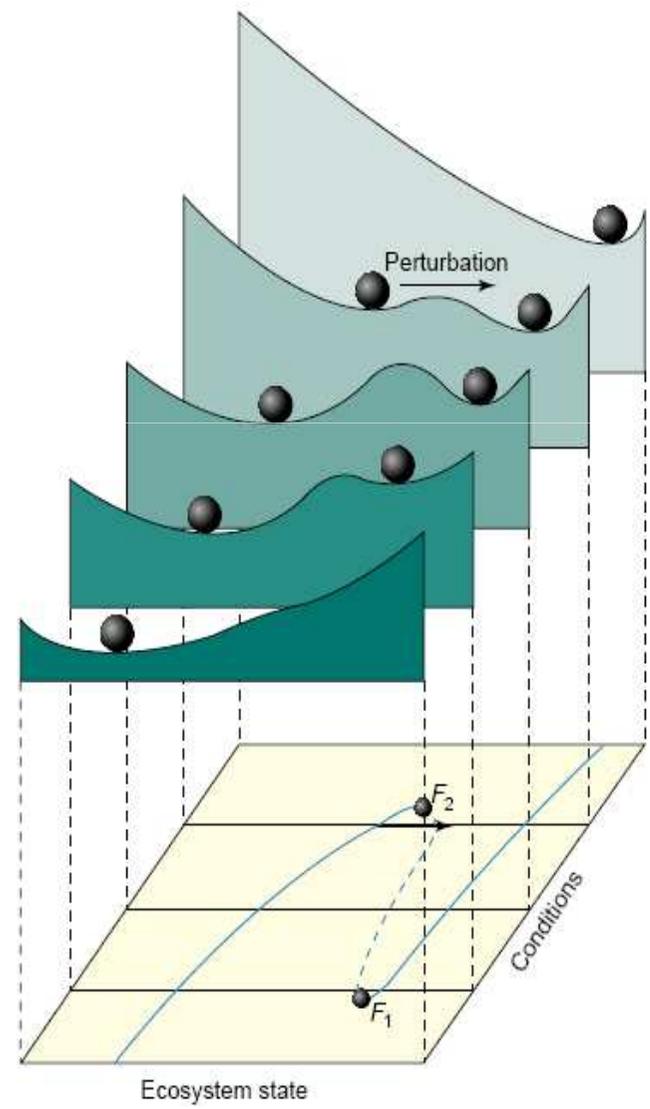
Curva do estado de equilíbrio com as condições ambientais é dobrada = **HISTERESE**

Sob certas condições ambientais o sistema tem dois estados possíveis separados por um equilíbrio instável

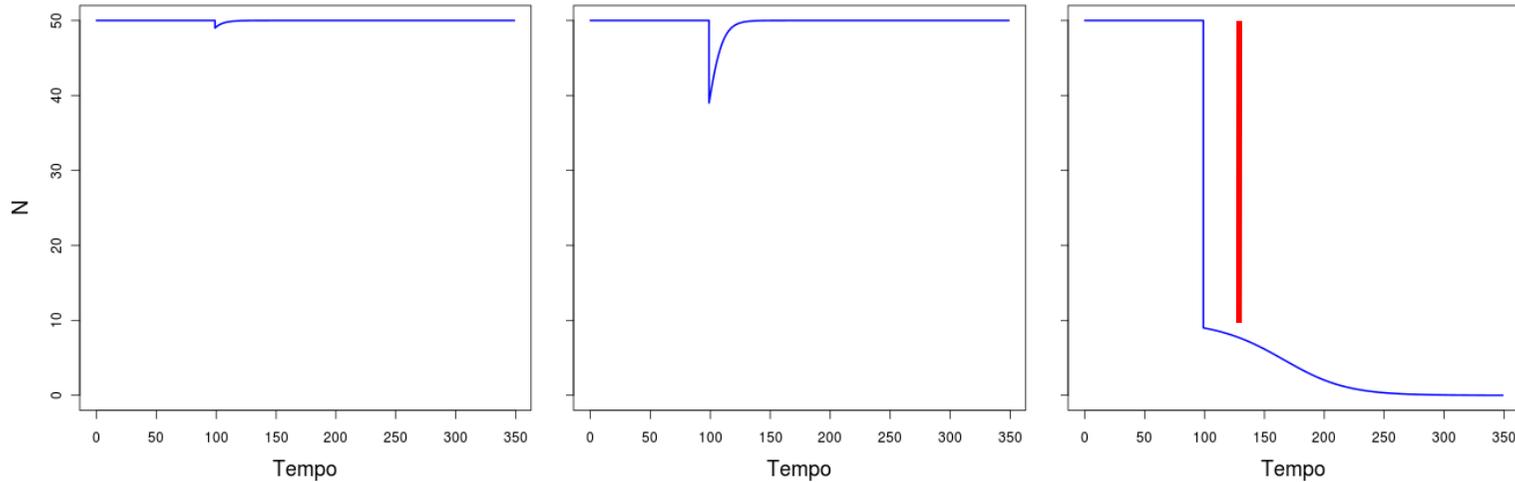




PAISAGEM DE ESTABILIDADE MUDA COM AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS



O QUE É RESILIÊNCIA?

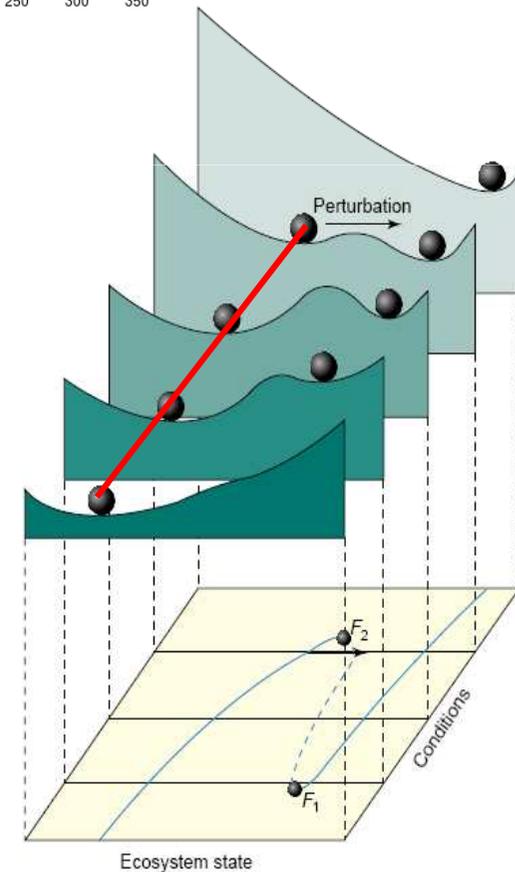


RESILIÊNCIA

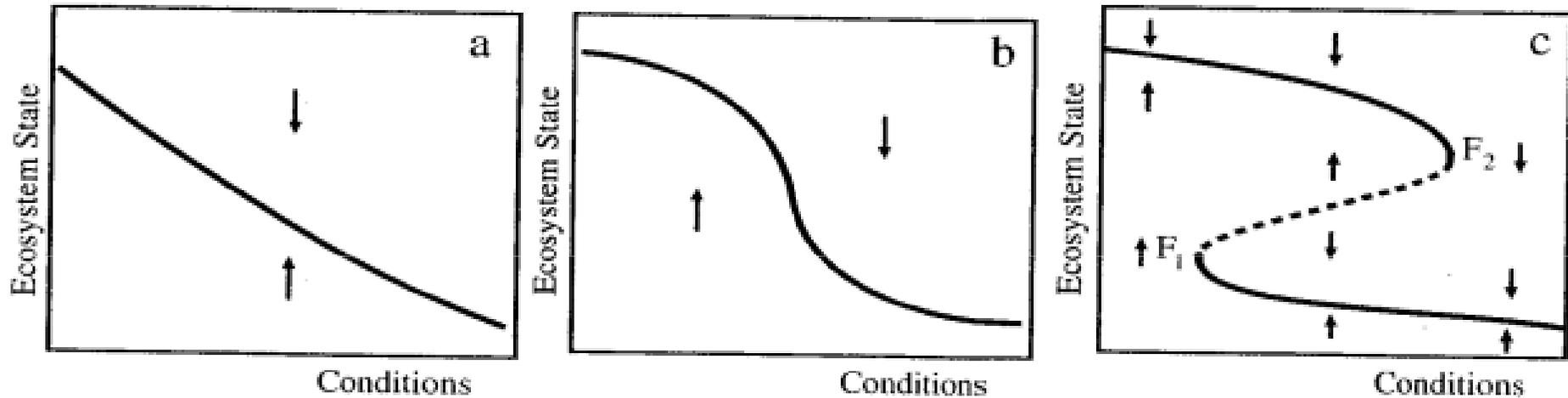
- ✓ quantidade de perturbação necessária para mudar o estado do sistema
- ✓ largura da bacia de atração

HISTERESE + RESILIENCIA

- ✓ estado do sistema pode mudar pouco com mudanças nas condições ambientais, mas a resiliência é reduzida – ou seja, pouco se vê antes da MUDANÇA BRUSCA
- ✓ retorno do sistema a outro estado requer mais mudança nas condições ambientais do que foi necessário para levá-lo ao estado atual – TRANSIÇÕES CRÍTICAS não são fáceis de reverter



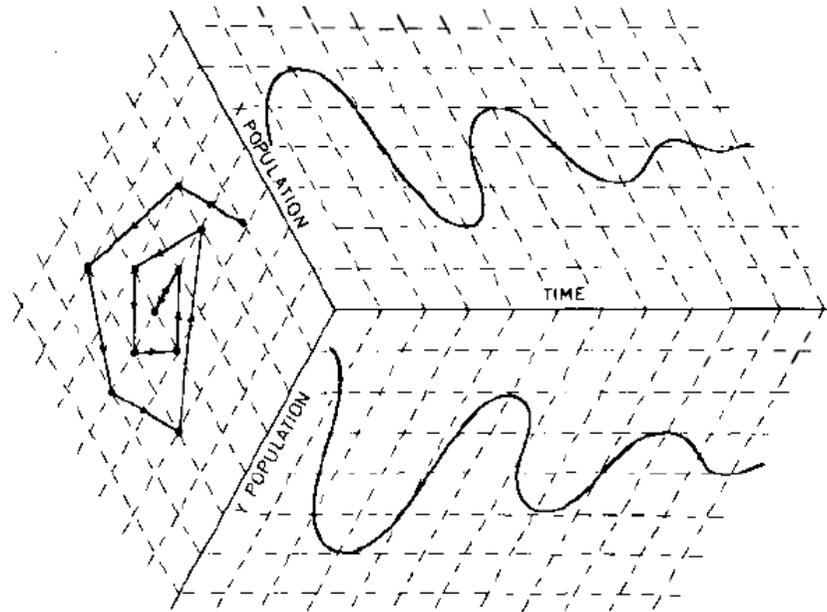
RELAÇÕES DO ESTADO DE EQUILÍBRIO COM AS
CONDIÇÕES AMBIENTAIS SÃO CONTÍNUAS...



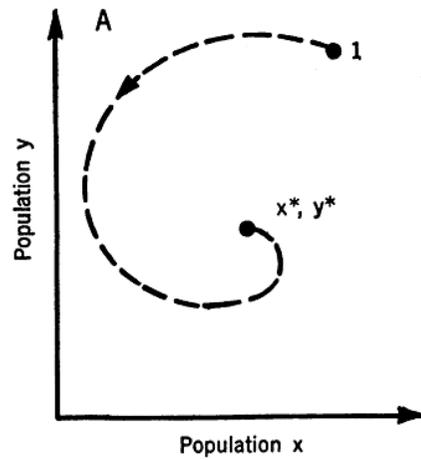
OS TRÊS CASOS REPRESENTAM EXTREMOS DE UM GRADIENTE DE RESPOSTAS

ATRADORES NÃO SÃO SÓ PONTOS DE EQUILÍBRIO...

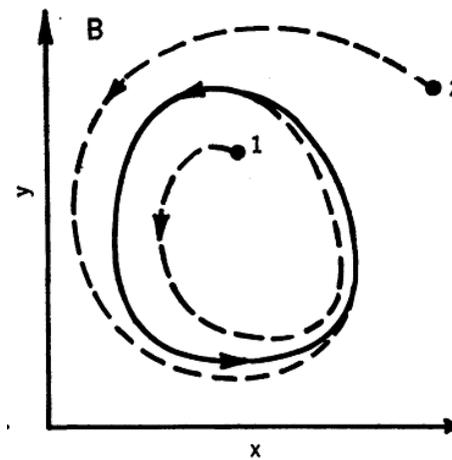
PLANO DE FASE



PONTO DE EQUILÍBRIO

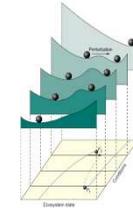


CICLO LIMITE



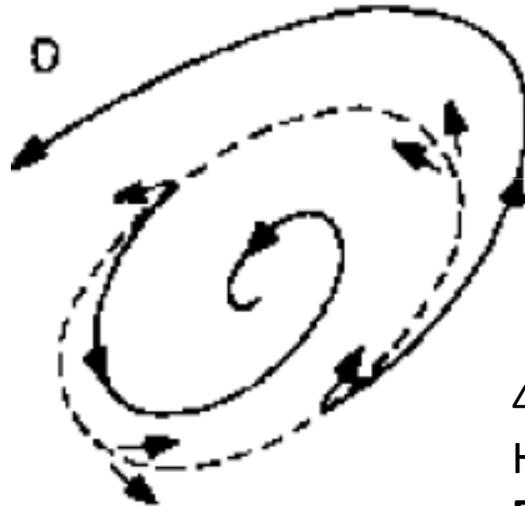
CAOS

RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU
TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogia

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais



3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

6. IMPLICAÇÕES PARA O
MANEJO
**Resiliência e o manejo de
sistemas sócio-ecológicos**

4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES,
HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
**De novo, diversidade e
estabilidade**

