

**Delineamento de experimentos  
numa perspectiva de ecologia  
da paisagem**

# **Delineamento de experimentos numa perspectiva de ecologia da paisagem: problemas e alternativas**

## **1. Introdução aos métodos científicos**

Relações de causa e efeito em ecologia da paisagem

Indutivismo e falsificacionismo

Princípios de teste de hipótese

## **2. Dificuldades para a realização de experimentos em ecologia da paisagem**

## **3. Alternativas para a experimentação em ecologia da paisagem**

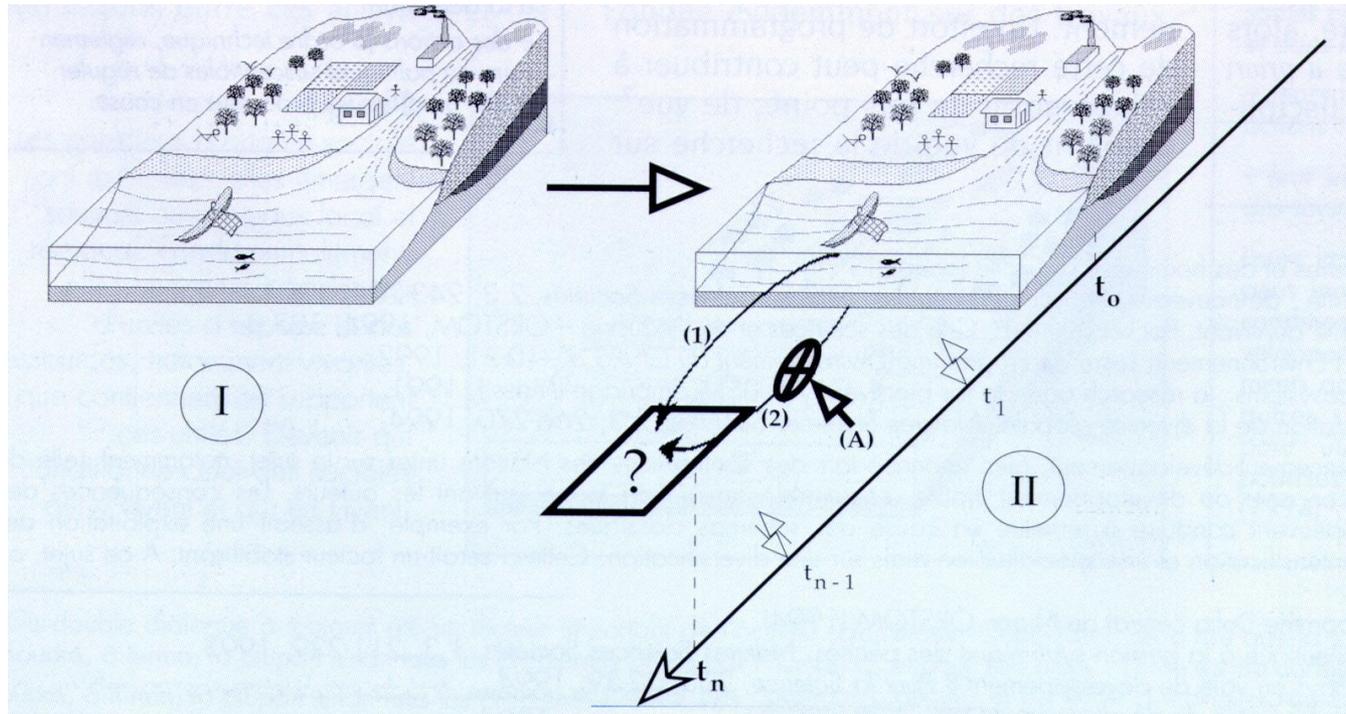
## **4. Principais etapas no planejamento de uma pesquisa em ecologia da paisagem**

## **5. Sugestões de desenhos experimentais**

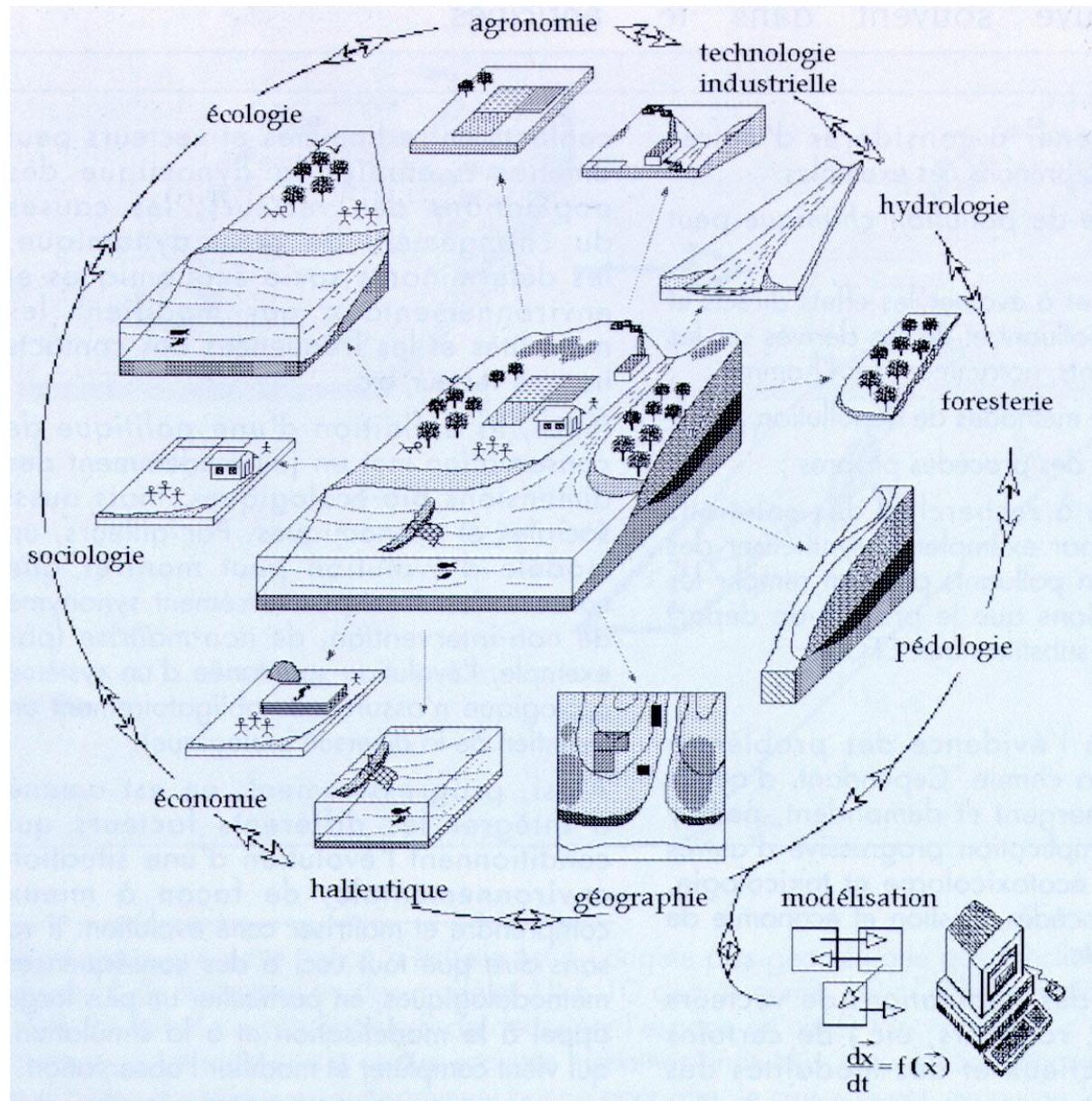
# 1. Introdução aos métodos científicos

A ciência procura estabelecer relações de causas e efeitos (ciência determinista), e, a partir delas, prever o que vai acontecer no futuro sob determinadas condições.

- condições iniciais
- leis ou relações causais

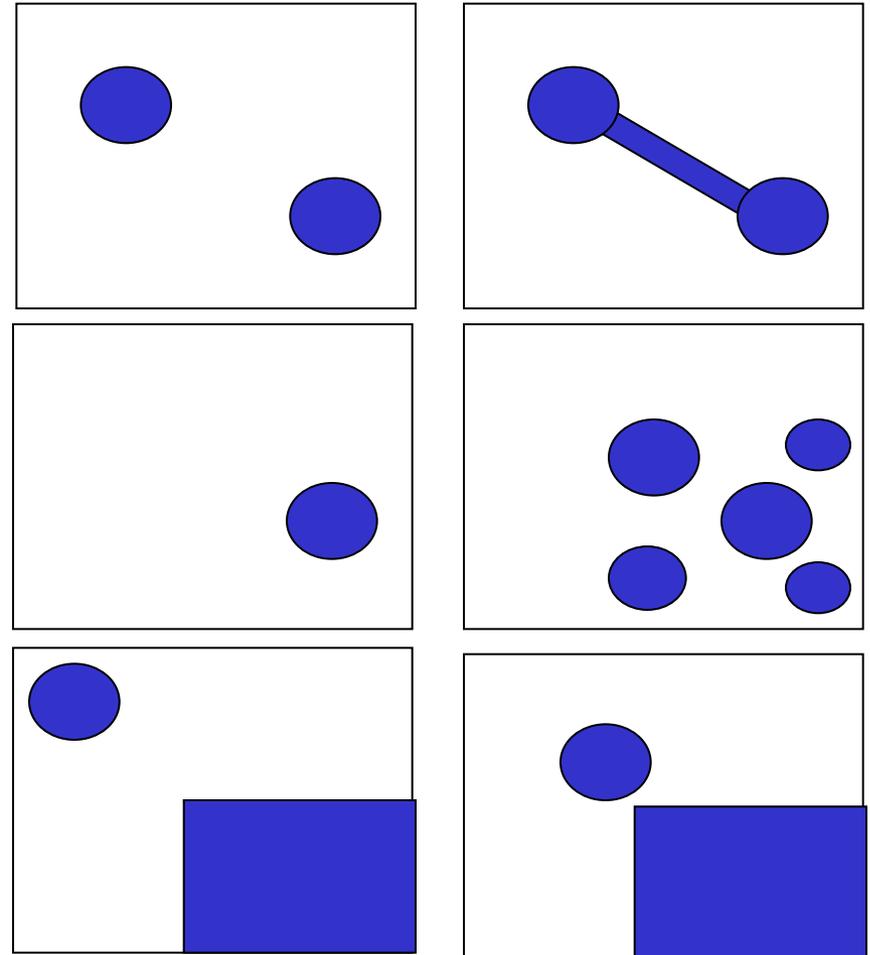
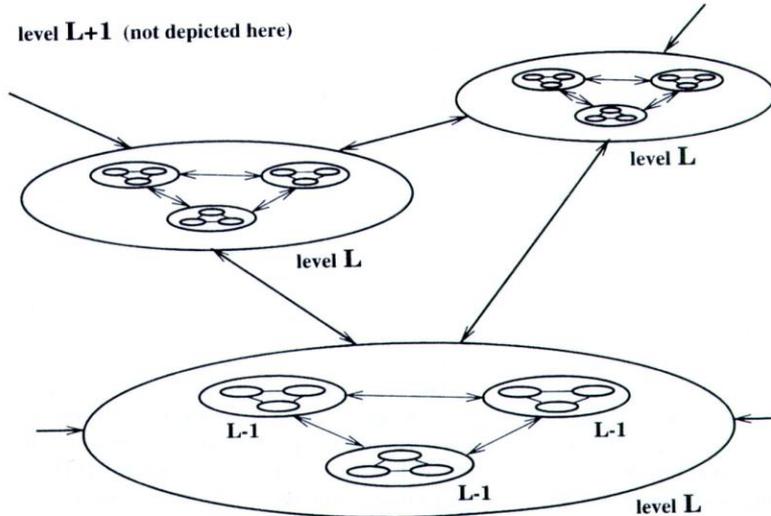


Complexidade da ciência ambiental:



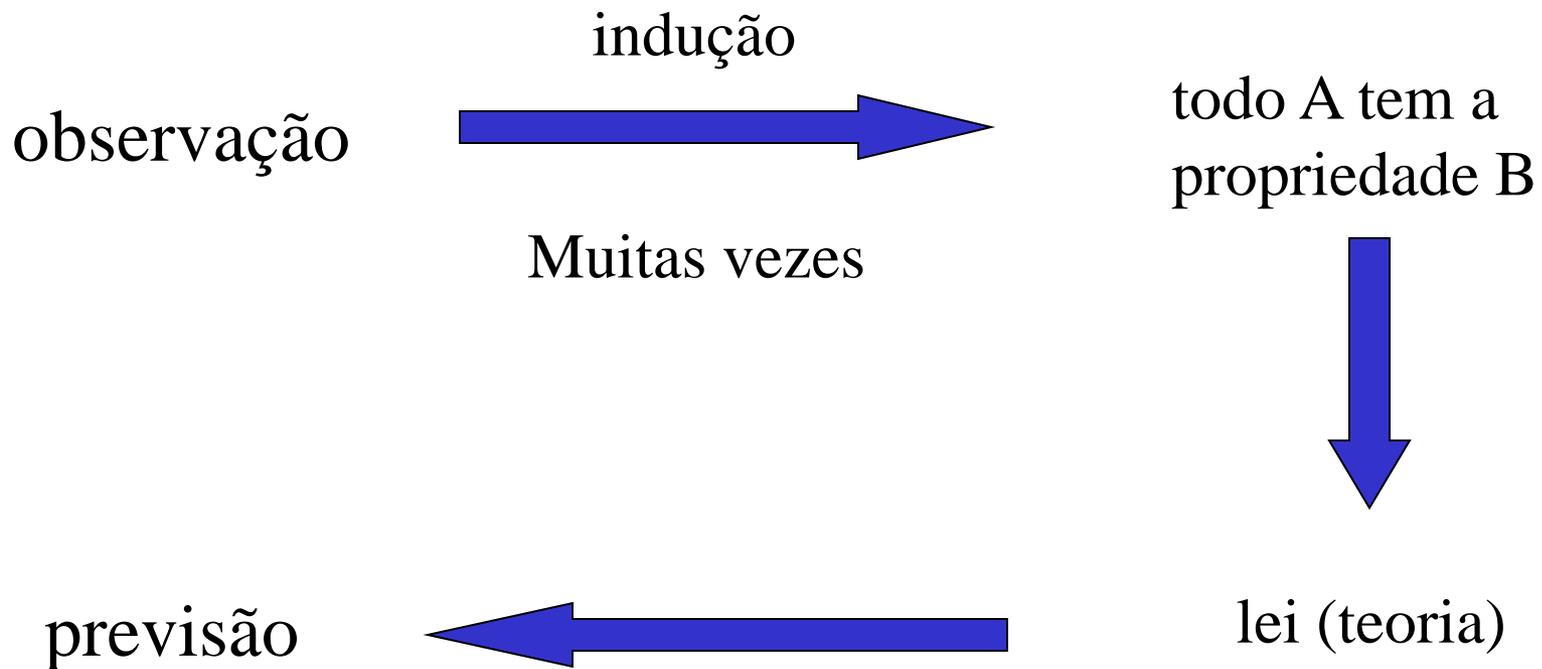
## Relações causais em ecologia da paisagem:

Estudar a influência da estrutura sobre o funcionamento da paisagem



Quais são as principais métodos para se estabelecer relações causais ?

A. Raciocínio indutivista ou empírico (Francis Bacon, Inglaterra, XVI)



Nada garante que a observação seja sempre verdadeira:

*Ex.1:*

Observei 1 corvo preto

Observei vários corvos pretos

---

Então, todo corvo é preto

*Ex.2:* Peru: todo dia alimentado  
às 9:00

Quantas observações ?

Observações em que condições ?









Quais são as principais métodos para se estabelecer relações causais ?

## B. Raciocínio de dedução (Descartes, Newton, XVII)

Todos os corredores facilitam os fluxos biológicos

Os fragmentos A e B estão unidos por corredores, enquanto C e D não estão

---

Os fluxos biológicos entre A e B são maiores do que entre C e D

Se a observação não é coerente com a teoria, o que fazer ?:

- rejeitar a teoria ?
- questionar a validade de seus dados (observações) ?

Quais são as principais métodos para se estabelecer relações causais ?

### C. Falsificacionismo / Hipotético-dedutivo

Duas constatações:

1. Nunca temos certeza que uma teoria será sempre válida
2. Podemos ter certeza que uma teoria não é sempre válida  
(ex.: corvo preto)

O falsificacionismo não está interessado em testar a validade de teorias, mas sim em destruir (falsificar) as existentes.

Quais são as principais métodos para se estabelecer relações causais ?

### C. Falsificacionismo / Hipotético-dedutivo

Para fazer parte da ciência, uma hipótese tem que ser refutável (falsificável).

Exemplos de hipóteses testáveis:

- Toda quinta chove
- Os corpos se dilatam quando aquecidos
- Quando a luz é refletida num espelho plano, o ângulo de incidência é igual ao de reflexão

Quais são as principais métodos para se estabelecer relações causais ?

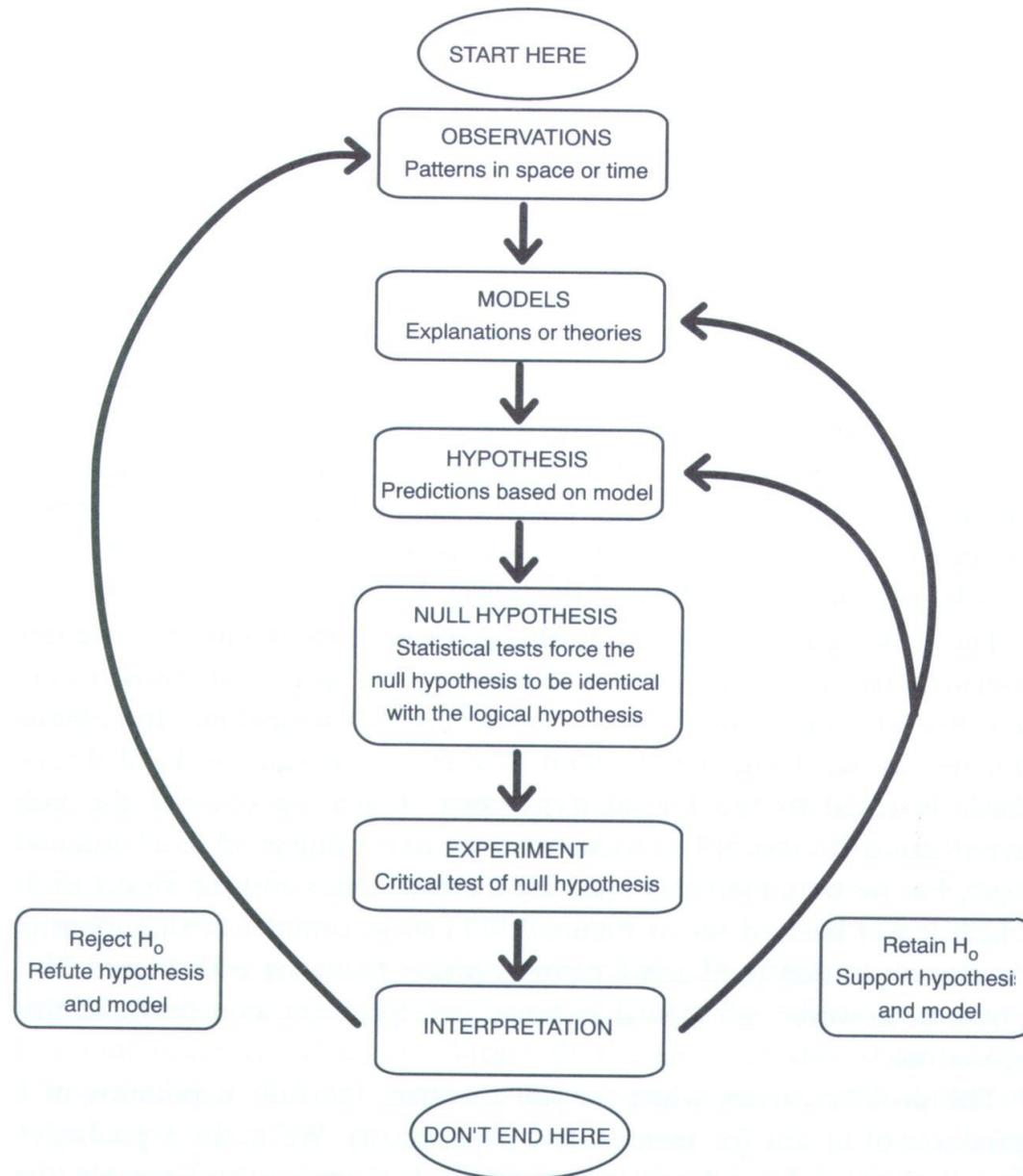
### C. Falsificacionismo / Hipotético-dedutivo

Para fazer parte da ciência, uma hipótese tem que ser refutável (falsificável).

Exemplos de hipóteses não-testáveis:

- Pode ser que chova amanhã
- Todos os pontos de um círculo euclidiano são equidistantes do centro
- Pode se ter sorte em apostas esportivas
- Amanhã você poderá fazer um encontro marcante