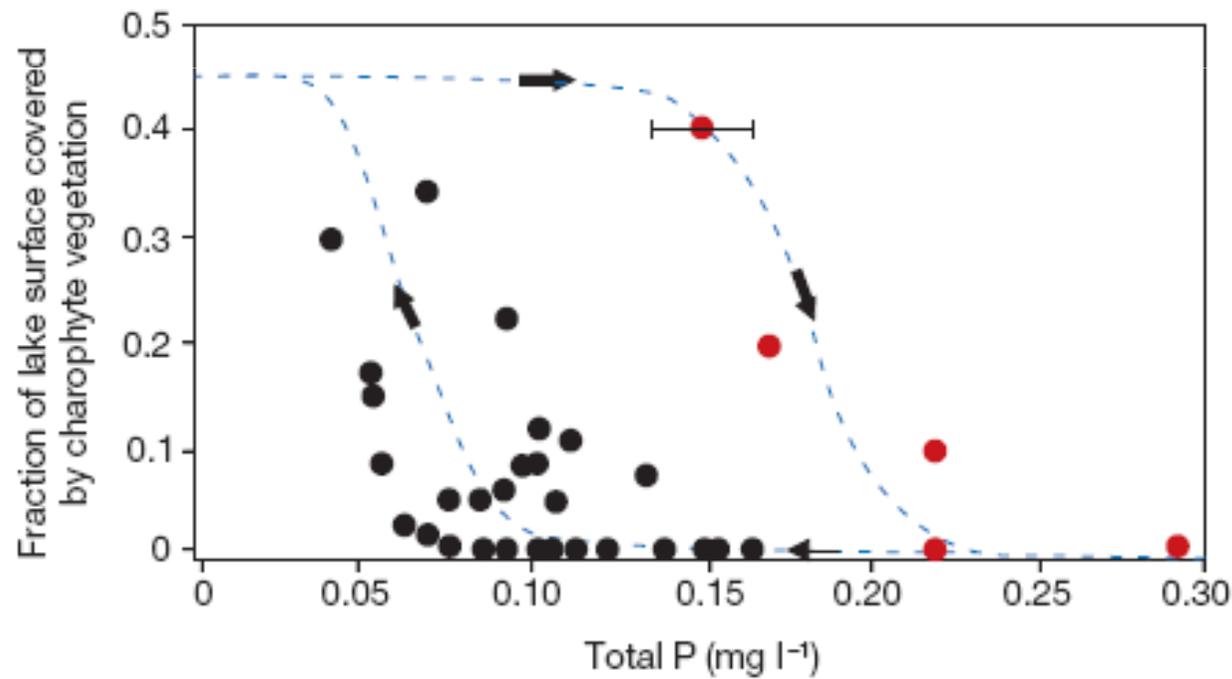
5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?

MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ LAGOS CLAROS E TURVOS

Águas claras com vegetação submersa

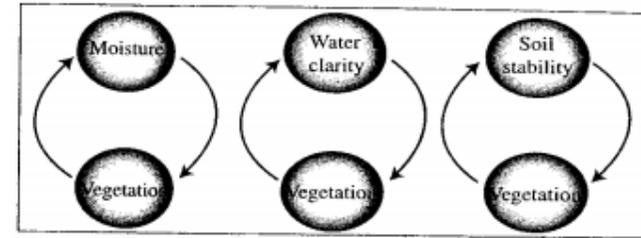
Águas turvas sem vegetação submersa



Scheffer et al. 1993

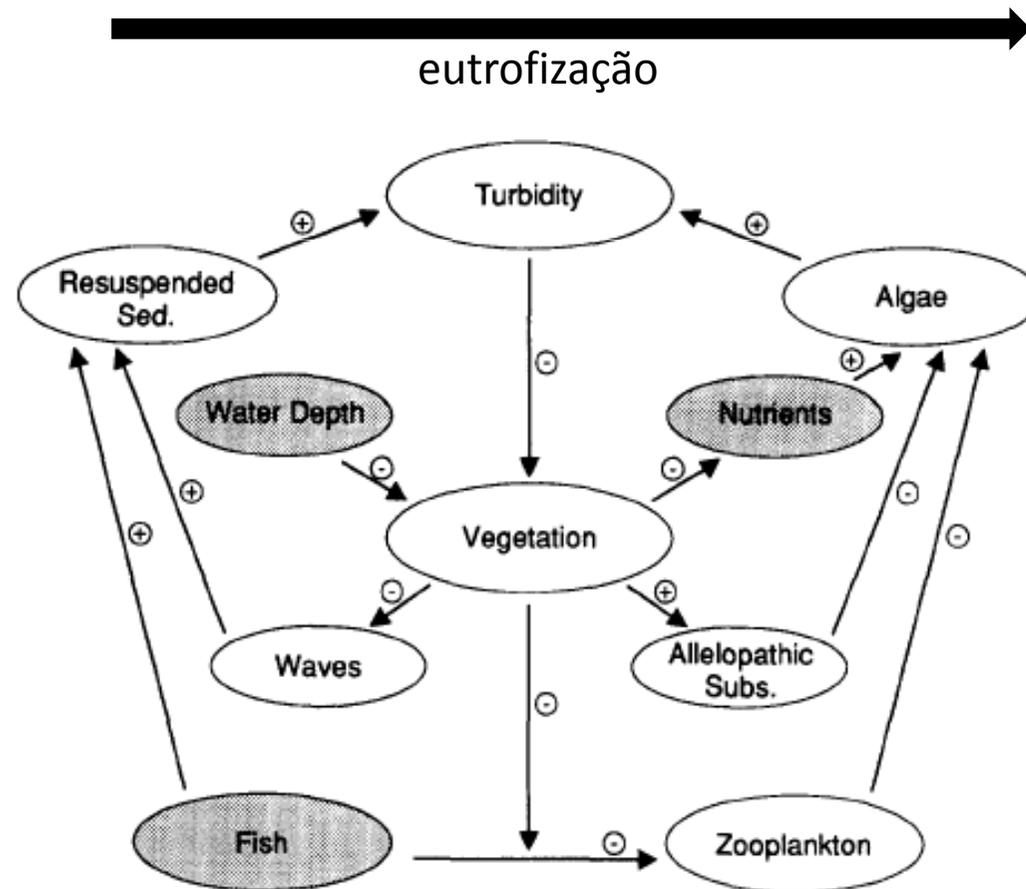
MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ LAGOS CLAROS E TURVOS



Águas claras com vegetação submersa

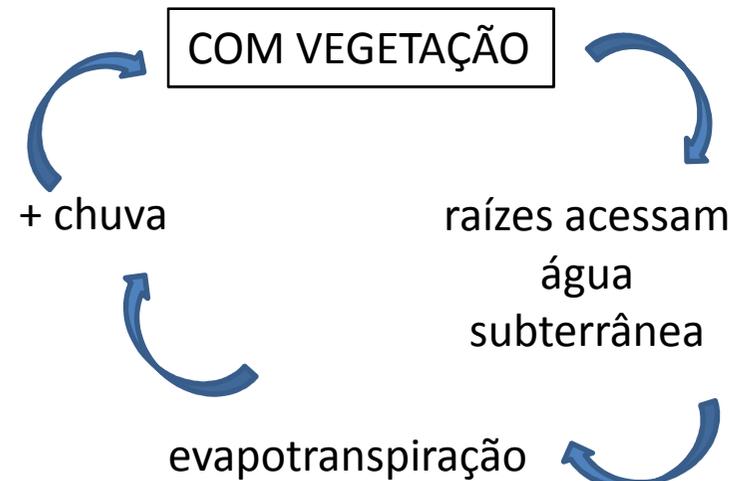
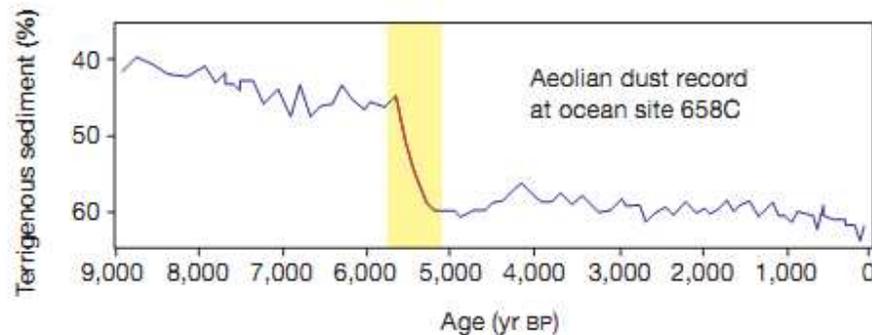
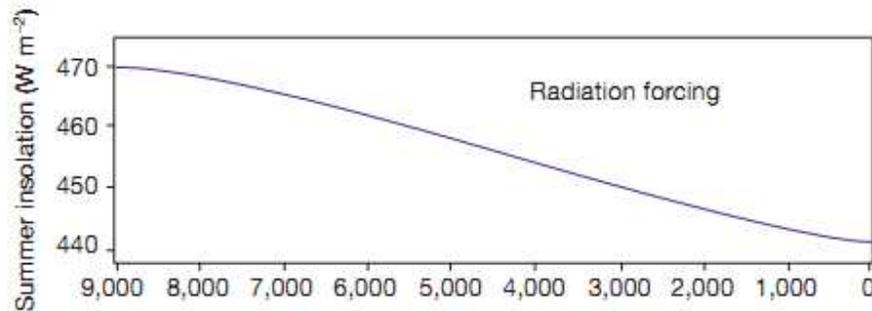
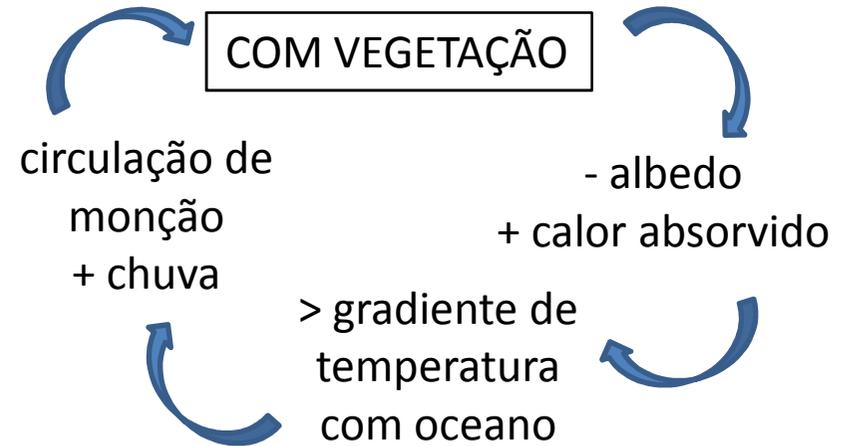
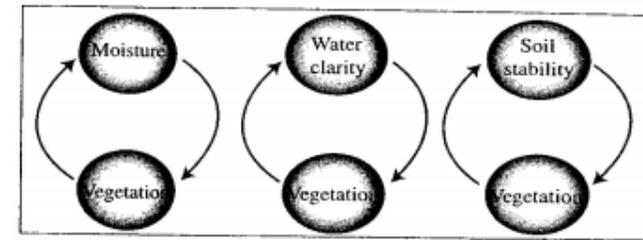
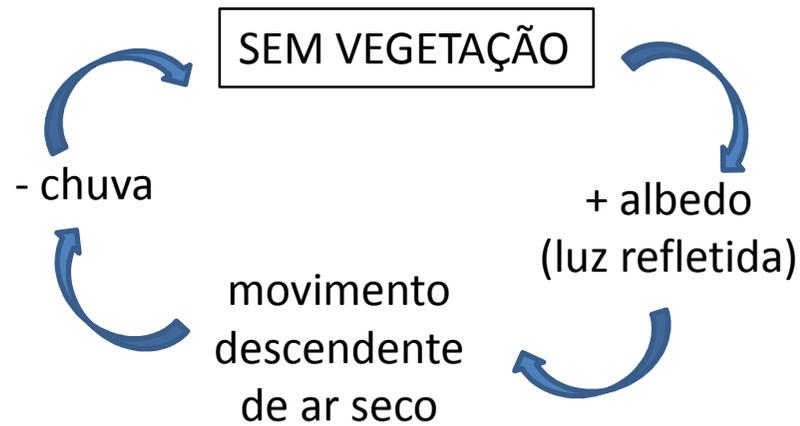
Águas turvas sem vegetação submersa



Scheffer et al. 1993

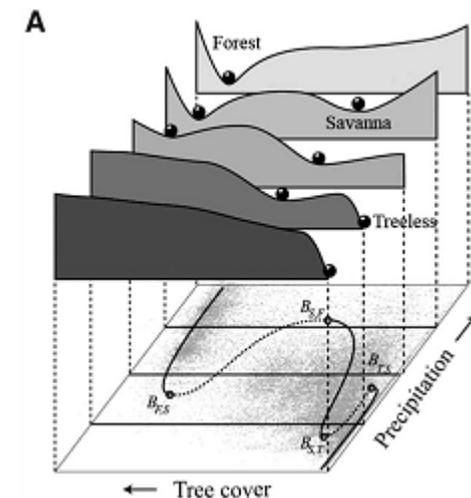
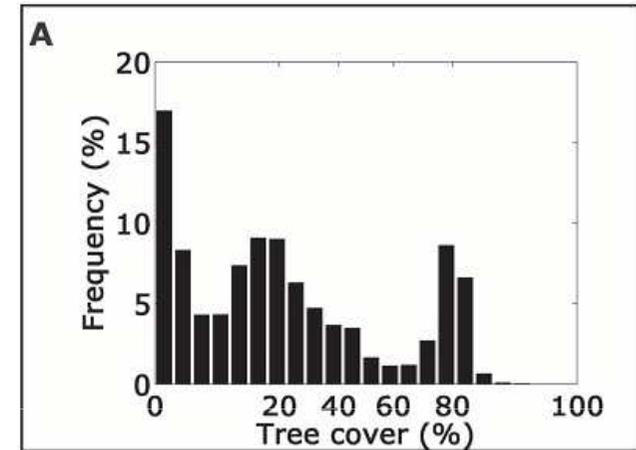
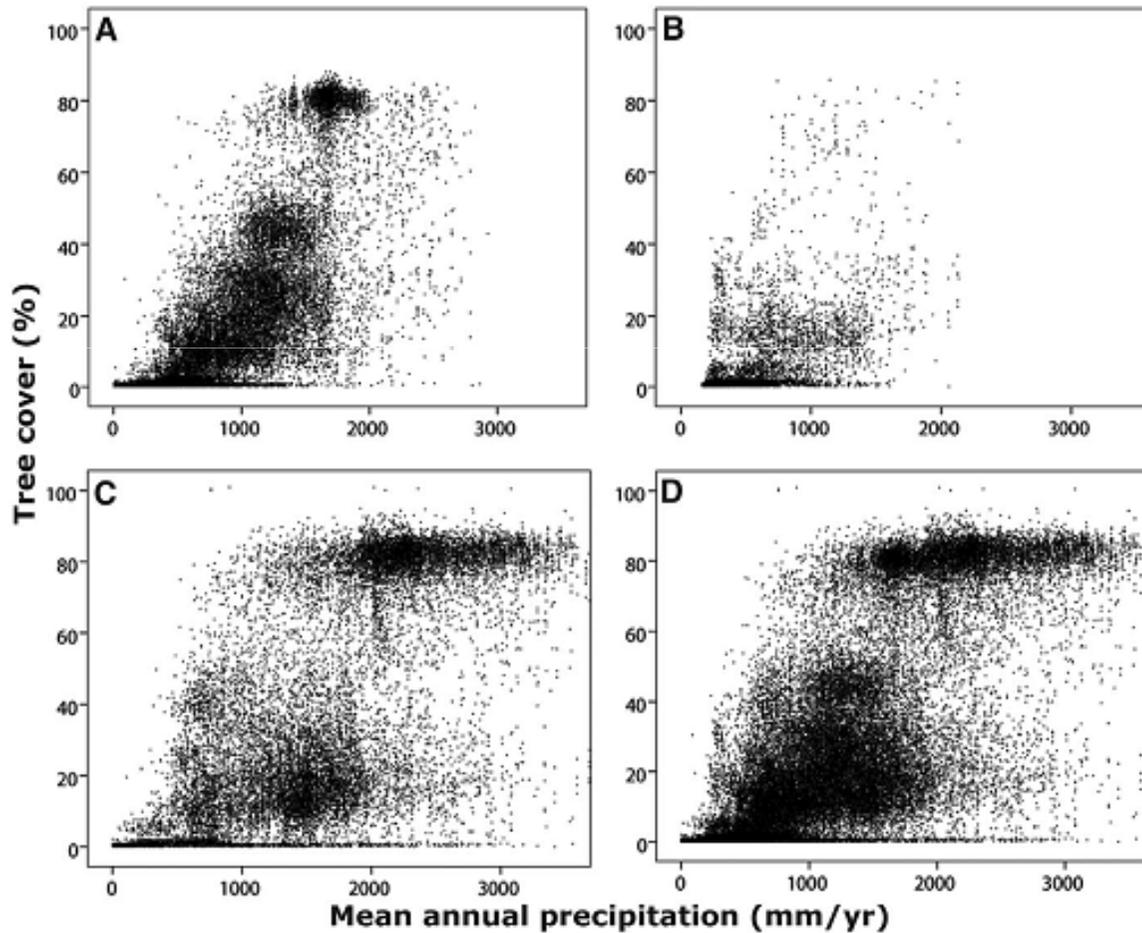
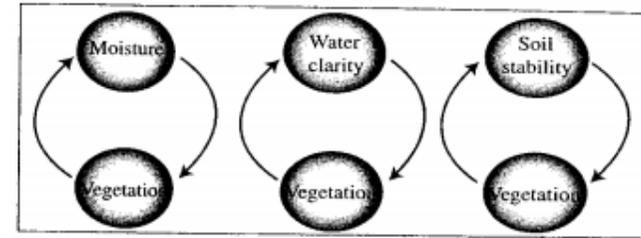
MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ DESERTOS



MECANISMOS BIOLÓGICOS

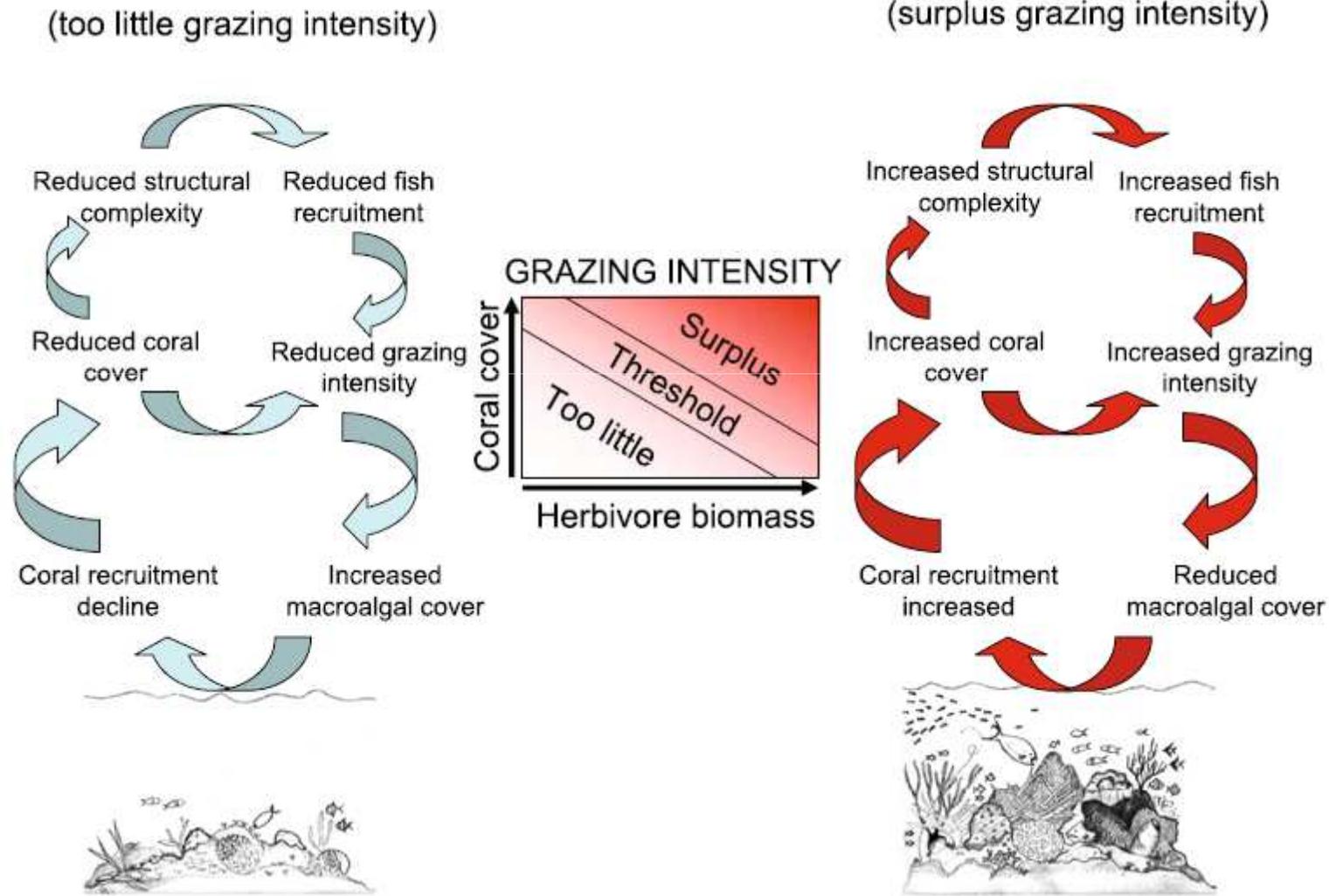
✓ FLORESTAS E SAVANAS TROPICAIS



Hirota et al. Science 2011

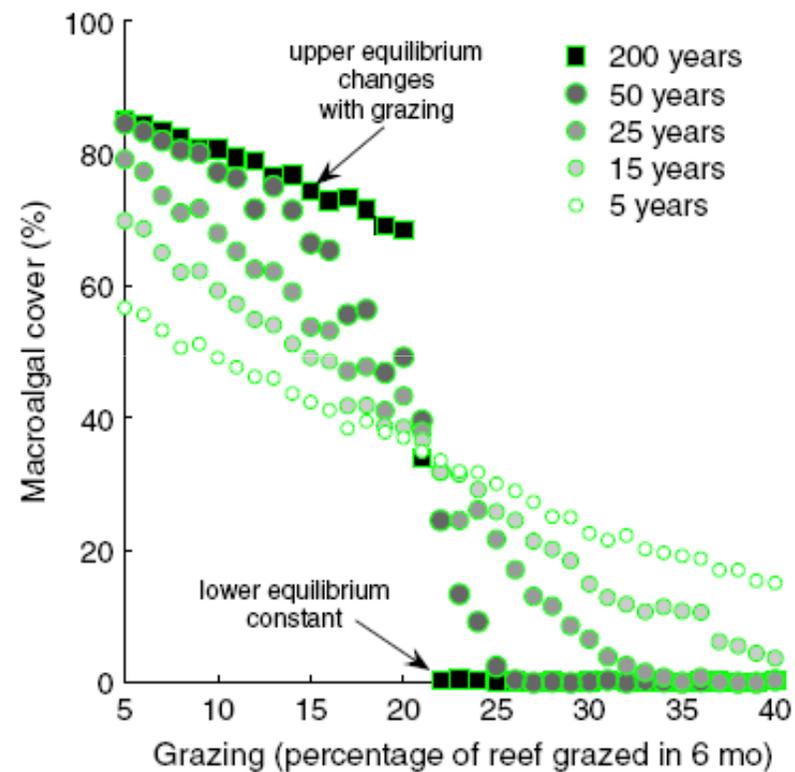
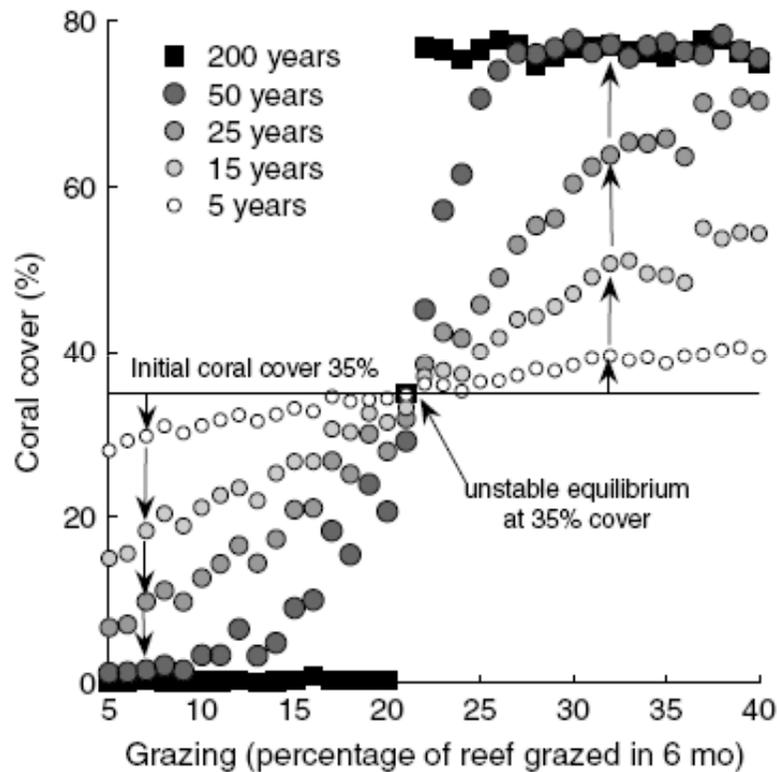
MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ RECIFES DE CORAL E DE ALGAS



MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ RECIFES DE CORAL E DE ALGAS

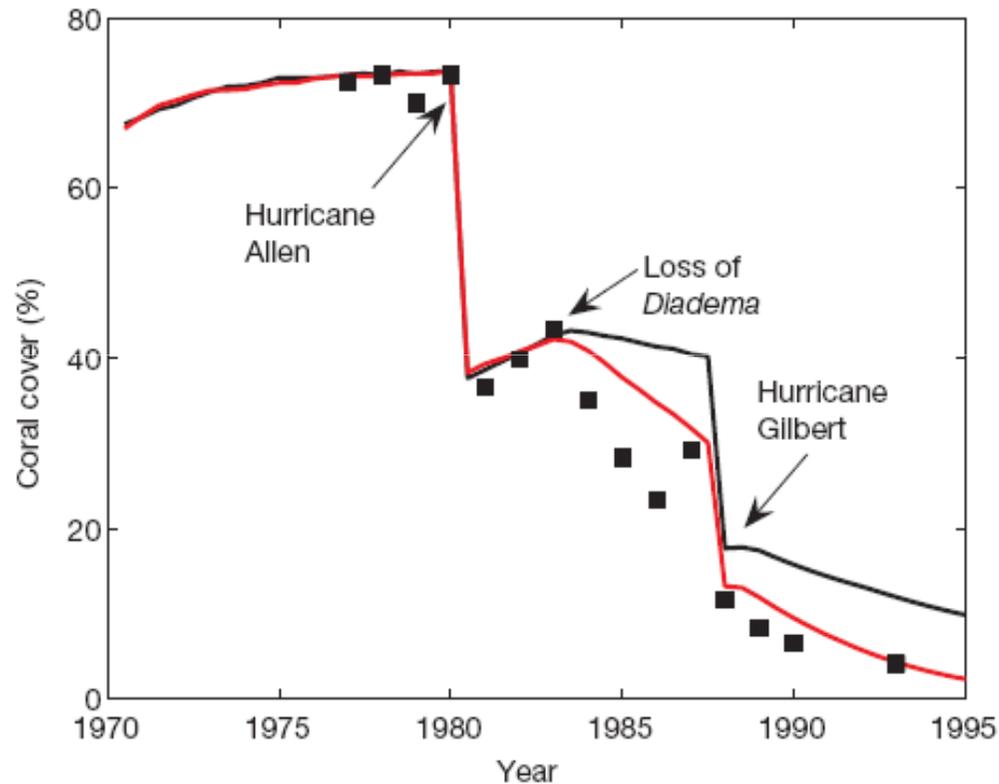


Modelo de simulação parametrizado com dados
Simula feedback que manteria os diferentes estados