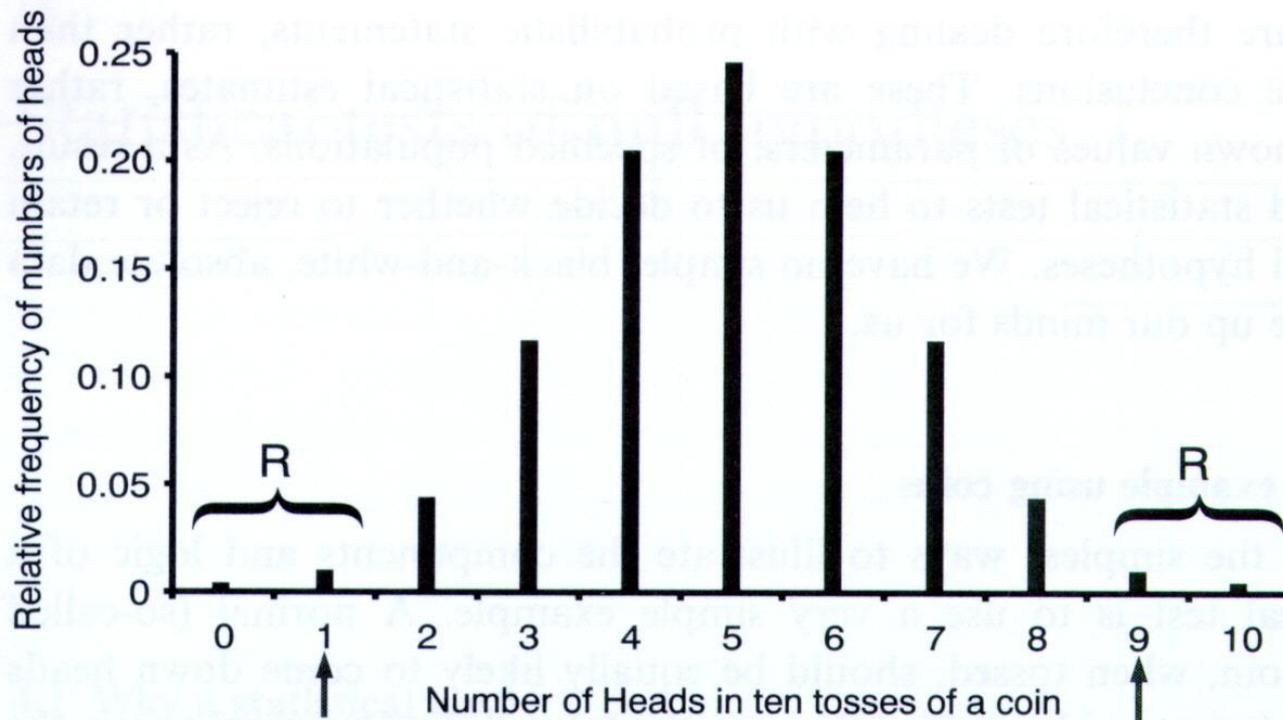
# Princípios de teste de hipótese



## Princípios de teste de hipótese

A moeda é trucada ? Hipótese: a moeda é falsa

Hipótese nula: a moeda é boa

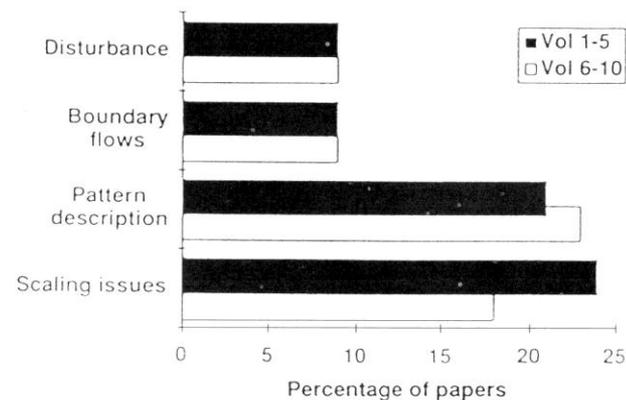
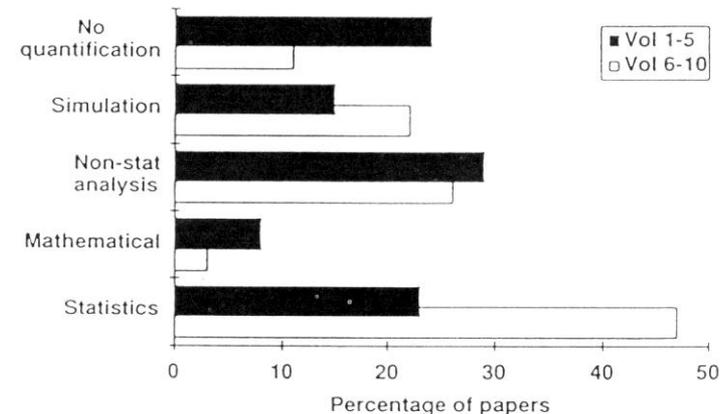
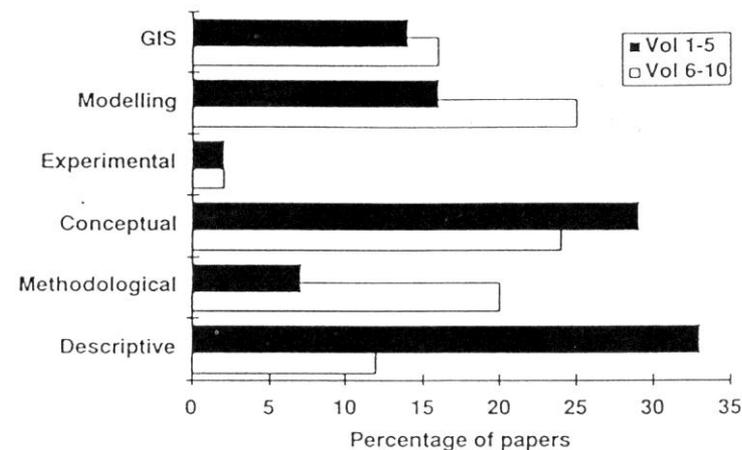


Modelo: frequência de “cabeças” em 10 jogadas no caso de um moeda boa

## 2. Dificuldades na realização de experimentos em ecologia da paisagem

→ importância dos experimentos para estabelecer relações causais (estatisticamente significativas)

A ecologia da paisagem ainda é pouco experimental. **Por que ?**



a. Paisagens são unidades heterogêneas particularmente complexas

- ▶ será que existe uma causalidade única ?

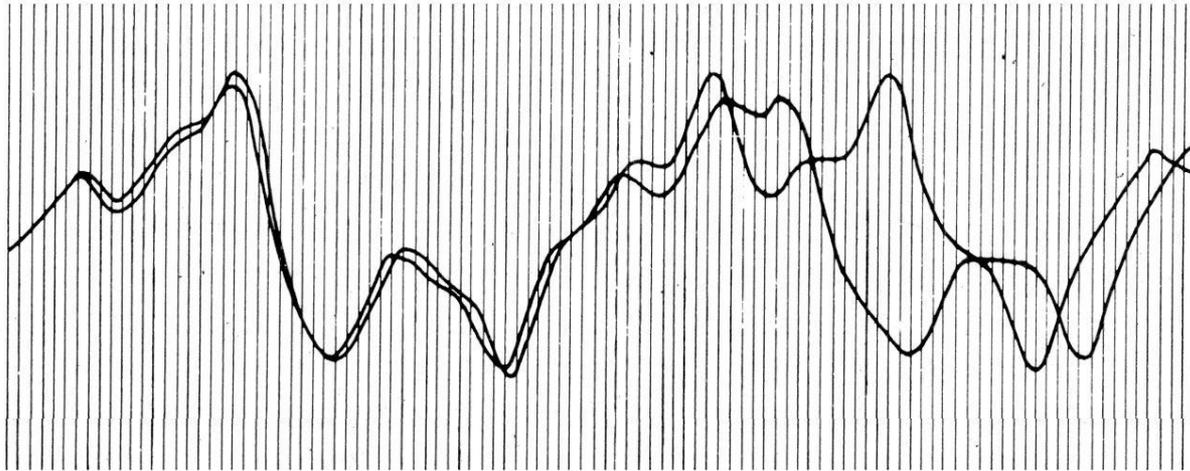
Segundo Popper, a ciência baseada na falsificação funciona bem quando a norma é a existência de apenas um fator atuante (causalidade simples)

- ▶ se ela existir, como encontrá-la ?

Análise multivariada vs controle dos fatores

- b. Escalas espaciais e temporais amplas, dificultando (impossibilitando) o controle de variáveis ;
- c. Toda paisagem é única por sua história de perturbação e especificidades geomorfológicas: não há réplicas nem controle ? Como fazer testes ?
- d. Dependência espacial: quanto mais próximas, mais dependentes são as amostras (auto-correlação espacial): será que existem amostras independentes ?
- e. Efeito borboleta: dependência das condições iniciais.

f. Efeito borboleta: dependência das condições iniciais



COMO DOIS PADRÕES DE TEMPO DIVERGEM — Partindo quase do mesmo ponto, Edward Lorenz viu seu computador de previsão do tempo produzir padrões que se distanciavam cada vez mais, até que toda semelhança desaparecesse. (Das saídas impressas de Lorenz, de 1961).

“Efeito borboleta” : uma borboleta agitando as asas em Pequim pode modificar o sistema de tempestades em NY no mês seguinte.

f. Efeito borboleta: dependência das condições iniciais

“ Por falta de um prego, perdeu-se a ferradura;  
Por falta de uma ferradura, perdeu-se o cavalo;  
Por falta de cavalo, perdeu-se o cavaleiro;  
Por falta de cavaleiro, perdeu-se a batalha;  
Por falta de batalha, perdeu-se o reino”

*(George Herbert, folclore inglês)*

“O caos eliminou a fantasia laplaciana de previsibilidade determinista” *(Joseph Ford, físico)*

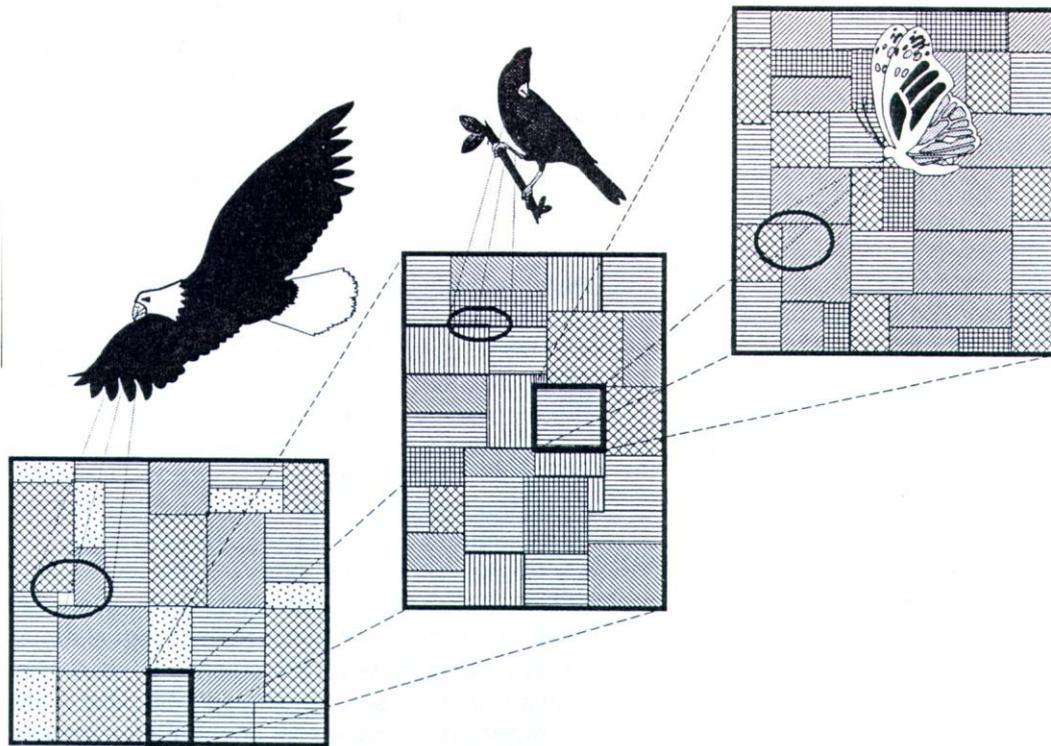
*Comparação de alguns atributos de experimentação em escalas finas e globais (adaptado de Bissonette 1997)*

<b>ATRIBUTOS</b>	<b>ESCALA FINA</b>	<b>ESCALA GLOBAL</b>
Adequabilidade da amostra	boa	ruim
Manipulação experimental	possível	difícil
Réplicas	possível	difícil
Rigor	alto	baixo
Testabilidade de hipóteses	alta	baixa
Generalizações	baixas	altas

➔ É na escala global que necessitamos de respostas aos problemas ambientais

### 3. Alternativas para a experimentação em ecologia da paisagem

#### A. Experimentação em micro-paisagens



*“ a paisagem é um mosaico heterogêneo de manchas interativas”*

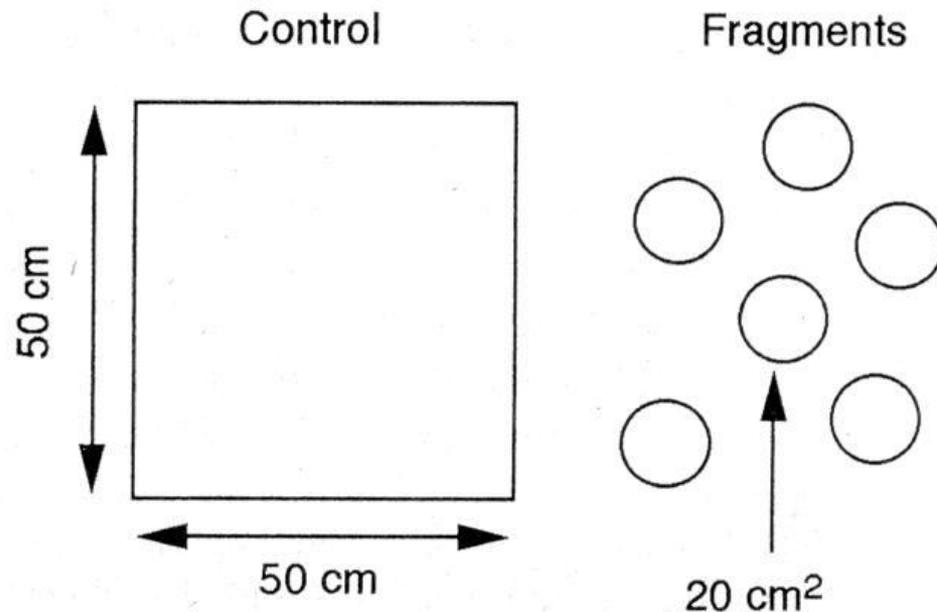
- escala espacial :  
qualquer uma ( $m^2 - km^2$ )

- as manchas são  
definidas pela  
percepção de cada  
espécie

## A. Experimentação em micro-paisagens

Efeito da fragmentação na fauna associada a musgos sobre rocha (Gonzales et al. 1998, *Science*)

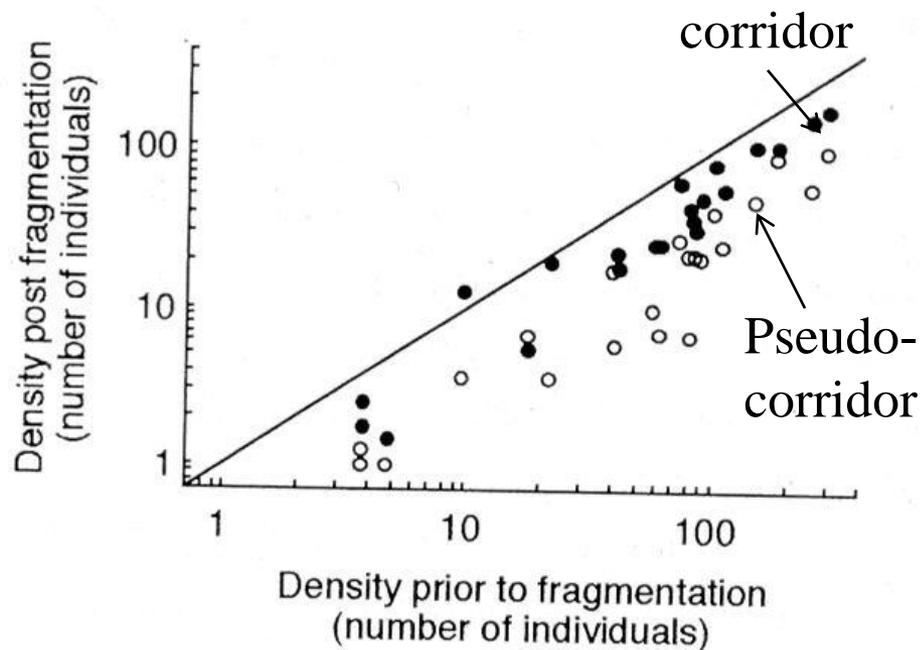
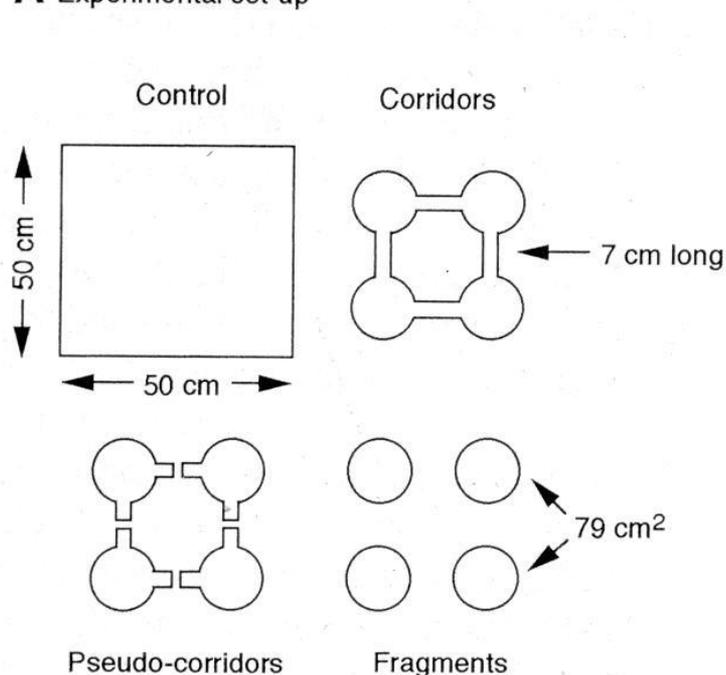
### A Experimental set-up



## A. Experimentação em micro-paisagens

Efeito da presença de corredores na fauna associada a musgos sobre rocha (Gonzales et al. 1998, *Science*)

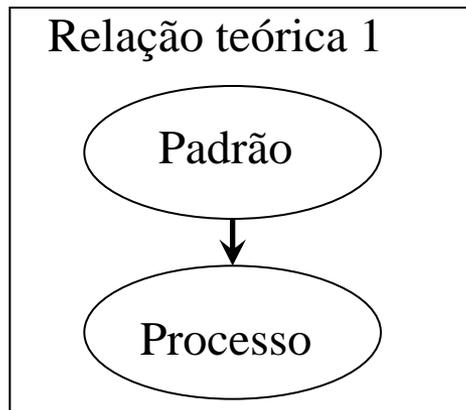
### A Experimental set-up



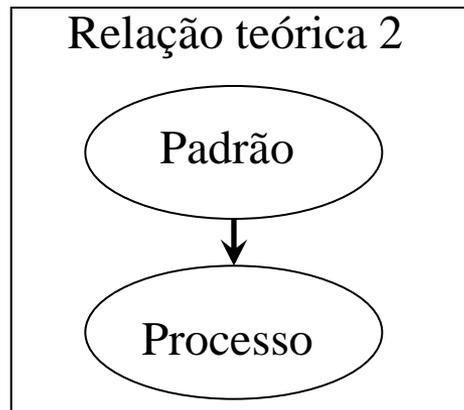
## A. Experimentação em micro-paisagens

Problemas de “*transmutation effects*”: mudanças nas propriedades em função da mudança de escala (de um nível hierárquico para outro).

Domínio de escala 1



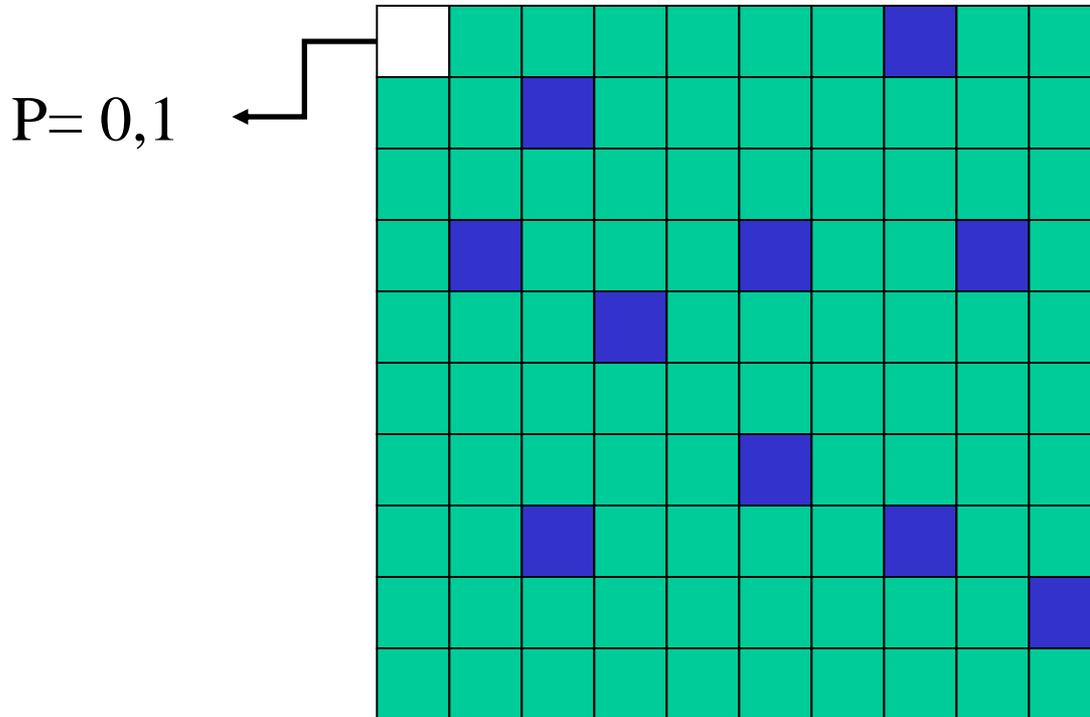
Domínio de escala 2



- Será que as propriedades das trocas gasosas numa folha podem ser transpostas para uma paisagem toda ?
- A questão é de saber quando esta transmutação é grande

## B. Modelos neutros

Os modelos neutros podem ser definidos como um conjunto de regras para se criar um padrão espacial na ausência de um determinado processo sob estudo.



- A paisagem mais neutra é uma paisagem onde as unidades se distribuem de forma totalmente aleatória.

Paisagem neutra com 10% de habitat

B. Modelos neutros

Outras paisagens neutras: *paisagens hierárquicas*

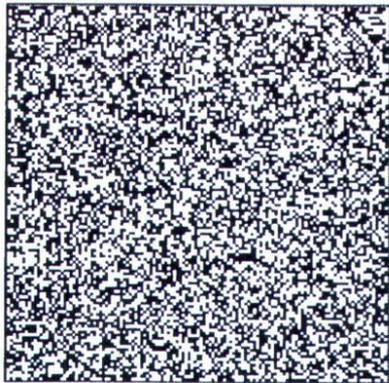
P= 0,3	P= 0,4	P= 0,2	P= 0,15	P= 0,05	P= 0,1
	P= 0,2	P= 0,4	P= 0,05	P= 0,15	
P= 0,1	P= 0,15	P= 0,05	P= 0,4	P= 0,2	P= 0,3
	P= 0,05	P= 0,15	P= 0,2	P= 0,4	

Paisagem neutra com 20% de habitat

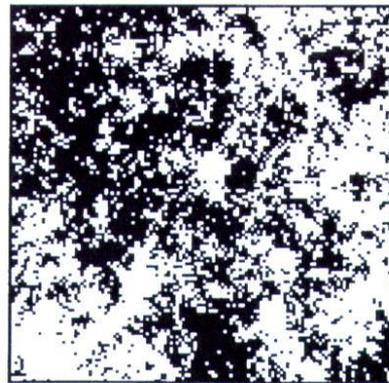
## B. Modelos neutros

### Outras paisagens neutras: *fractais*

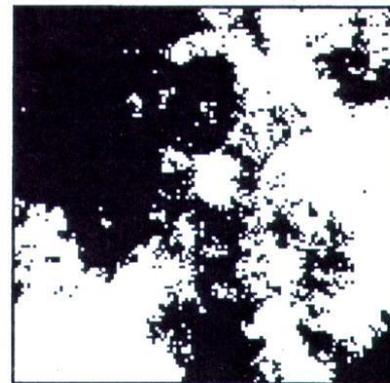
Random



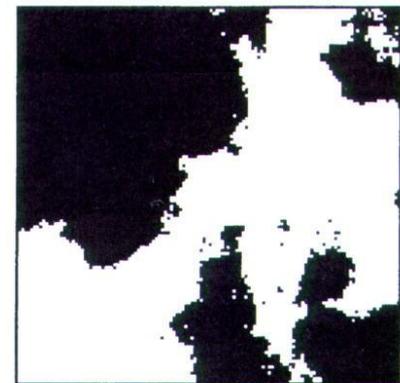
$H = 0.0$



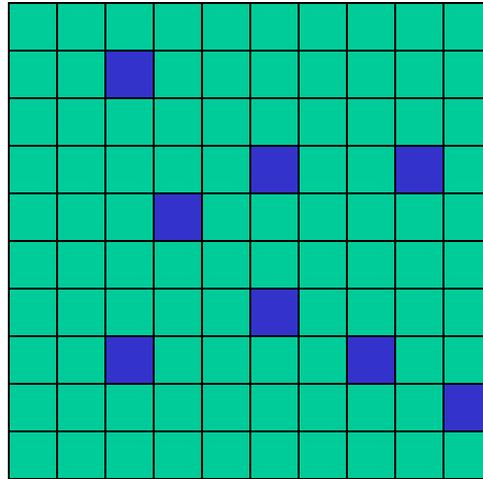
$H = 0.5$



$H = 1.0$

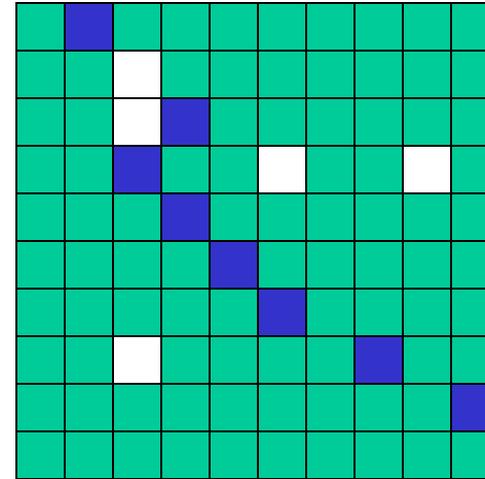


## B. Modelos neutros



Paisagem neutra

vs

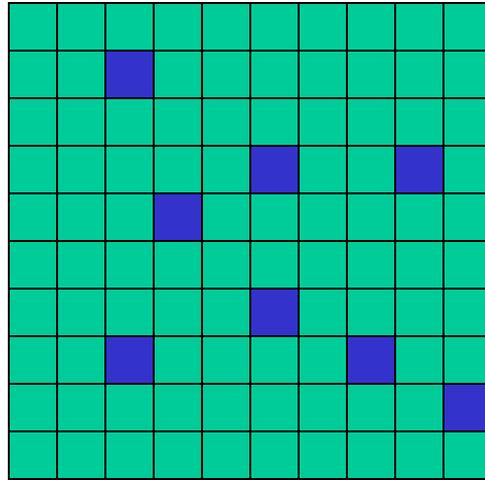


Paisagem real

**Exemplo:** testar a influência do relevo no padrão de uso e ocupação de uma determinada área:

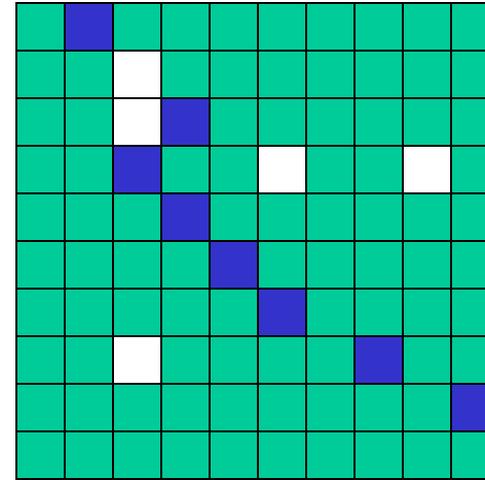
- comparar o mapa neutro (aleatório) com o mapa real através de matrizes de confusão
- se os mapas forem semelhantes, então não há evidência que *o relevo* influi na ocupação dos territórios