Mumby Coral Reefs 2009

MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ RECIFES DE CORAL E DE ALGAS

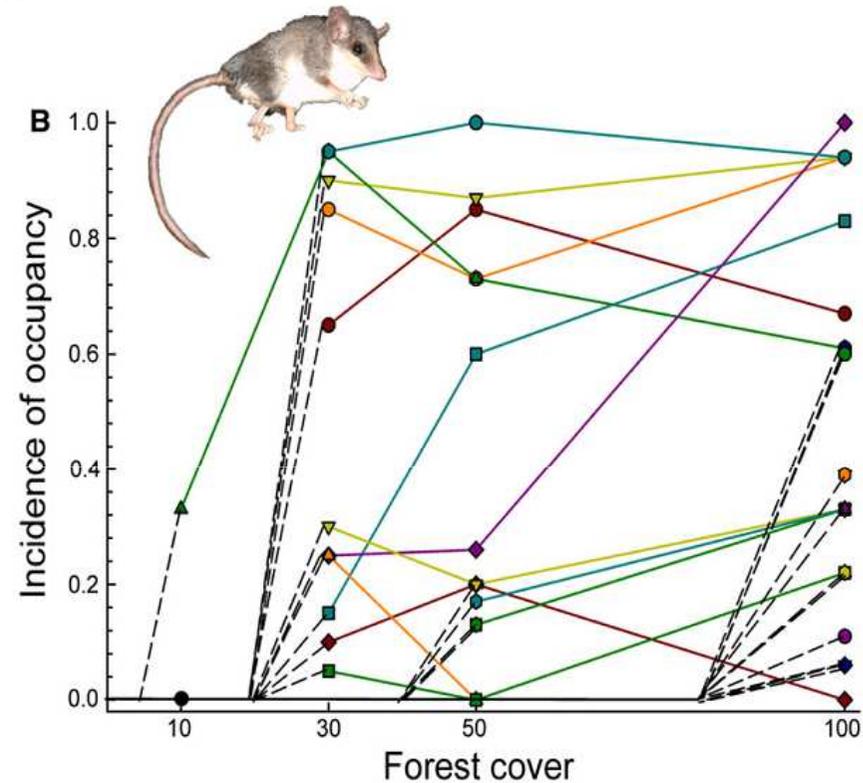
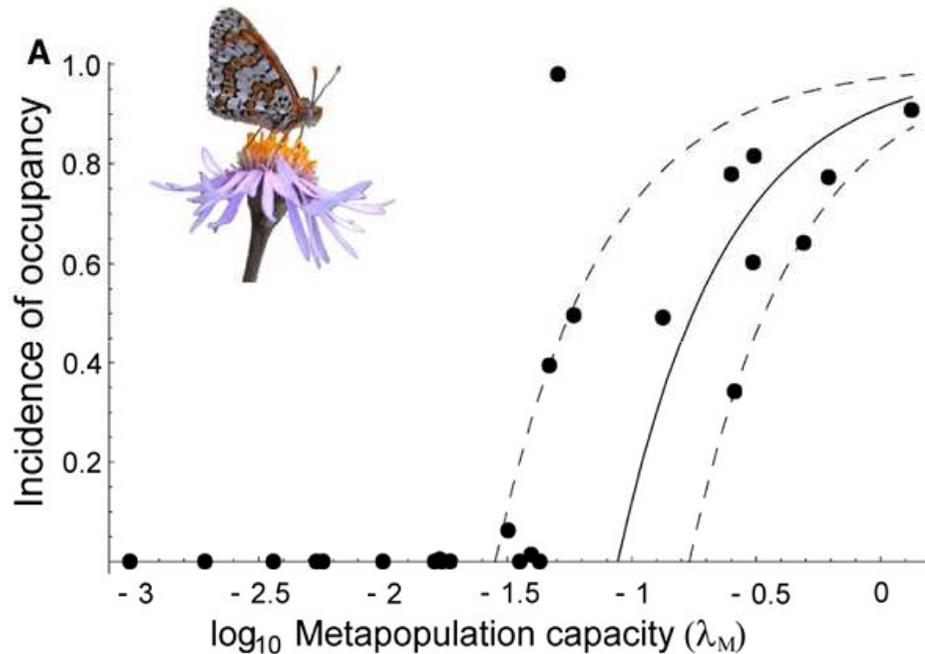


Modelo de simulação parametrizado com dados
Simula feedback que manteria os diferentes estados

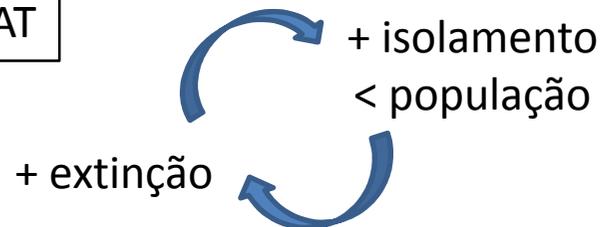
Mumby et al. Nature 2007.

MECANISMOS BIOLÓGICOS

✓ ESPÉCIES EM PAISAGENS FRAGMENTADAS

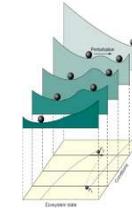


PERDA DE HABITAT



Hanski AMBIO 2011

RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU
TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogia

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais



3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

6. IMPLICAÇÕES PARA O
MANEJO
**Resiliência e o manejo de
sistemas sócio-ecológicos**

4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES,
HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
**De novo, diversidade e
estabilidade**

5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

A teoria e modelos de múltiplos estados lidam com a **parte fácil da dinâmica de sistemas complexos**:

- ✓ modelos mínimos
- ✓ simulam o comportamento de caricaturas de sistemas complexos
- ✓ em ambiente homogêneo e constante

FLUTUAÇÕES

HETEROGENEIDADE

DIVERSIDADE

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

FLUTUAÇÕES

- ✓ Modelos consideram o **ambiente constante** ou no máximo **oscilando periodicamente**
- ✓ Maioria dos teóricos **fica longe das águas turvas** dos sistemas afetados por **estocasticidade** e por boas razões teóricas
- ✓ Resultados **analíticos, limpos e gerais são muito mais difíceis de obter** em modelos que incluem estocasticidade (**noisy models**)

MUITOS SISTEMAS PODEM ESTAR EM ESTADOS
TRANSIENTES E POSSIVELMENTE LONGE DOS SEUS
ATRADORES TEÓRICOS A MAIOR PARTE DO TEMPO

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

HETEROGENEIDADE E MODULARIDADE

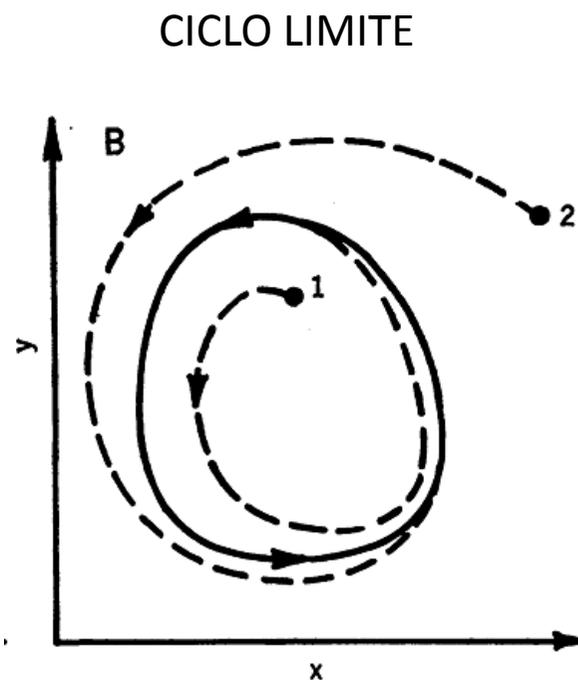
- ✓ **Muitos dos modelos clássicos** usados para estudar a dinâmica e estabilidade de sistemas **desconsidera heterogeneidade espacial**
- ✓ A maioria dos ecossistemas é composta por **manchas de habitat, conectadas em diferentes graus** por meios passivos e ativos

HETEROGENEIDADE ESPACIAL É TIDA COMO UMA FORÇA
IMPORTANTE PARA CO-EXISTÊNCIA DE ESPÉCIES E
ESTABILIZAÇÃO DE COMUNIDADES

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

HETEROGENEIDADE E MODULARIDADE – ciclos predador-presa

- ✓ Modelos **predador-presa** prevêm **ciclos** (ciclo limite estável), mas as **populações naturais raramente apresentam tais ciclos**



IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

HETEROGENEIDADE E MODULARIDADE – ciclos predador-presa

✓ Maioria destes modelos prevê que o **efeito da heterogeneidade depende da conectividade entre os compartimentos**

Em isolamento completo - cada compartimento se comporta do seu jeito (ciclos)

Muita conexão - heterogeneidade insignificante, todo o sistema entra em sincronia (ciclo)

Graus intermediários de conexão e acoplamento - efeito estabilizador (refúgios e dinâmica de fonte-dreno)

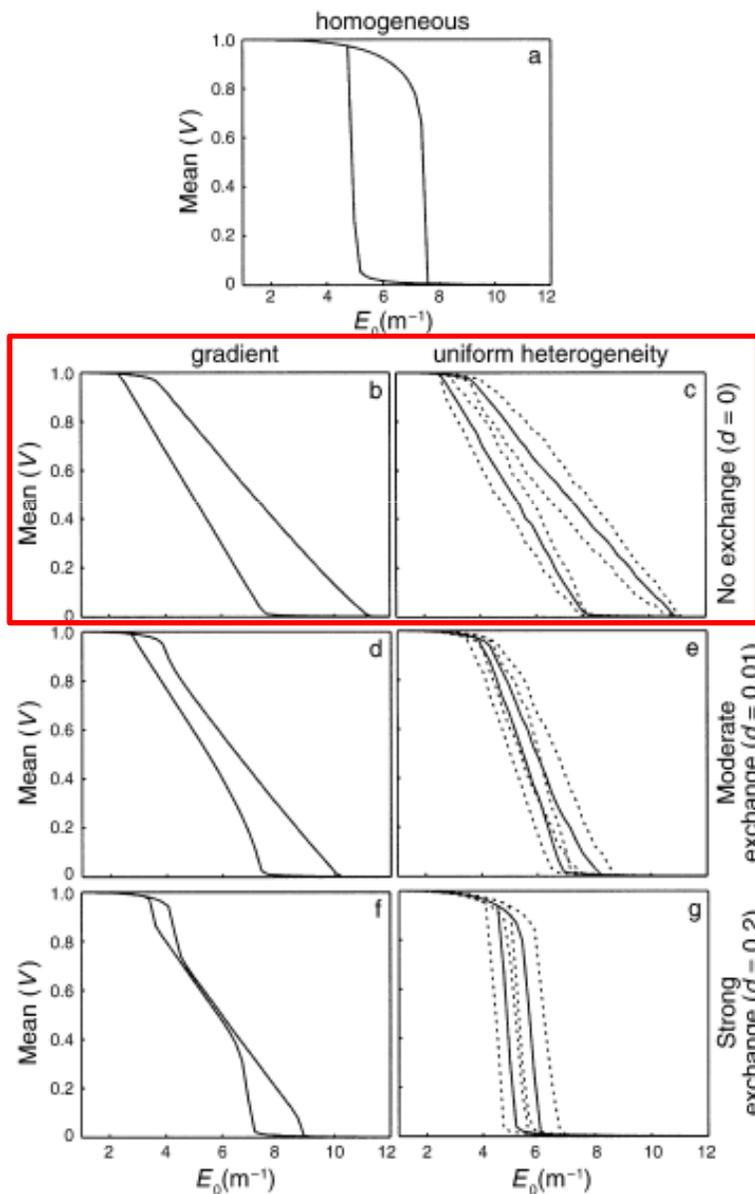


IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

HETEROGENEIDADE E MODULARIDADE – heterogeneidade e transições críticas

- ✓ 3 modelos – consumidor/ recurso, ciclo do fósforo em lagos, **macrófitas e turbidez em lagos rasos**
- ✓ 2 tipos de heterogeneidade - gradiente e aleatória
- ✓ 3 tipos de conexão - sem, moderada e forte

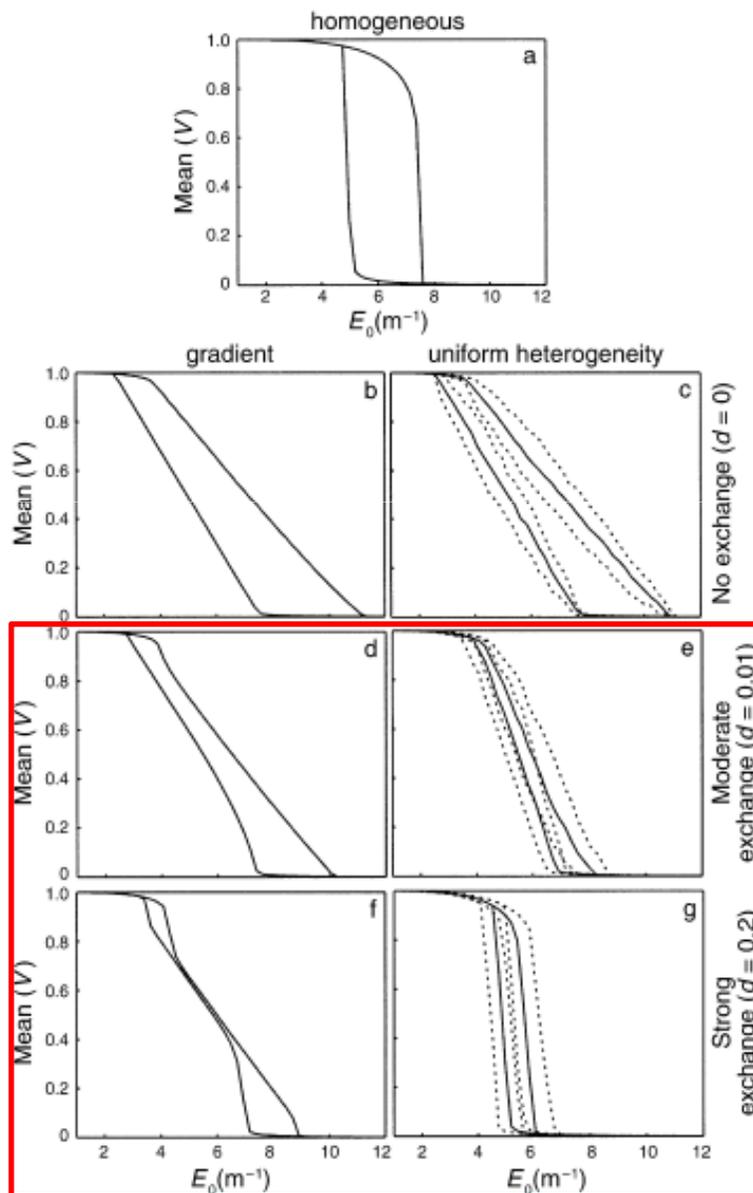
IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE



SEM CONEXÃO

- ✓ resposta INDEPENDENTE do tipo de heterogeneidade (igual entre gradiente e aleatório)
- ✓ resposta MAIS GRADUAL (por causa da heterogeneidade, cada ponto muda para o estado alternativo em valores diferentes da variável controle)
- ✓ histerese se mantém (cada ponto mantém a sua)

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE



COM CONEXÃO

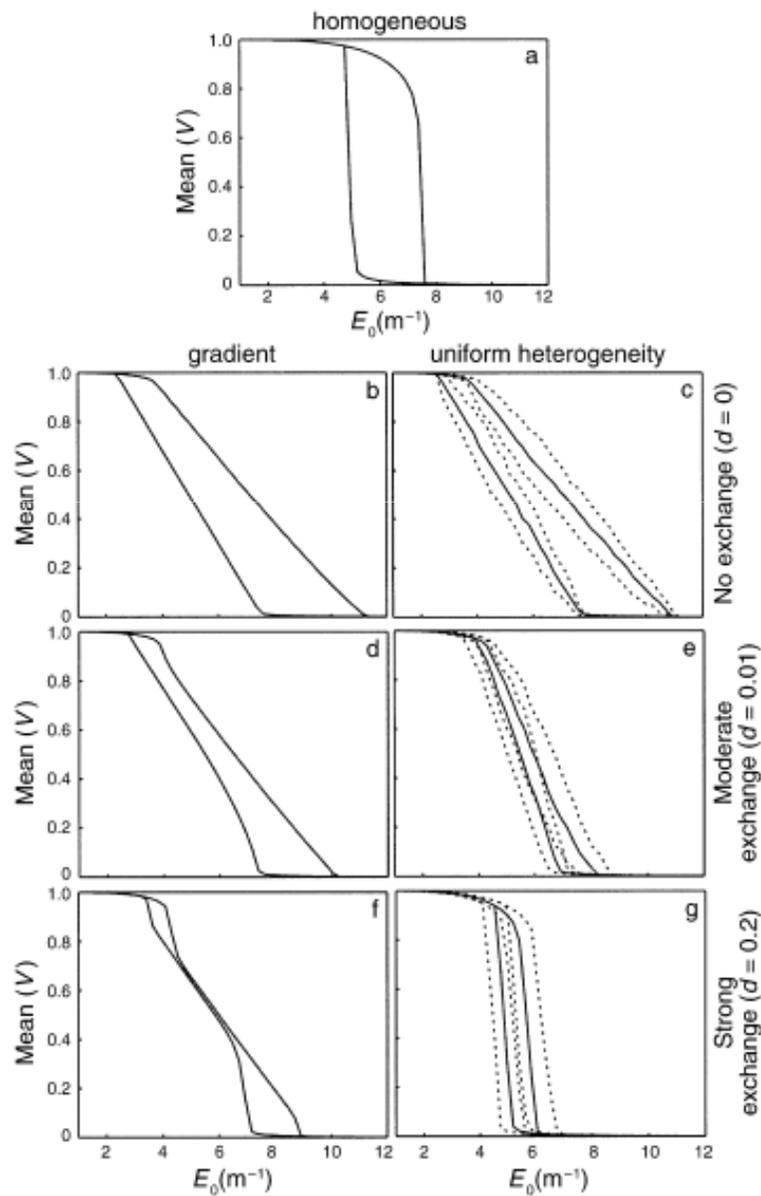
resposta DEPENDE do tipo de heterogeneidade

Aleatória - existe histerese e a resposta volta a ser brusca e sincronizada

Gradiente - resposta é gradual e a histerese é reduzida quando a conexão é forte

- reduzida às fases iniciais, quando nenhuma das manchas mudou para o estado alternativo
- assim que uma muda - efeito dominó dado pelo gradiente ambiental e conexão que empurra as manchas vizinhas para a mudança de estado

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE



CONCLUSÃO

heterogeneidade espacial pode enfraquecer a tendência de mudanças bruscas em escalas espaciais grandes quando:

- ✓ a conexão é intermediária
- ✓ a heterogeneidade forma um gradiente espacial

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

✓ **componentes** da maioria dos **sistemas complexos** como ecossistemas e sociedades **são muito diversos**

✓ **abordagem de sistemas dinâmicos clássica** deixa de fora muitos destes componentes, **se concentrando** naqueles que se pensa **“dirigem” a dinâmica dos sistemas**

✓ O que se perde deixando de fora a grande variedade de componentes de sistemas complexos? Questão importante dada a perda acelerada de biodiversidade.

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

- ✓ A **diversidade** aumenta o **número de estados estáveis alternativos**?

Modificação do modelo de LOTKA-VOLTERRA:

- ✓ K sujeito a fator ambiental ao qual a espécie tem determinada sensibilidade
- ✓ Fator de imigração
- ✓ Ruído adicionado ao fator ambiental
- ✓ 150 comunidades de 20 espécies
- ✓ Para cada uma, 100 simulações variando as condições iniciais de todas as espécies

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

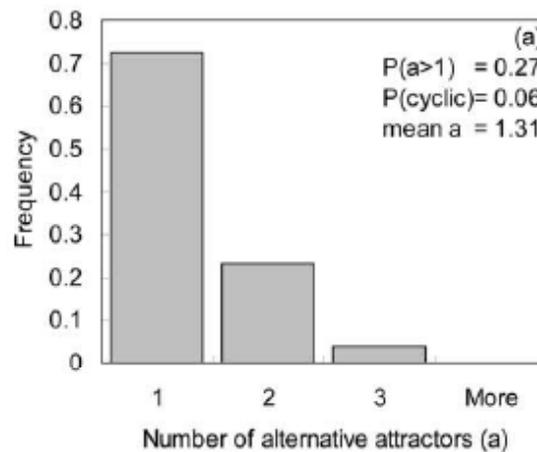
MÚLTIPLOS ESTADOS:

✓ Comuns em modelos de muitas espécies

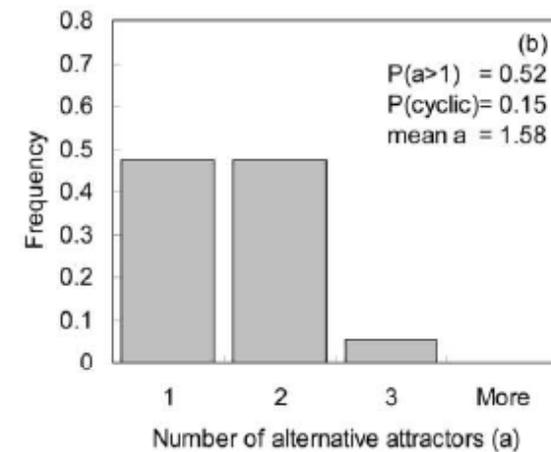
✓ Especialmente se há simetria na competição

✓ **Múltiplos atratores na definição da composição das comunidades**

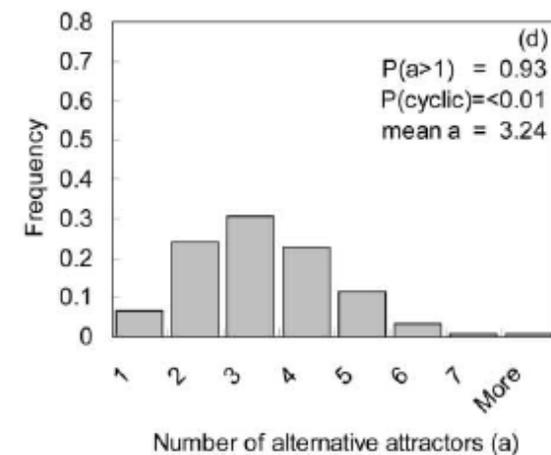
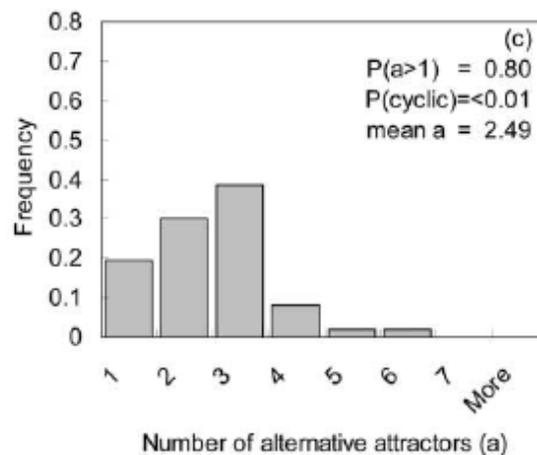
Interspecific \leq intraspecific competition



Interspecific can be larger than intraspecific competition



Asymmetrical competition



Symmetrical competition

Competition only

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

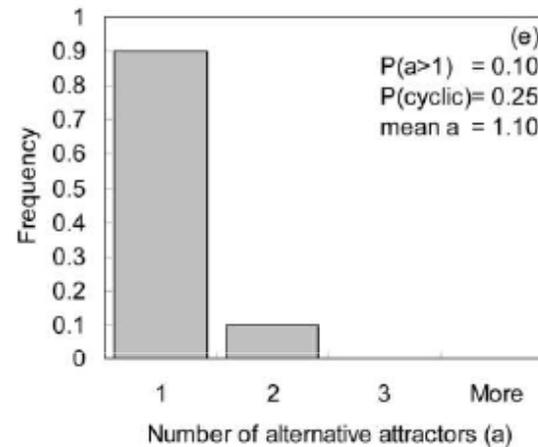
MÚLTIPLOS ESTADOS:

✓ Comuns em modelos de muitas espécies

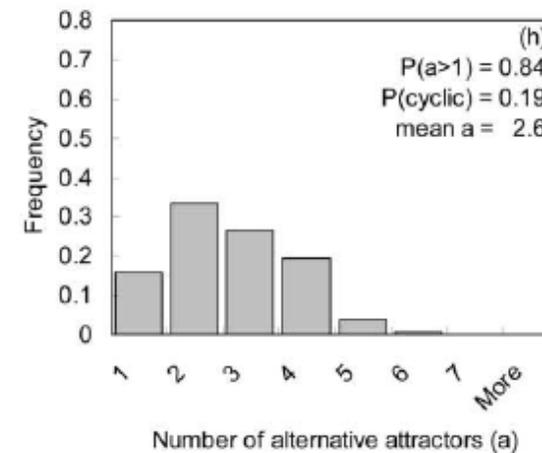
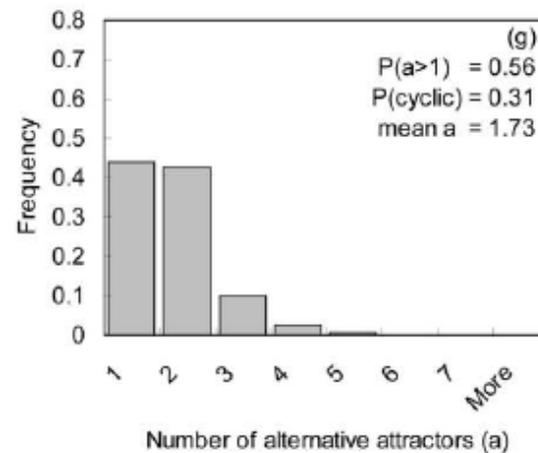
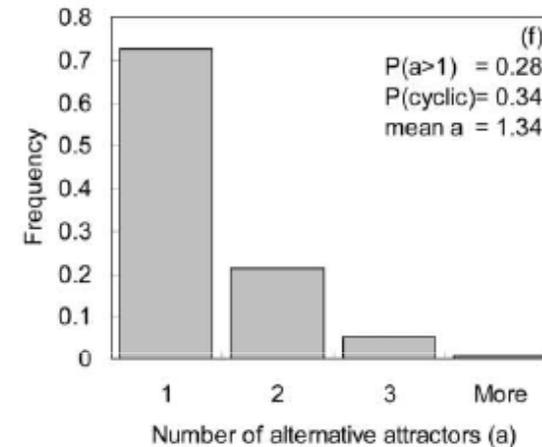
✓ Especialmente se há simetria na competição

✓ **Múltiplos atratores na definição da composição das comunidades**

Interspecific \leq intraspecific competition



Interspecific can be larger than intraspecific competition



Asymmetrical competition

Symmetrical competition

Predation and competition

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

- ✓ A **diversidade** aumenta a **estabilidade**?
- ✓ Esta não é uma pergunta bem colocada...
- ✓ Os dois termos são definidos de muitas maneiras... **a resposta pode ser sim ou não dependendo das definições...**

Oecologia (1997) 109:323–334

© Springer-Verlag 1997

Volker Grimm · Christian Wissel

Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

- ✓ A **diversidade** aumenta a **resiliência**?