## B. Modelos neutros



Paisagem neutra

vs

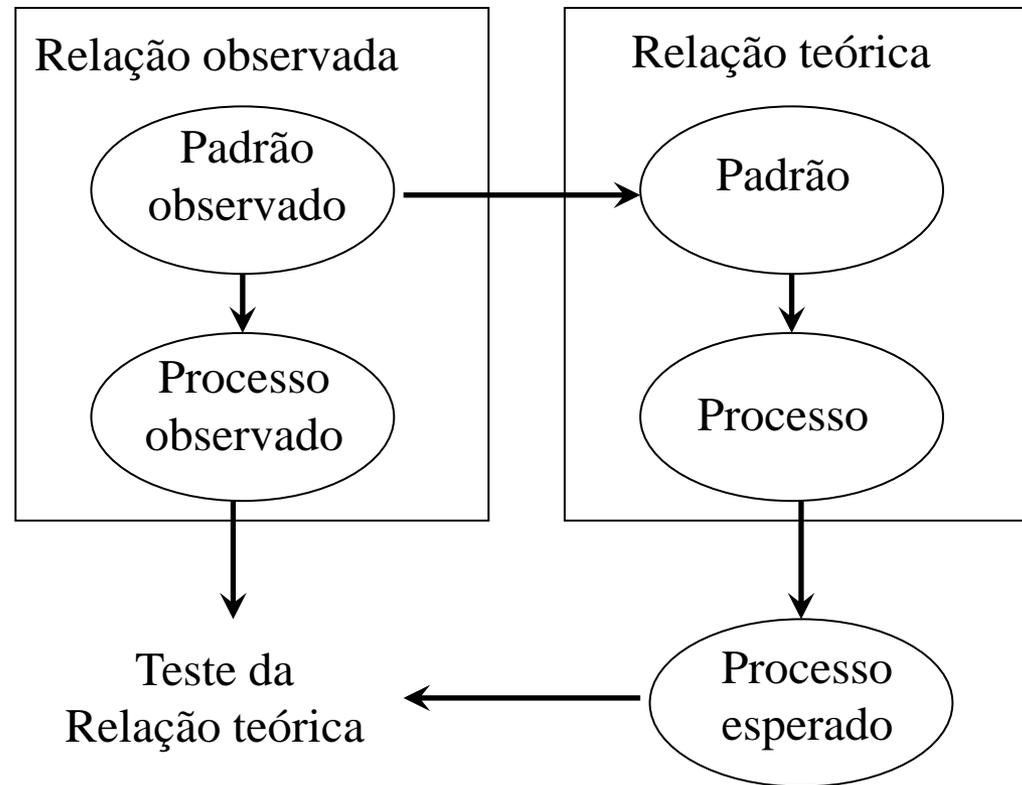


Paisagem real

- **Problema:** os modelos são neutros demais ...
- Para serem úteis, os modelos neutros deveriam permitir distinguir os diferentes processos geradores da estrutura da paisagem (heterogeneidade geomorfológica, impactos humanos, regime natural de perturbação)

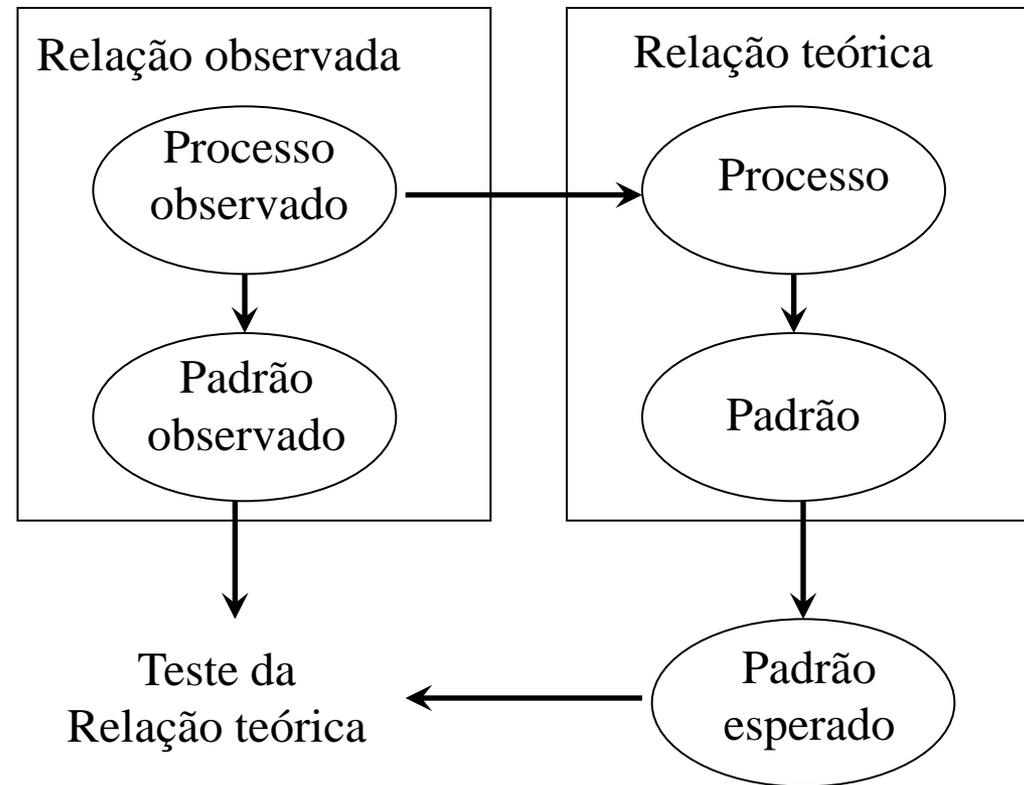
## C. Modelos de simulação

Utilizar simulações espaciais (com SIG) como forma de gerar resultados esperados



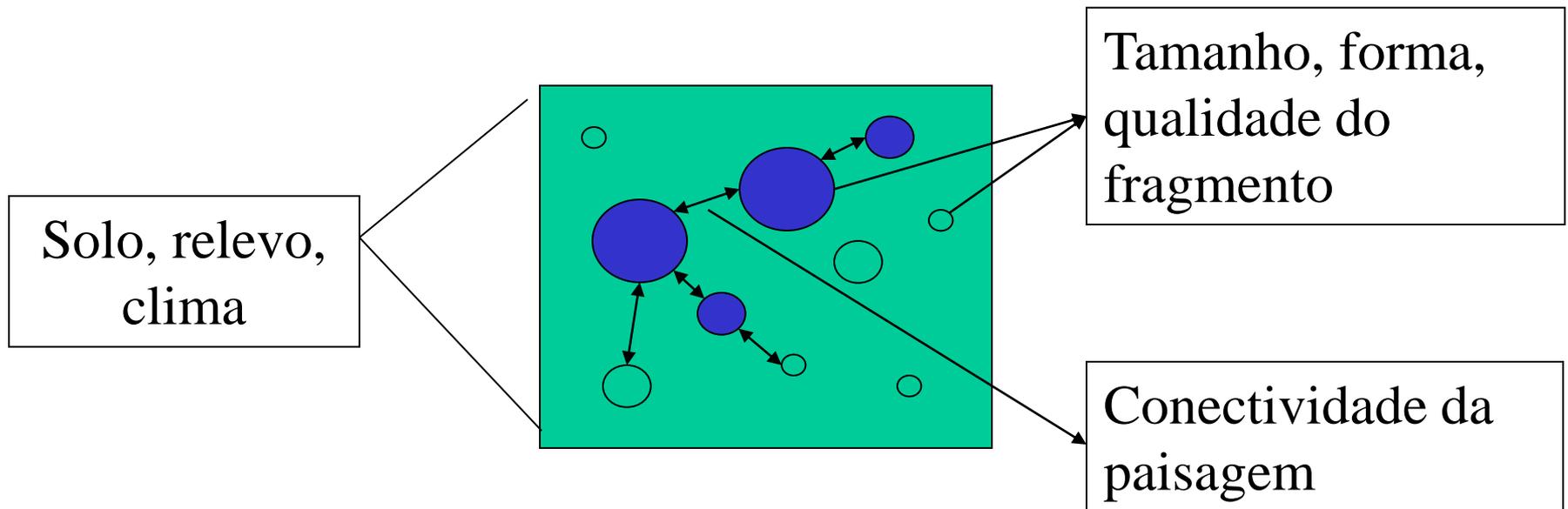
## C. Modelos de simulação

Utilizar simulações espaciais (com SIG) como forma de gerar resultados esperados



## C. Modelos de simulação

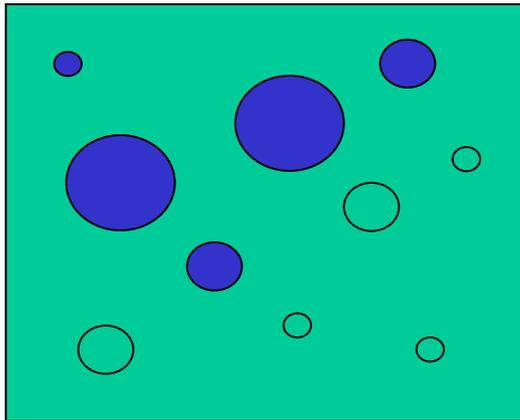
### Modelos de simulação de ocorrência de espécies



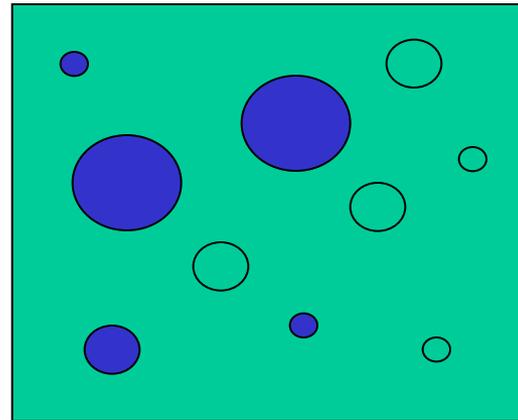
## C. Modelos de simulação

### Modelos de simulação de ocorrência de espécies

Simulado (esperado)



Observado



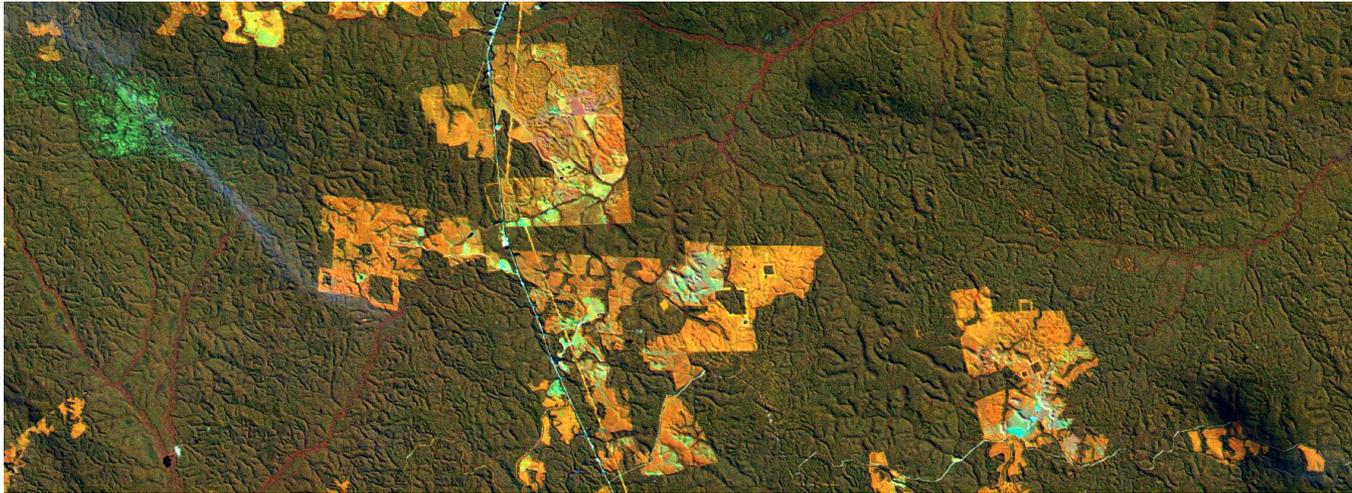
- Fragmentos ocupados
- Fragmentos vazios