DUAS HIPÓTESES - DIVERSIDADE E FUNCIONAMENTO DE ECOSISTEMAS

Hipótese do seguro

- ✓ mais diversidade mais o funcionamento ficará estável frente a perturbações
- ✓ mais espécies com o mesmo papel torna o sistema menos frágil à perda de uma espécie

ESPÉCIES APRESENTAM DIVERSIDADE DE RESPOSTA A DISTÚRBIOS

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

- ✓ A **diversidade** aumenta a **resiliência**?

DUAS HIPÓTESES - DIVERSIDADE E FUNCIONAMENTO DE ECOSISTEMAS

Hipótese da complementaridade

- ✓ mais espécies (que diferem na performance da função) fazem a função melhor em conjunto (COMPLEMENTARIDADE)
- ✓ simplesmente mais espécies aumenta a chance de que uma espécie com melhor performance esteja presente

ESPÉCIES APRESENTAM DIVERSIDADE DE PERFORMANCE DA FUNÇÃO

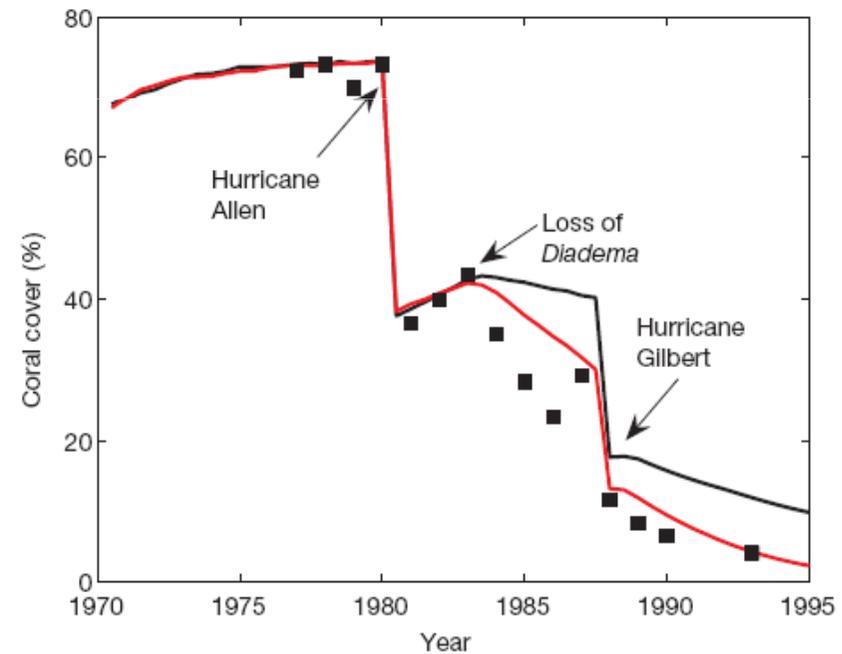
IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

✓ A **diversidade** aumenta a **resiliência**?

Hipótese do seguro

✓ Caso dos recifes de corais do Caribe – a epidemia que dizimou o ouriço não teria esse efeito se os peixes já não tivessem sido dizimados por pesca



IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

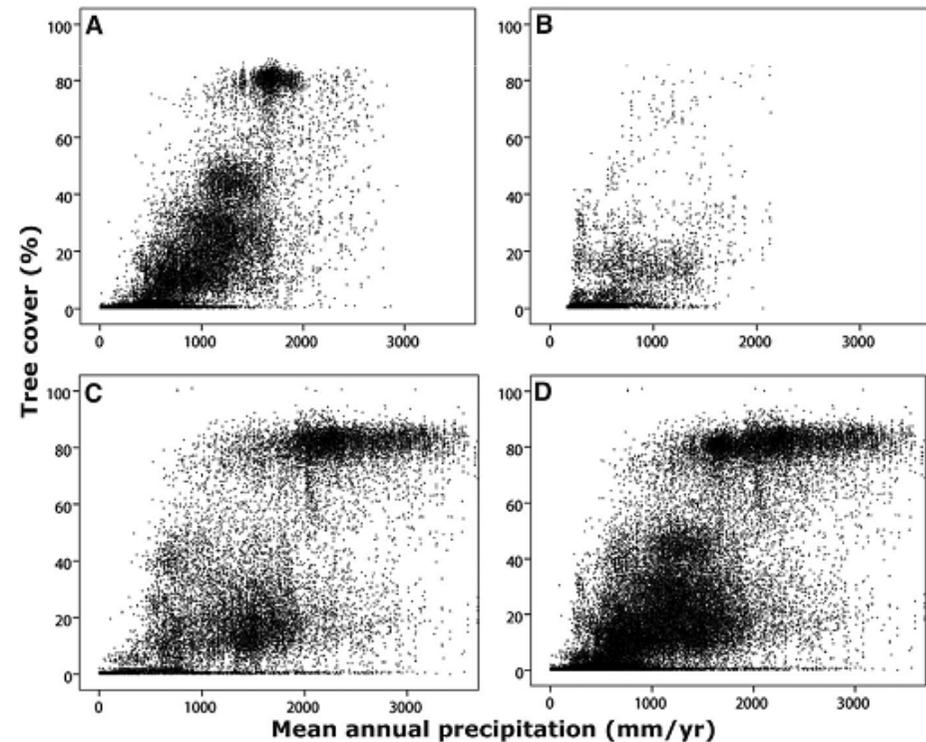
DIVERSIDADE

✓ A **diversidade** aumenta a **resiliência**?

Hipótese da complementaridade

✓ Caso das florestas-savanas tropicais – árvores com raízes profundas são mais importantes para manter o feedback vegetação-clima - perda destas espécies facilita a mudança para um estado de savana

Venail et al. Nature 2008



IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

DIVERSIDADE

- ✓ A **diversidade** aumenta a **resiliência**?

Correlação entre **atributos das espécies**:

- ✓ RESPOSTA A DISTÚRBIOS

- ✓ PERFORMANCE NA FUNÇÃO

- ✓ deve afetar a maneira como a resiliência do sistema muda com a perda de espécies

- ✓ Há poucos estudos bem documentados que ligam mudanças bruscas a perda de resiliência causada pela perda de diversidade

- ✓ **HOWEVS**, várias evidências empíricas sugerem que a perda de espécies diminui a resiliência dos sistemas

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

Comportamento dos sistemas ecológicos - duas propriedades distintas :

RESILIÊNCIA:

- ✓ habilidade dos sistemas de absorver mudanças e persistir;
- ✓ propriedade cujo resultado é a persistência

ESTABILIDADE:

- ✓ habilidade dos sistemas de retornar ao equilíbrio depois de uma perturbação pequena;
- ✓ tão maior quando mais rápido e com menos flutuações retornar;
- ✓ propriedade cujo resultado é o grau de flutuação ao redor do equilíbrio

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

BALANÇO ENTRE ESTABILIDADE E RESILIÊNCIA

- ✓ Produto da história evolutiva dos sistemas frente a amplitude de flutuações randômicas que tenham vivenciado
- ✓ Quanto mais **homogêneo o ambiente no espaço e no tempo**, maior a probabilidade do sistema de apresentar **baixas flutuações (alta estabilidade) e baixa resiliência**
- ✓ Quanto **mais aberto o sistema** para migrações, **maior a resiliência**, mas **não necessariamente a estabilidade**

IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE

VISÕES CONFLITANTES ENTRE DIVERSIDADE, CONECTÂNCIA E ESTABILIDADE

✓ Elton e MacArthur – maior número de ligações maior estabilidade

✓ Muitas ligações permitem a manutenção do fluxo de energia e nutrientes através de ligações alternativas quando uma espécie se torna rara ou se extingue

RESILIÊNCIA

FUNCIONAMENTO DE ECOSISTEMAS

✓ May – maior número de ligações desestabilizam os sistemas

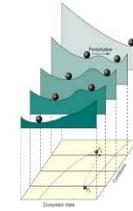
✓ Muitas ligações levam a maiores flutuações

ESTABILIDADE

COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES

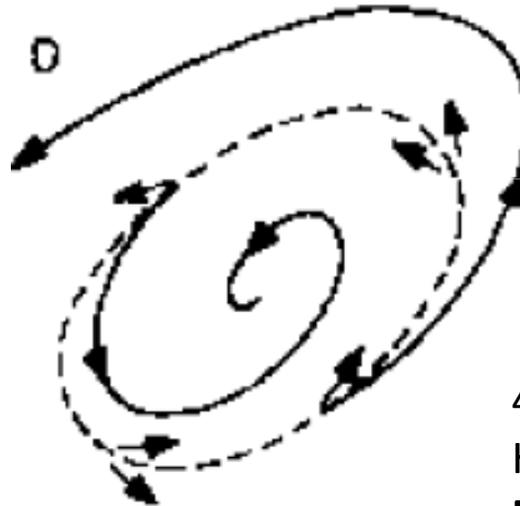
Holling Annu. Rev. Ecol. Syst. 1973

RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogia

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais



3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

6. IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO
Resiliência e o manejo de sistemas sócio-ecológicos

4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES, HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
De novo, diversidade e estabilidade

5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?

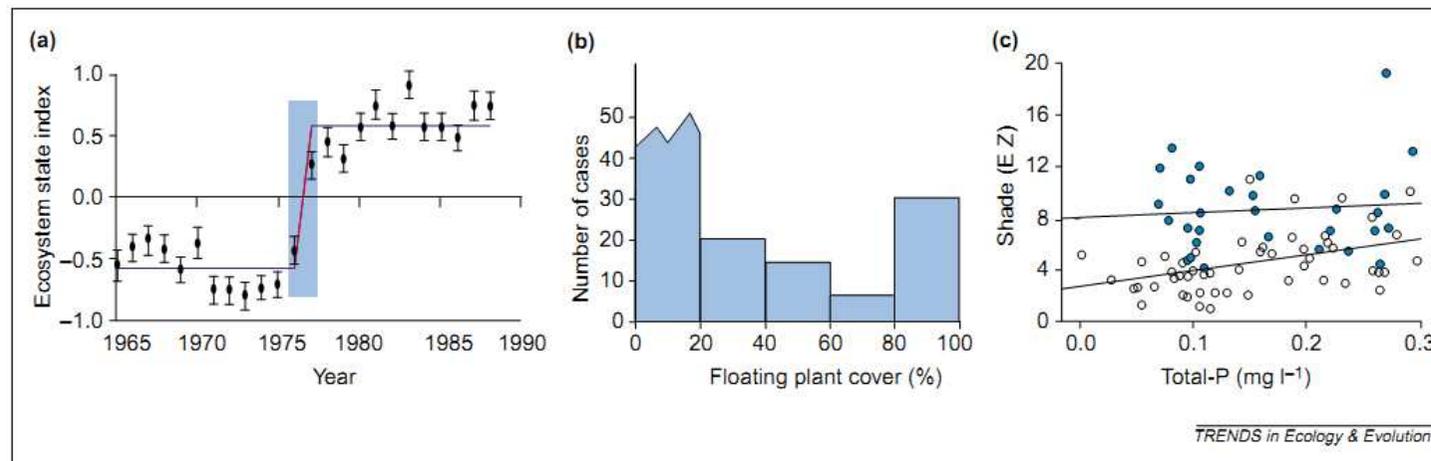
MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

- ✓ Indicações a partir de **dados** observacionais – SUGERE MAS NÃO TESTA
- ✓ Teste de hipóteses por **experimento** – LIMITA MUITO A ESCALA ESPACIAL/ TEMPORAL
- ✓ **Modelos** – INSIGHTS SOBRE O MECANISMO, MAS NÃO TESTA