## D. Pseudo-experiências: utilização de perturbações naturais ou de impactos antrópicos

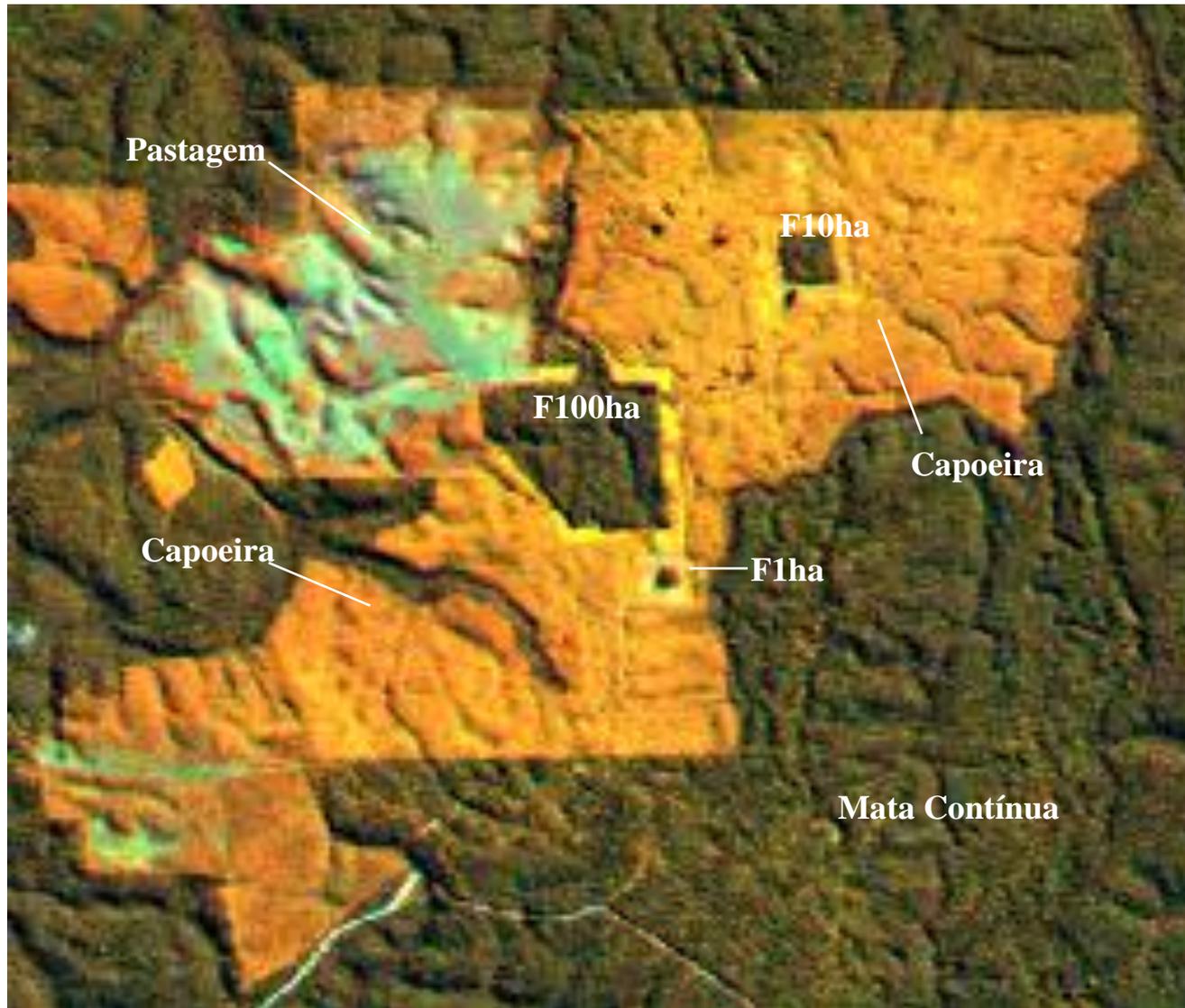
- Perturbações naturais: ciclones, avalanches, erupções vulcânicas, enchentes, fogos
- Impactos antrópicos: construção de barragens (*alteração do regime de perturbação*), construção de estradas (*criação de barreira*), derrubada de vegetação natural (*eliminação de fragmentos, corredores*)

D. Pseudo-experiências: utilização de perturbações naturais ou de impactos antrópicos

Exemplo: **Projeto de Dinamica Biologica de Fragmentos Florestais** (Manaus)



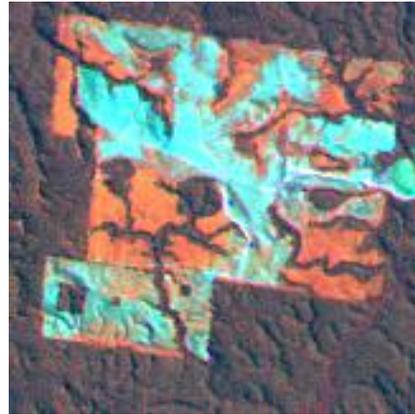
Pseudo-experiências : **Projeto de Dinamica Biologica de Fragmentos Florestais (Manaus)**



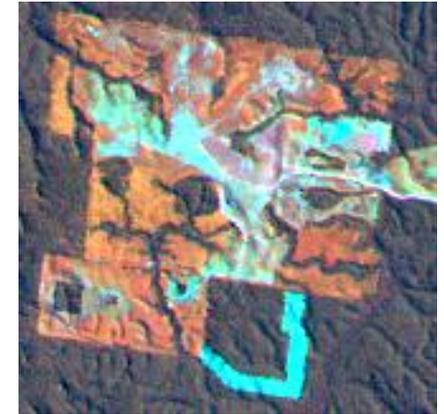
Pseudo-experiências : **Projeto de Dinamica Biologica de Fragmentos Florestais (Manaus)**



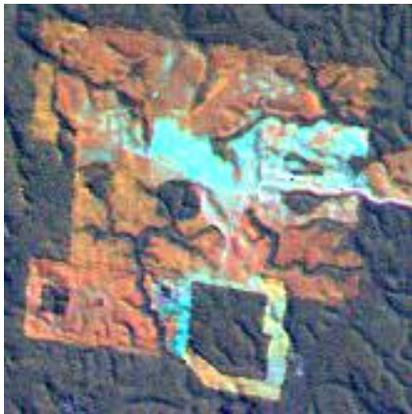
1986



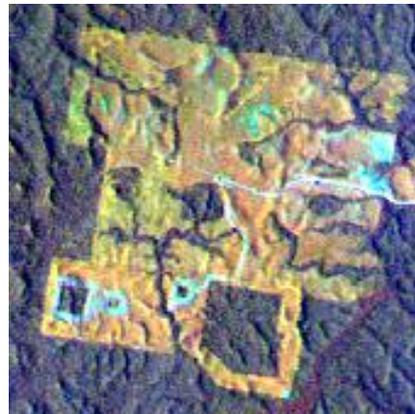
1988



1990



1992



1995



1997

## **Alternativas para experimentação com paisagens**

- A. Experimentação em micro-paisagens
- B. Modelos neutros
- C. Modelos de simulação
- D. Pseudo-experiências

→ Há uma necessidade de um pluralismo de abordagens, não se limitando ao modelo clássico do falsificacionismo

## **Principais etapas no planejamento de uma pesquisa na escala da paisagem** (*uma visão pessoal*)

1. Definição dos objetivos
2. Pertinência da perspectiva da ecologia da paisagem
3. Considerar a escala de trabalho
4. Definir o **desenho experimental**

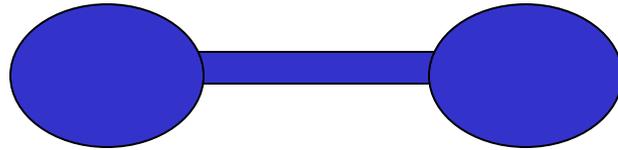
## 1. Definição dos objetivos

- Sem um objetivo bem definido é impossível fazer uma boa pesquisa
- Objetivo  $\neq$  objeto
- Adaptar a pergunta à paisagem, ou procurar a paisagem em função da pergunta
- Trabalhar com fatores-chave ou processos-chave relacionados com uma pergunta teórica ou a uma necessidade prática
- Uma boa hipótese é facilmente testável (mas resiste à falsificação)

## 1. Definição dos objetivos

*Exemplo:* determinar se corredores funcionam como facilitadores de fluxo entre fragmentos de uma determinada espécie

A. Censo num corredor ligando dois fragmentos (usa o corredor ?)



B. Marcação nos fragmentos e no corredor (há trocas de indivíduos?)



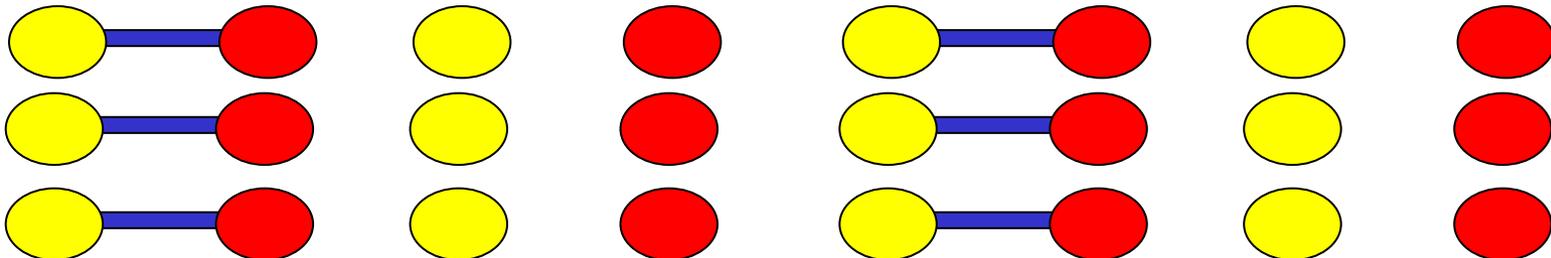
## 1. Definição dos objetivos

*Exemplo:* determinar se corredores funcionam como facilitadores de fluxo entre fragmentos de uma determinada espécie

C. Se não houvesse corredor, a espécie usaria mais a matriz ?



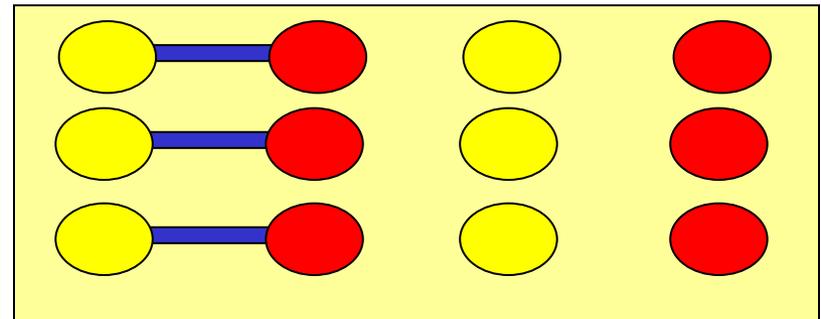
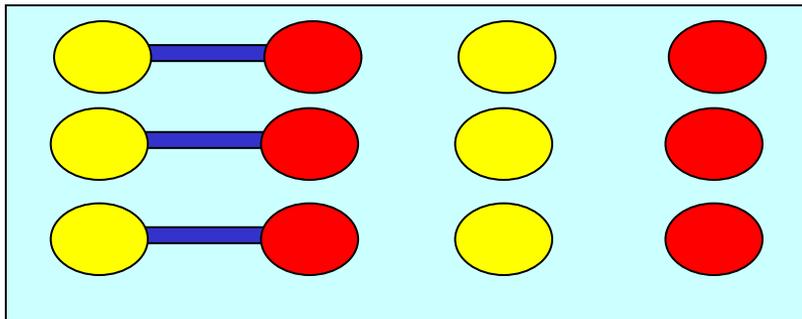
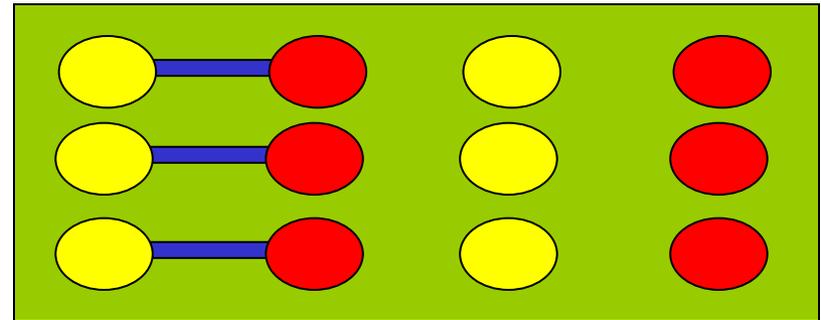
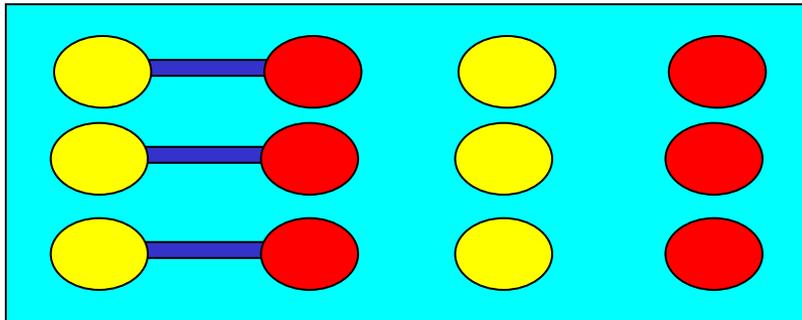
D. Generalização: trabalhar com vários pares de fragmentos, unidos ou não por corredores



## 1. Definição dos objetivos

*Exemplo:* determinar se corredores funcionam como facilitadores de fluxo entre fragmentos de uma determinada espécie

E. Generalização para qualquer tipo de paisagem: trabalhar com várias matrizes



## 2. Pertinência da perspectiva da ecologia da paisagem

### **Quando a ecologia da paisagem é mais importante ?**

- quando o espaço é importante?
- quando o habitat estudado cobre menos de 30% da paisagem
  - acima de 30% : efeito de área;
  - abaixo de 30%: efeito da distribuição espacial do habitat é mais importante.

## 2. Pertinência da perspectiva da ecologia da paisagem

### **Quando a ecologia da paisagem é mais importante ?**

Segundo Fahrig (1998):

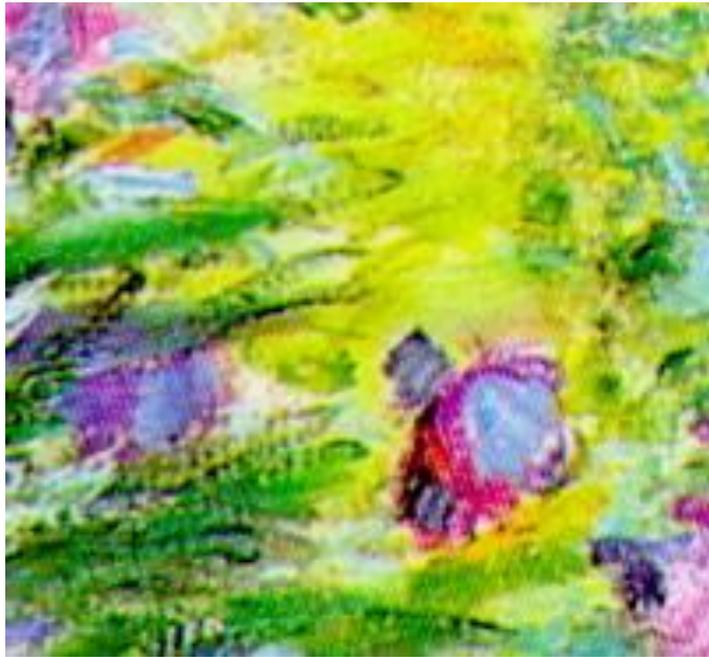
- i) quando a capacidade de deslocamento das espécies estudadas é menor do que a distância entre manchas de habitat;
- ii) quando o padrão de deslocamento difere muito entre as diferentes unidades da paisagem;
- iii) quando o habitat não é efêmero e dinâmico;
- iv) na ausência de processos ecológicos que promovam uma homogeneização da paisagem.

Etapas no planejamento de uma pesquisa com paisagens

### 3. Considerar a escala de trabalho

Escala (dimensão física, temporal e espacial):

extensão ou duração, escala de percepção



Etapas no planejamento de uma pesquisa com paisagens

### 3. Considerar a escala de trabalho

Escala (dimensão física, temporal e espacial):

resolução



Imagem NOAA: 1,21 km<sup>2</sup>

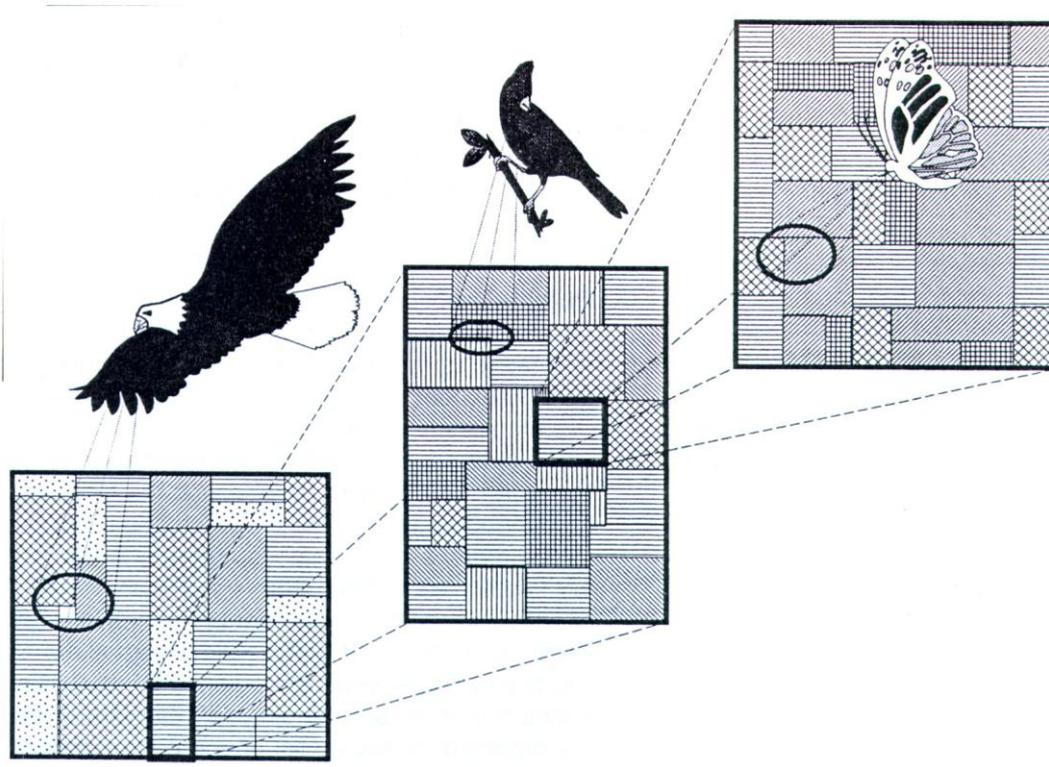
Imagem LANDSAT: 900 m<sup>2</sup>

Etapas no planejamento de uma pesquisa com paisagens

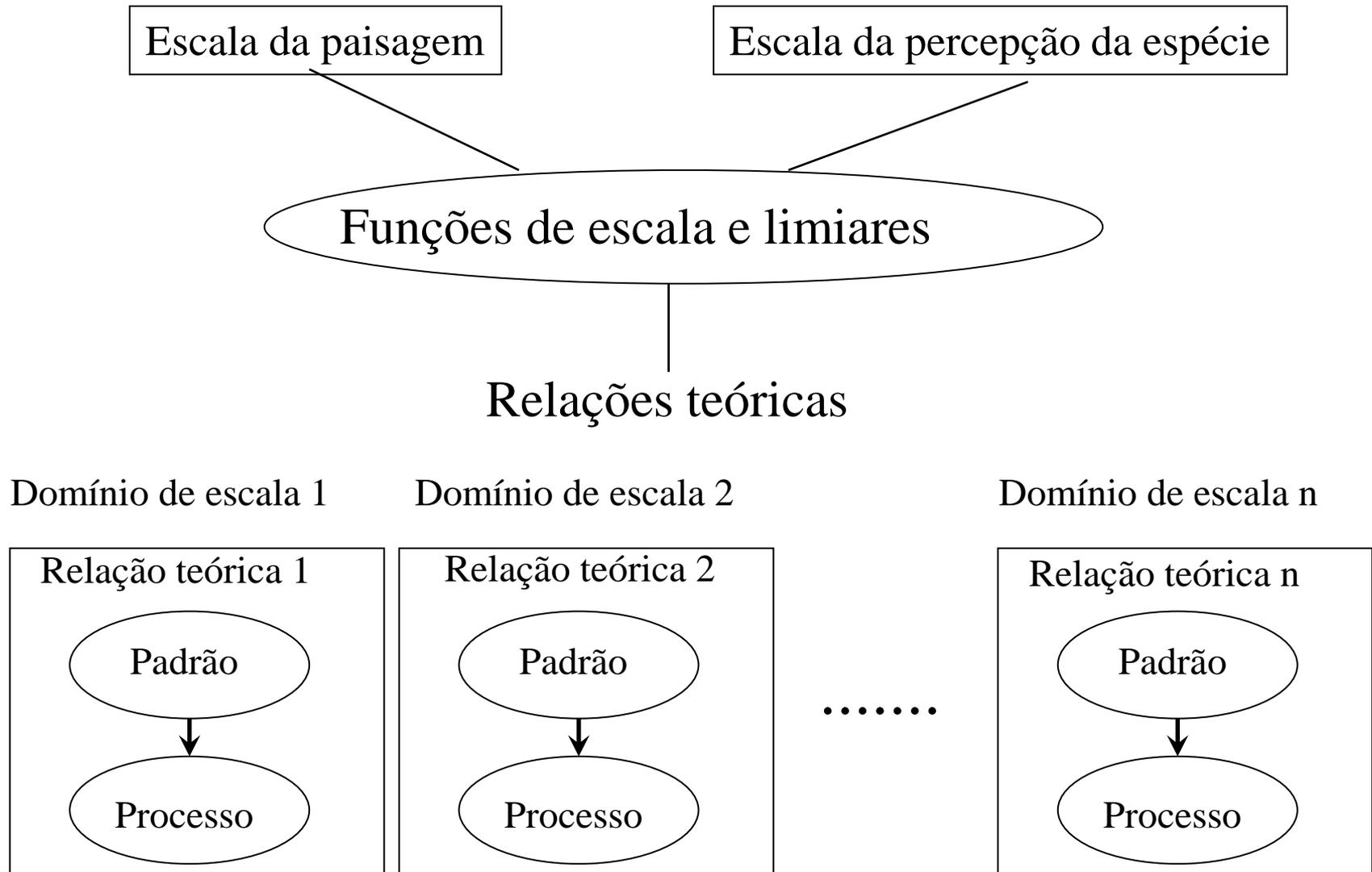
### 3. Considerar a escala de trabalho

Escala (dimensão física, temporal e espacial):

escala de percepção



### 3. Considerar a escala de trabalho



### 3. Considerar a escala de trabalho

- Trabalhar numa escala “pertinente” com o objetivo proposto e a espécie considerada
- Se essa escala não é conhecida, realizar uma análise multi-escala

#### 4. Definição do **desenho experimental**

- **Considerando três grandes níveis de conhecimento:**
  - sabe-se que o espaço importa, mas não se tem a mínima idéia de que variável espacial é mais importante → **estudo exploratório.**
  - há uma idéia clara de que variável espacial pode estar afetando mais efetivamente o processo ecológico estudado → **teste planejado de hipótese.**
  - além de uma intuição de que variável espacial é mais importante, há também um efeito previsto que pode ser simulado → **teste do modelo de simulação.**