DADOS

1. Pulos em séries temporais
2. Multimodalidade em dados espaciais
3. Forma da dobra catastrófica

Scheffer & Carpenter TREE 2003

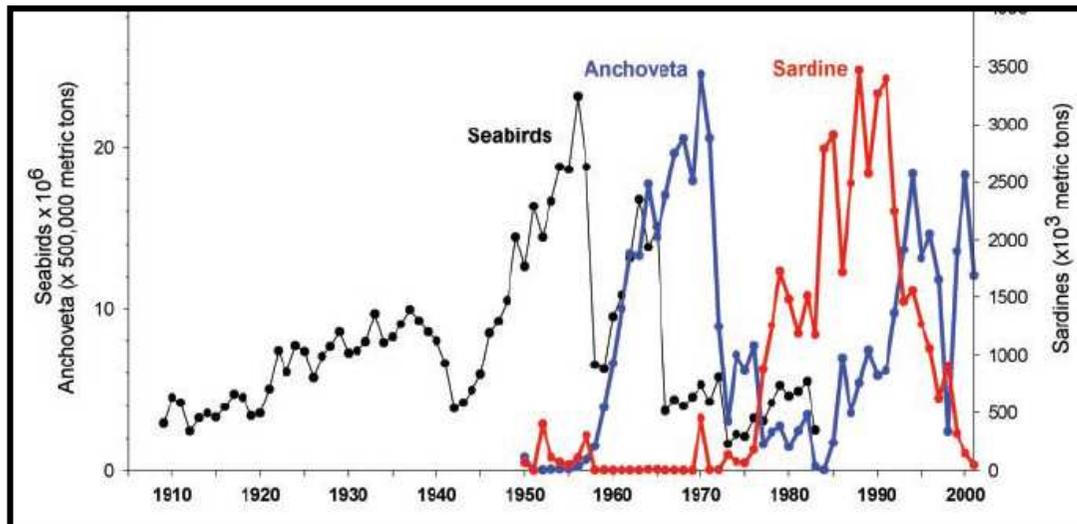


MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

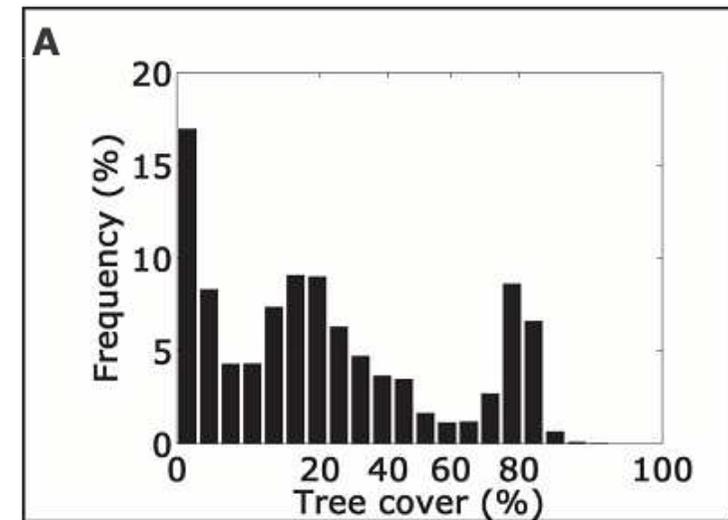
DADOS

1. Pulos em séries temporais
2. Multimodalidade em dados espaciais

POPULAÇÃO DE PEIXES NOS OCEANOS



COBERTURA DE ÁRVORES NOS TRÓPICOS

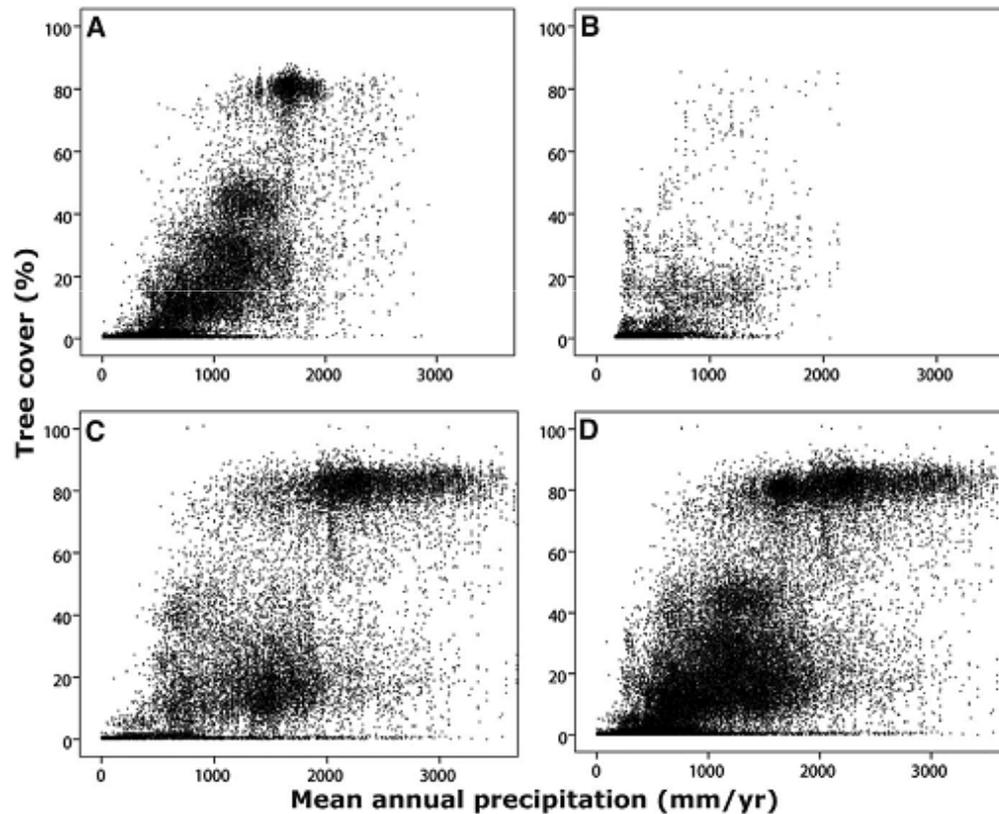


PODEM SE DEVER A MUDANÇAS BRUSCAS NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

DADOS

3. Forma da dobra catastrófica



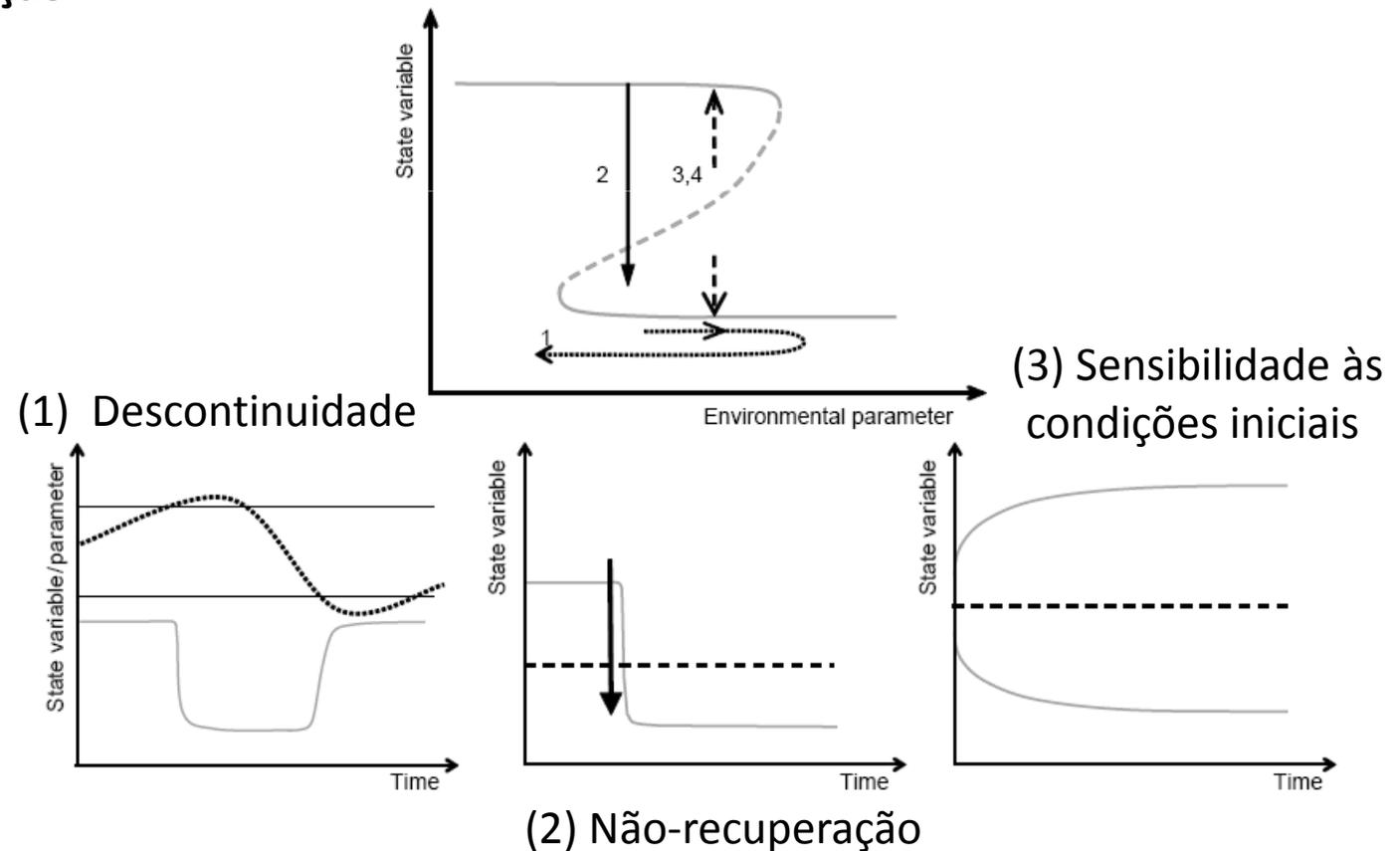
Se há dados sobre o fator determinante:

- ✓ plotar estado contra fator
- ✓ checar estatisticamente se a resposta é melhor explicada por funções diferentes

MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

EXPERIMENTOS

1. Descontinuidade
2. Sensibilidade às condições ambientais
3. Não-recuperação



MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

- ✓ Web-of-Science (1986/2004)
- ✓ Biological Abstracts (1980/2004)
- ✓ Resilience Alliance Online Database (Resilience and SFI 2004)

- ✓ 35 experimentos
- ✓ 14 não apropriados pelo tempo curto ou inconsistências no desenho
- ✓ 21 restantes, 13 (62%) encontraram suporte e 8 (38%) não para a existência de múltiplos estados alternativos

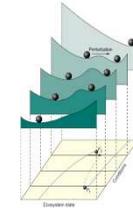
		Positive	Negative
System	laboratory	10 [1, 11, 20, 21, 22, 24, 27, 31, 34, 35]	2 [26, 33]
	field ^a	3 [14, 17, 32]	6 [3, 6, 10, 12, 16, 18]
Habitat	marine ^b	–	3 [3, 6, 18]
	freshwater ^c	8 [1, 11, 20, 21, 27, 32, 34, 35]	4 [10, 16, 26, 33]
	terrestrial	5 [14, 17, 22, 24, 31]	1 [12]
Organism group	plants + macrophytes	3 [14, 17, 34]	3 [6, 12, 16]
	unicellular organisms ^d	4 [1, 11, 27, 35]	1 [33]
	zooplankton	2 [20, 21]	1 [26]
	insects	4 [22, 24, 31, 32]	–
	sessile animals	–	2 [3, 18]
	vertebrates	–	1 [10]
	Theoretical framework	1-dim.	1 [14]
competition		2 [24, 34]	3 [6, 16, 26]
\geq 2-dim. ^{e,f}		7 [1, 11, 17, 20, 21, 22, 32]	1 [3]
community assembly		3 [27, 31, 35]	2 [18, 33]
whole ecosystem		–	1 [10]

MÚLTIPLOS ESTADOS - Como testar?

MODELOS

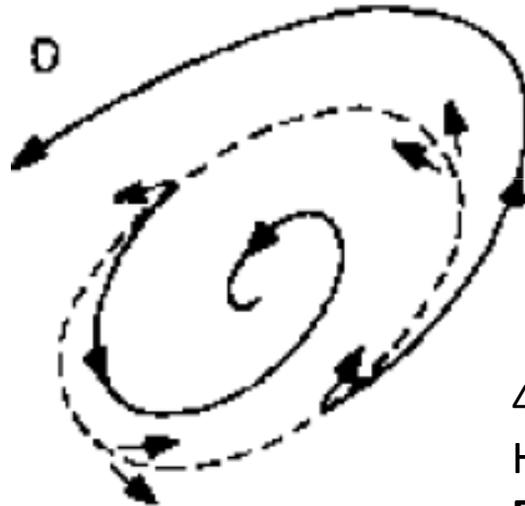
- ✓ Única saída para escalas grandes em que experimentação não é possível
- ✓ Permite insights sobre os mecanismos
- ✓ Podem provar que tal mecanismo reproduz o padrão observado, mas não permitem avaliar a importância deste mecanismo em relação a outros na natureza

RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS



1. MUDANÇAS BRUSCAS OU
TRANSIÇÕES CRÍTICAS
Exemplos e analogia

2. TEORIA DE MÚLTIPLOS ESTADOS
Noções de equilíbrio e estabilidade são centrais



3. MECANISMOS BIOLÓGICOS
Feedbacks positivos

6. IMPLICAÇÕES PARA O
MANEJO
**Resiliência e o manejo de
sistemas sócio-ecológicos**

4. IMPLICAÇÕES DE FLUTUAÇÕES,
HETEROGENEIDADE E DIVERSIDADE
**De novo, diversidade e
estabilidade**

5. MÚLTIPLOS ESTADOS
Como testar?

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO

VISÃO CENTRADA EM ESTABILIDADE LOCAL É ESSENCIALMENTE ESTÁTICA

NÃO PERMITE AVALIAR O COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS QUE NÃO ESTÃO
PERTO DO EQUILÍBRIO

CASO DE MUITOS SISTEMAS ECOLÓGICOS, EM ESPECIAL DAQUELES QUE SOFREM
A INFLUÊNCIA DO HOMEM

MUDAR A ÊNFASE DE ESTABILIDADE LOCAL PARA CONDIÇÕES DE PERSISTÊNCIA



Crawford Holling

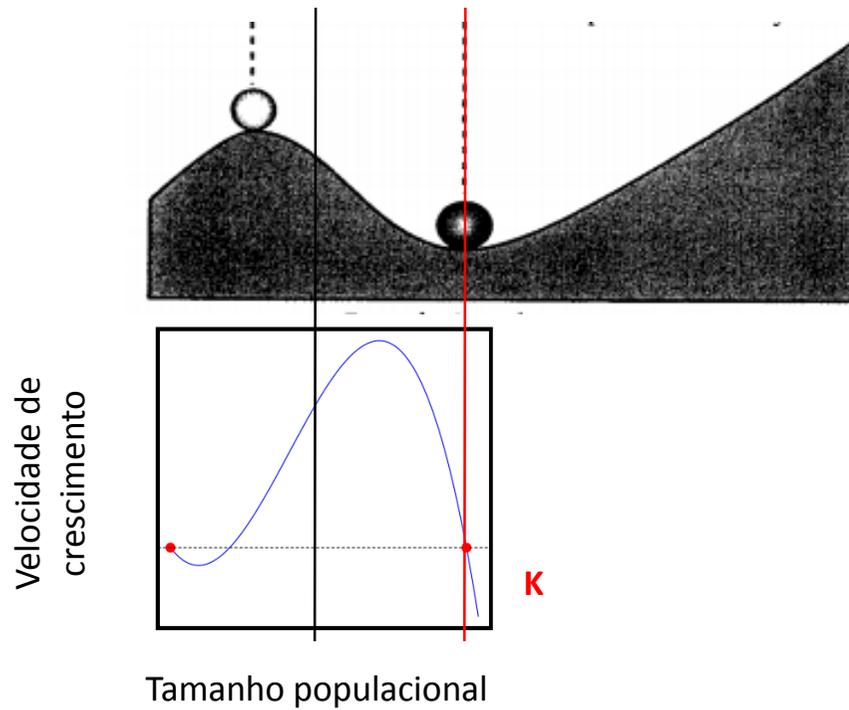


*research on resilience in social-ecological systems -
a basis for sustainability*