## Desenho experimental - estudo exploratório

### Parâmetros espaciais

### Processo ou padrão ecológico

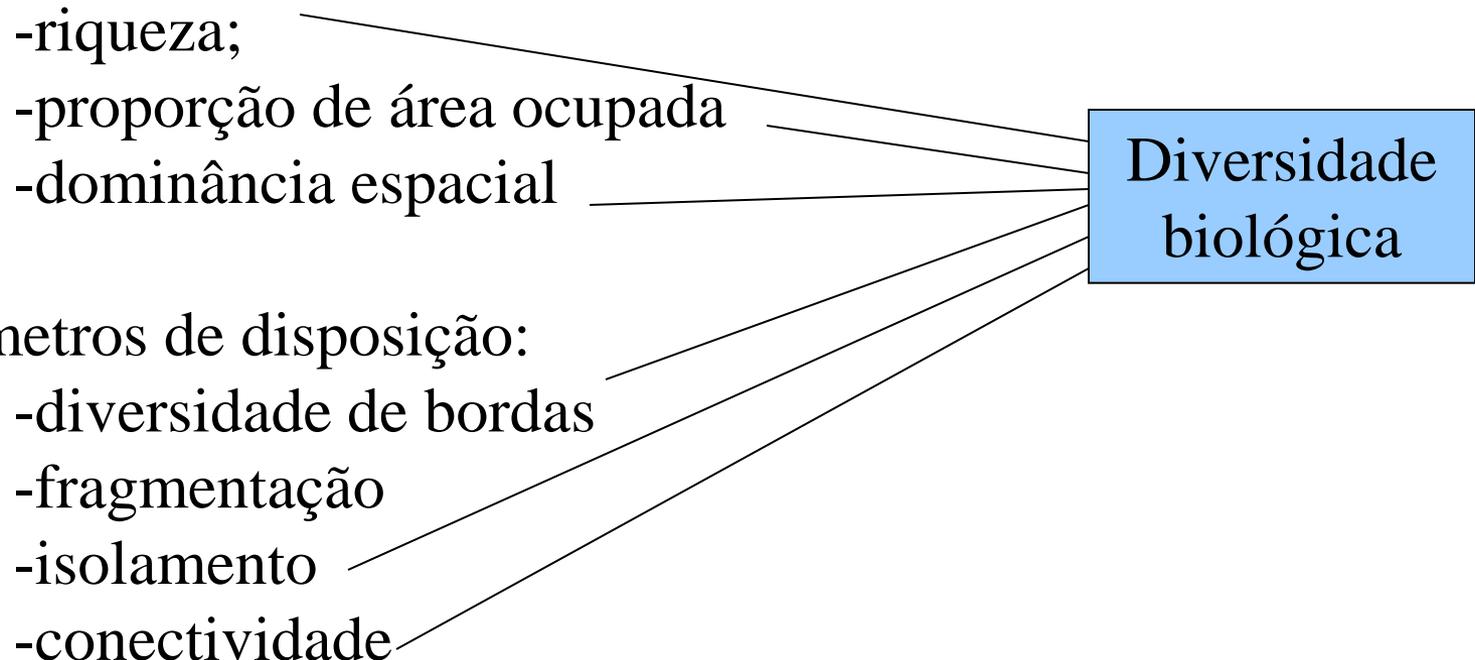
- Parâmetros de composição:

- riqueza;
- proporção de área ocupada
- dominância espacial

- Parâmetros de disposição:

- diversidade de bordas
- fragmentação
- isolamento
- conectividade

Diversidade  
biológica



## Desenho experimental - **estudo exploratório**

- $n > 10$
- fragmentos independentes (afastados espacialmente)
- mesmo histórico de perturbação
- condições abióticas semelhantes
- estudo multi-escala

*Obs.:* não é possível estabelecer relações de causa e efeito, mas apenas indicar os principais parâmetros espaciais.

## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

***Hipótese nula:*** a densidade de corredores no entorno dos fragmentos de habitat não influem na densidade da espécie estudada

### **Etapas:**

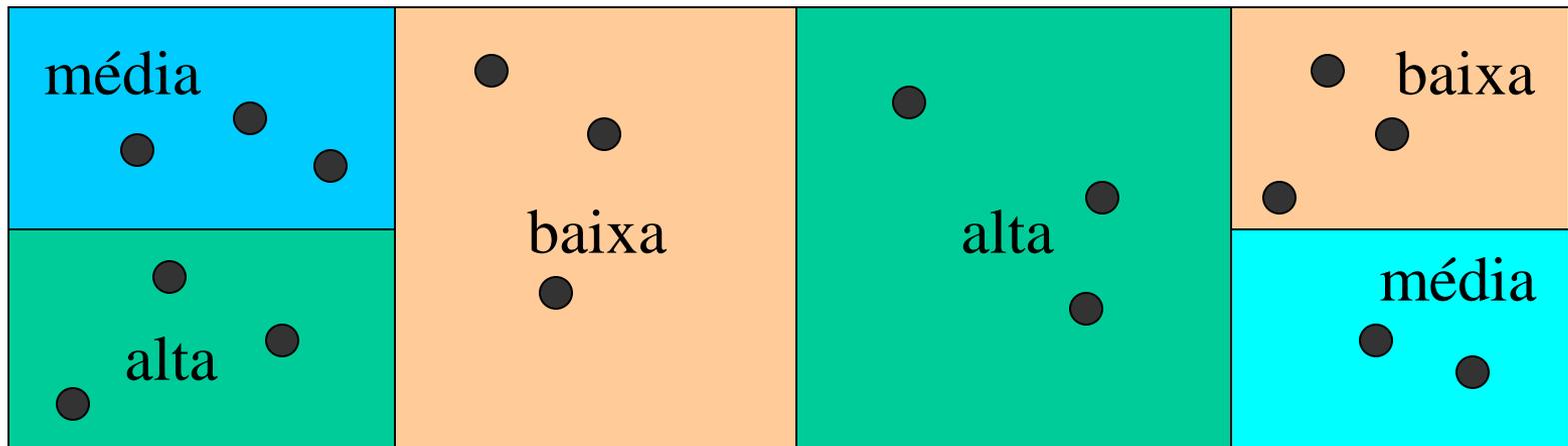
1. Estratificar sua região de estudo em áreas com densidades de corredores de baixa a alta



## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

### Etapas:

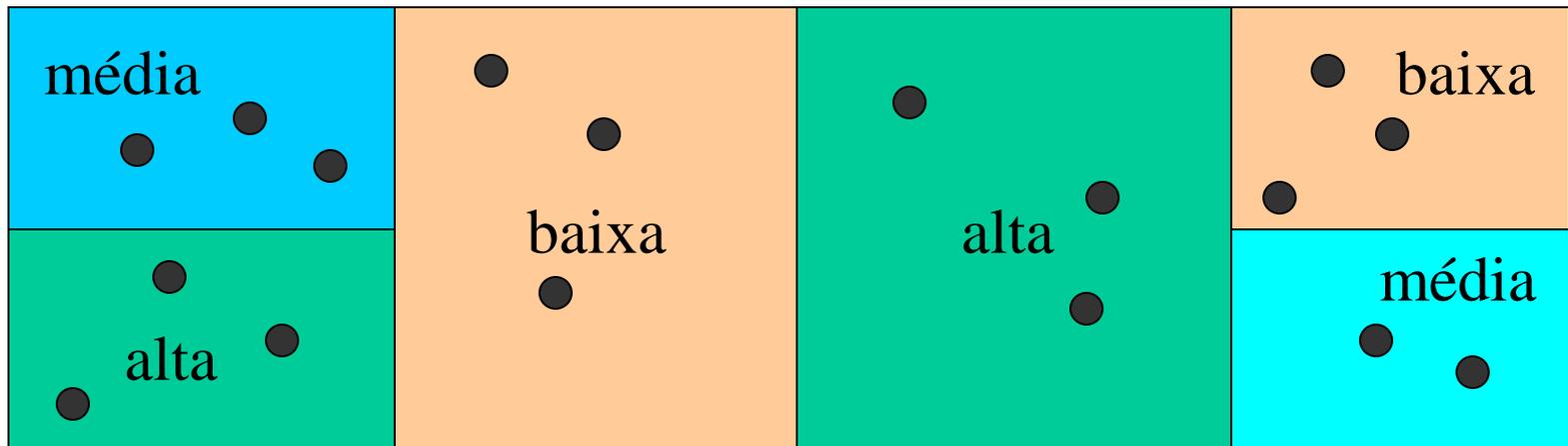
2. Escolher pelo menos 3 réplicas de paisagem para cada classe de densidade de corredor
3. Dentro de cada uma destas áreas, escolher de forma aleatória réplicas de fragmentos (3 a 15) com características similares (tamanho, estágio de sucessão ou grau de perturbação, outros parâmetros não considerados) e distantes o suficiente para serem independentes.



## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

### Etapas:

4. Ir a campo e medir a densidade da espécie estudada nos fragmentos selecionados.
5. Relacionar as duas densidades (corredores e da espécie) utilizando regressões (lineares ou não) ou ou uma “nested ANOVA”



## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

*Hipótese nula:* A proporção de mata não está relacionada com a ocorrência de uma doença

- Universo amostral: 100 sub-bacias; em 30 ocorre a doença;
- Possibilidade 1: ANOVA 30 bacias com doença vs 70 bacias sem doença;
- Possibilidade 2: ANOVA como sorteio de amostras independentes (não contíguas) 20 bacias com doença vs 20 bacias sem doença

## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

O desenho ideal supõe a possibilidade de manipular a paisagem (permite isolar o efeito de uma variável)

- Modificação experimental da paisagem (retirada ou restauração de mata, fragmentos, corredores)
- ANOVA: antes e depois no tratamento; antes e depois no controle (desenho BACI)

## Desenho experimental - teste planejado de hipótese

Observação: o reconhecimento de um determinado padrão de relação entre uma estrutura da paisagem e um processo/padrão ecológico não esgota o trabalho do ecólogo da paisagem.

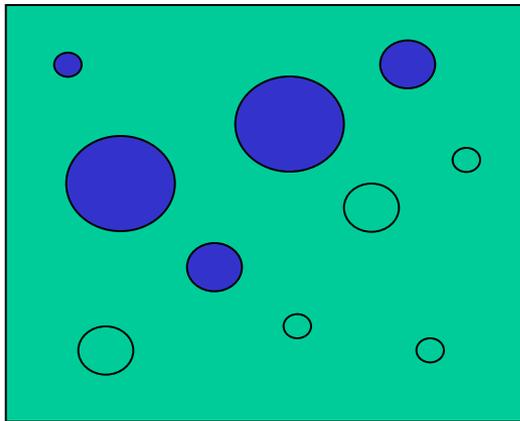
### Exemplo da densidade de corredores vs densidade da espécie

1. Será que os corredores permitem uma maior migração entre os fragmentos, compensando, por exemplo, mais rapidamente as perdas por mortalidade ?
2. Ou será que os corredores aumentam as possibilidades de fuga da espécie estudada de um possível predador ?
3. Ou será ainda que os corredores aumentam a capacidade da espécie de encontrar algum tipo de recurso mais escasso e distribuído de forma irregular nos fragmentos ?

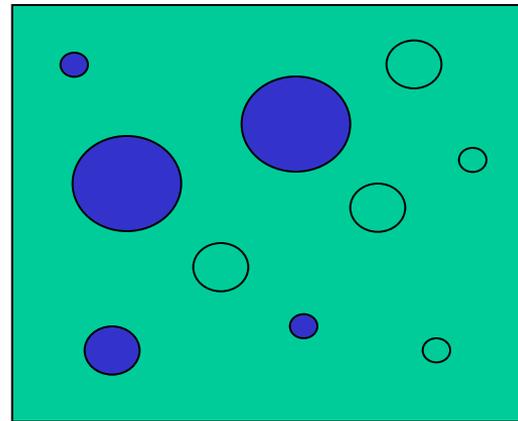
## Desenho experimental - teste de modelo simulação

### Modelos de simulação de ocorrência de espécies

Simulado (esperado)



Observado



- Fragmentos ocupados
- Fragmentos vazios

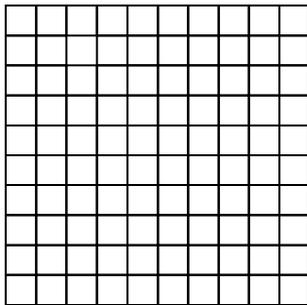
Teste: qui-quadrado

Obs.: o modelo deve ser estabelecido numa área e testado em outra

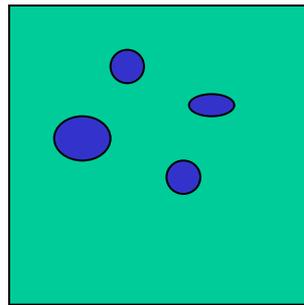
Obs. 2: não há problemas de réplicas, independência e número das amostras, controle, isolamento de fatores

# Conclusão

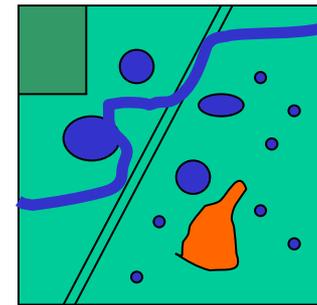
- É possível fazer experimentação numa perspectiva de ecologia da paisagem, apesar das dificuldades e da limitação no uso de alguns testes (ou na potência destes);
- É necessário diversificar as abordagens, utilizando perturbações naturais e impactos antrópicos como oportunidades de pesquisa;
- Deve-se utilizar essas possibilidades afim de se criar uma teoria de mosaicos, tendo uma lógica interna consistente, testabilidade e poder preditivo.



Ecologia teórica



Ecologia de metapopulações



Ecologia da paisagem