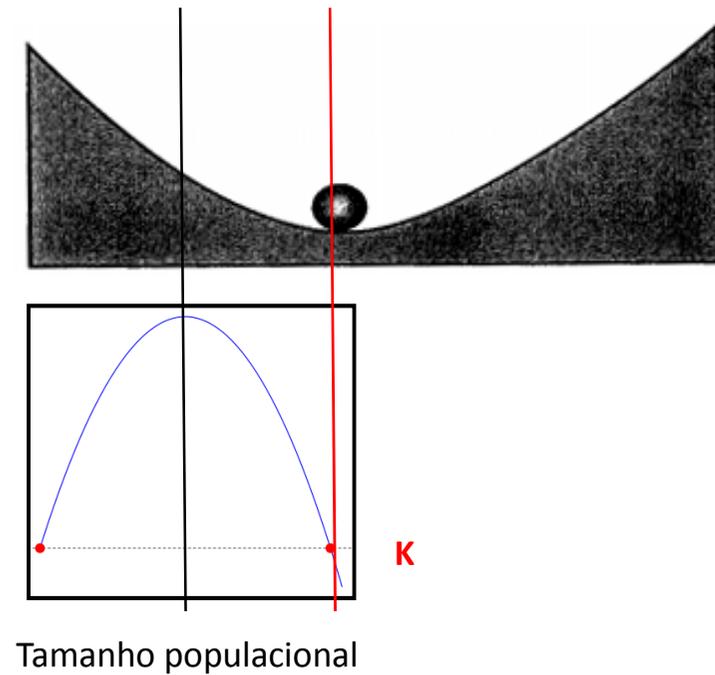
IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO

MANEJO DE SISTEMAS ECOLÓGICOS

✓ USO MÁXIMO REDUZ RESILIÊNCIA



RESILIÊNCIA



ESTABILIDADE LOCAL

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO

MANEJO DE SISTEMAS ECOLÓGICOS

- ✓ Ênfase nos domínios de atração e na persistência
- ✓ Manter opções, focar eventos em escala regional e não local, focar na heterogeneidade, diversidade
- ✓ Não assumir conhecimento, esperar o inesperado

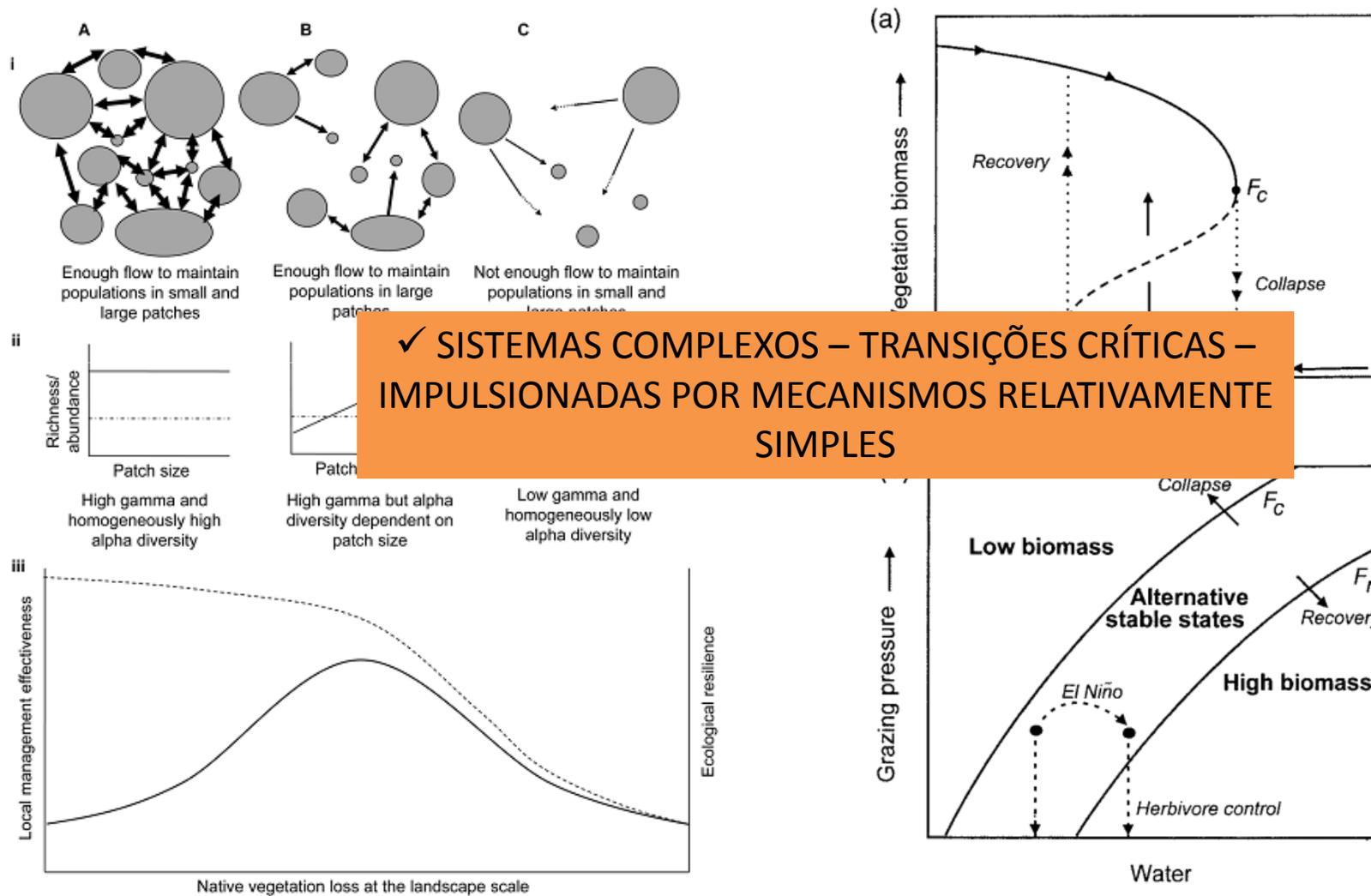
RESILIÊNCIA

- ✓ Ênfase no equilíbrio e na manutenção do mesmo
- ✓ Manter o mundo previsível e extrair o excesso de produção com a menor flutuação possível
- ✓ Pode reduzir a resiliência e tornar o sistema susceptível ao acaso

ESTABILIDADE LOCAL

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO

- ✓ Sintonizar o manejo com a variação na resiliência dos sistemas



✓ SISTEMAS COMPLEXOS – TRANSIÇÕES CRÍTICAS –
IMPULSIONADAS POR MECANISMOS RELATIVAMENTE
SIMPLES

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO

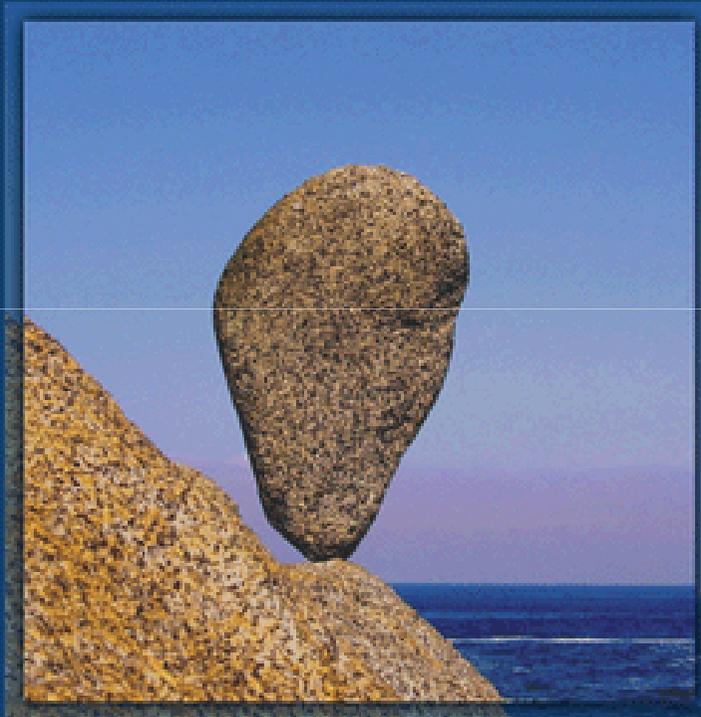
*“A dinâmica é descrita por um **único vale** (um atrator global)? Ou a paisagem que representa a dinâmica é marcada **por muitos vales separados por montanhas e divisores de água?**”*

*No primeiro caso, o sistema tem um **único estado** para o qual tenderá a partir de todas as condições iniciais e de qualquer perturbação. No segundo, o estado em que o sistema se estabelece **depende das condições iniciais**: o sistema pode voltar para este estado depois de perturbações pequenas, mas **grandes perturbações** tem a chance de levar o sistema para **alguma outra região da paisagem de dinâmica**.*

*Se há apenas **um estado**, efeitos **históricos não são importantes**; se há **muitos estados alternativos** localmente estáveis, **acidentes históricos podem ser de significância primordial**.*

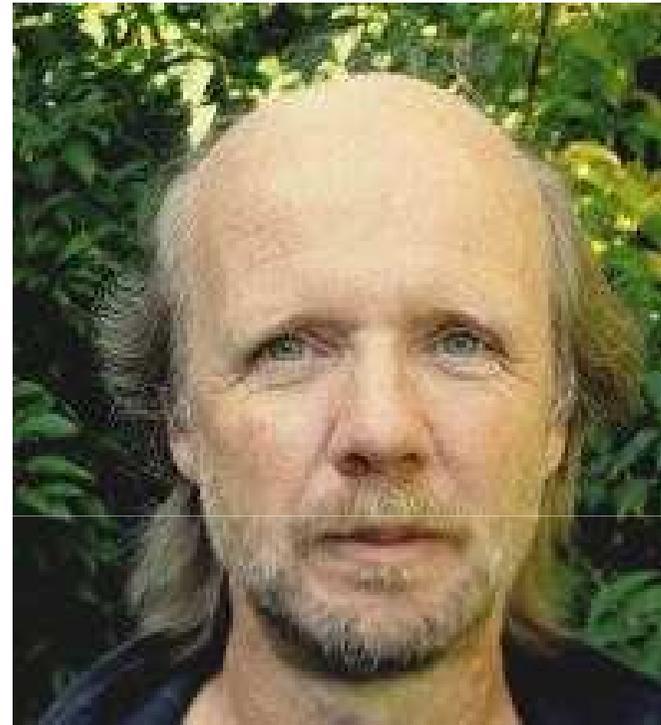
Obviamente questões deste tipo são muito importantes no entendimento e manejo de ecossistemas.”

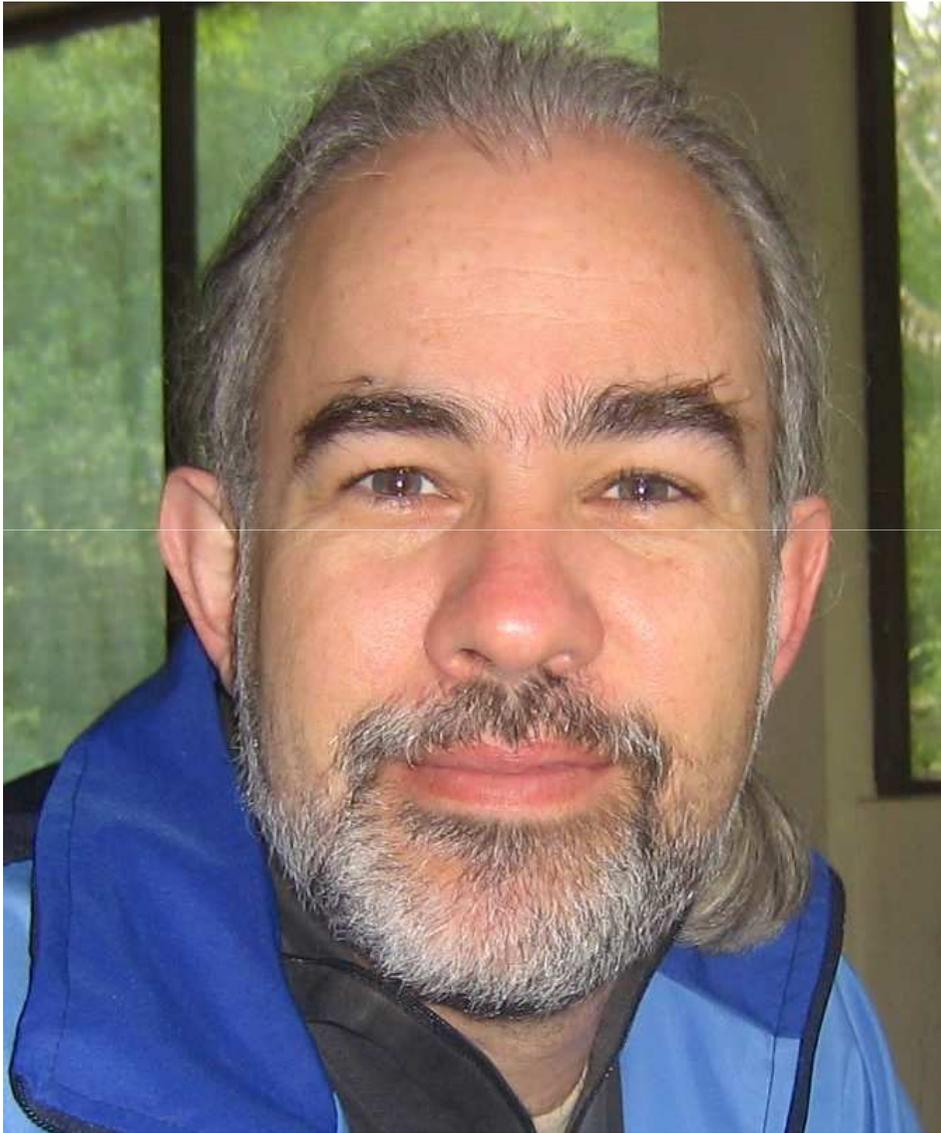
Critical Transitions in Nature and Society



Marten Scheffer

PRINCETON STUDIES IN COMPLEXITY





RESILIÊNCIA E ESTADOS MÚLTIPLOS

