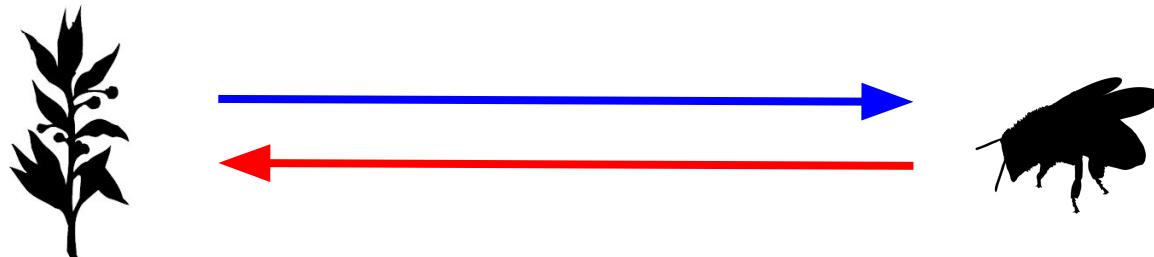


# Coevolução e exploração em redes de mutualismos

Lucas A. Camacho





Fonte: [The Independent.co.uk](https://www.independent.co.uk)



Fonte: [wildgardentravel.com](https://wildgardentravel.com)

# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos

**Hoje, eu vou falar:**

- **Introdução**
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos

# Interações ecológicas



Fonte: The Independent.co.uk

# Interações ecológicas



Fonte: The Independent.co.uk



Fonte: arvoresefrutas.blogspot

# Interações ecológicas



Fonte: The Independent.co.uk



Fonte: arvoresefrutas.blogspot

Fonte: science.howstuffworks.com



# Mutualismos



Interação ecológica na qual os indivíduos que estão interagindo obtêm um benefício



Fonte: arvoresefrutas.blogspot



Fonte: science.howstuffworks.com

Dado que:

- Indivíduos de espécies diferentes interagem,

Dado que:

- Indivíduos de espécies diferentes interagem,
- Essas interações influenciam a reprodução e sobrevivência desses indivíduos,

# Dado que:

- Indivíduos de espécies diferentes interagem,
- Essas interações influenciam a reprodução e sobrevivência desses indivíduos,
- Essa influência na reprodução e sobrevivência é recíproca,

Dado que:

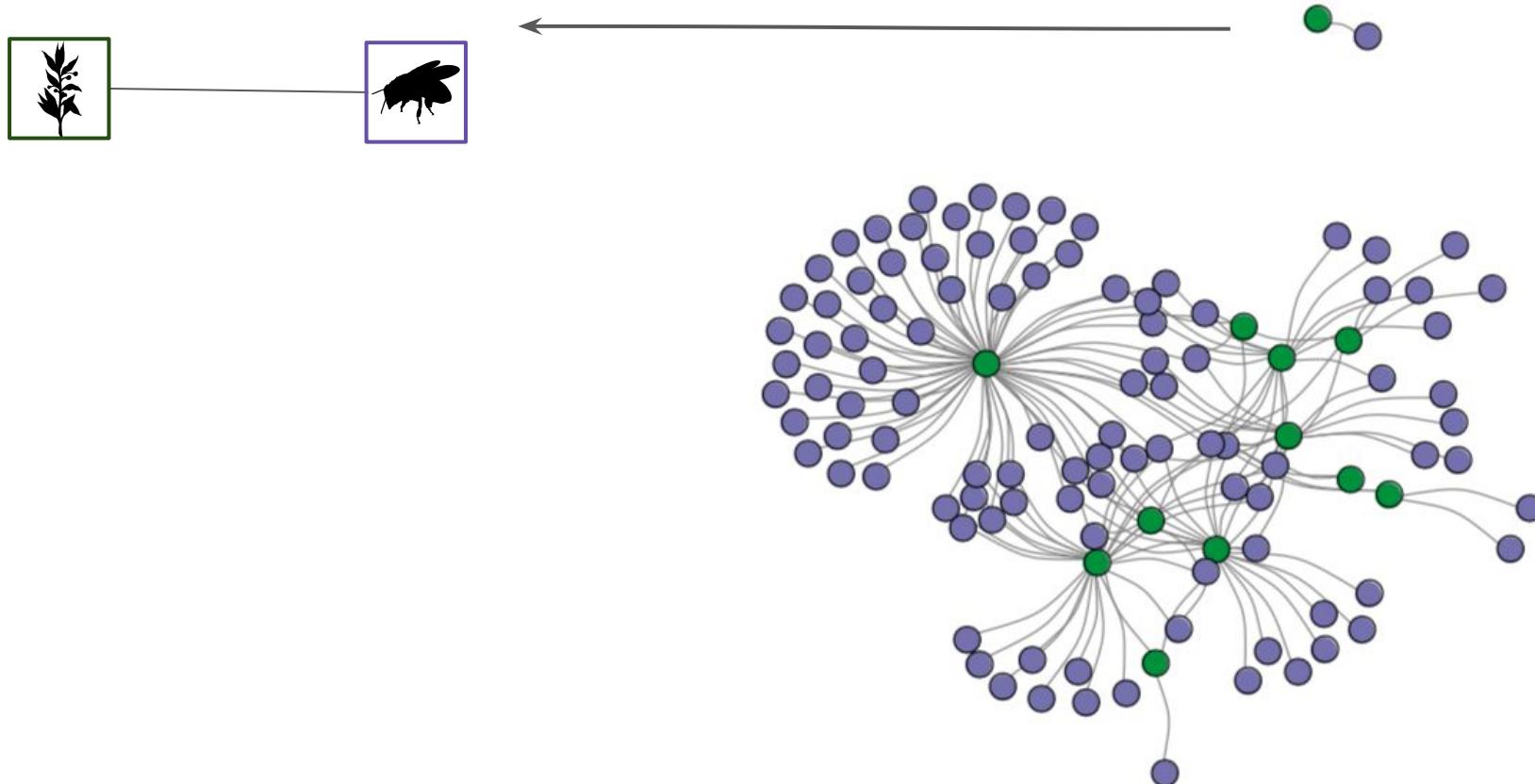
- Indivíduos de espécies diferentes interagem,
- Essas interações influenciam a reprodução e sobrevivência desses indivíduos,
- Essa influência na reprodução e sobrevivência é recíproca,

**Podemos esperar que ocorra coevolução entre espécies**

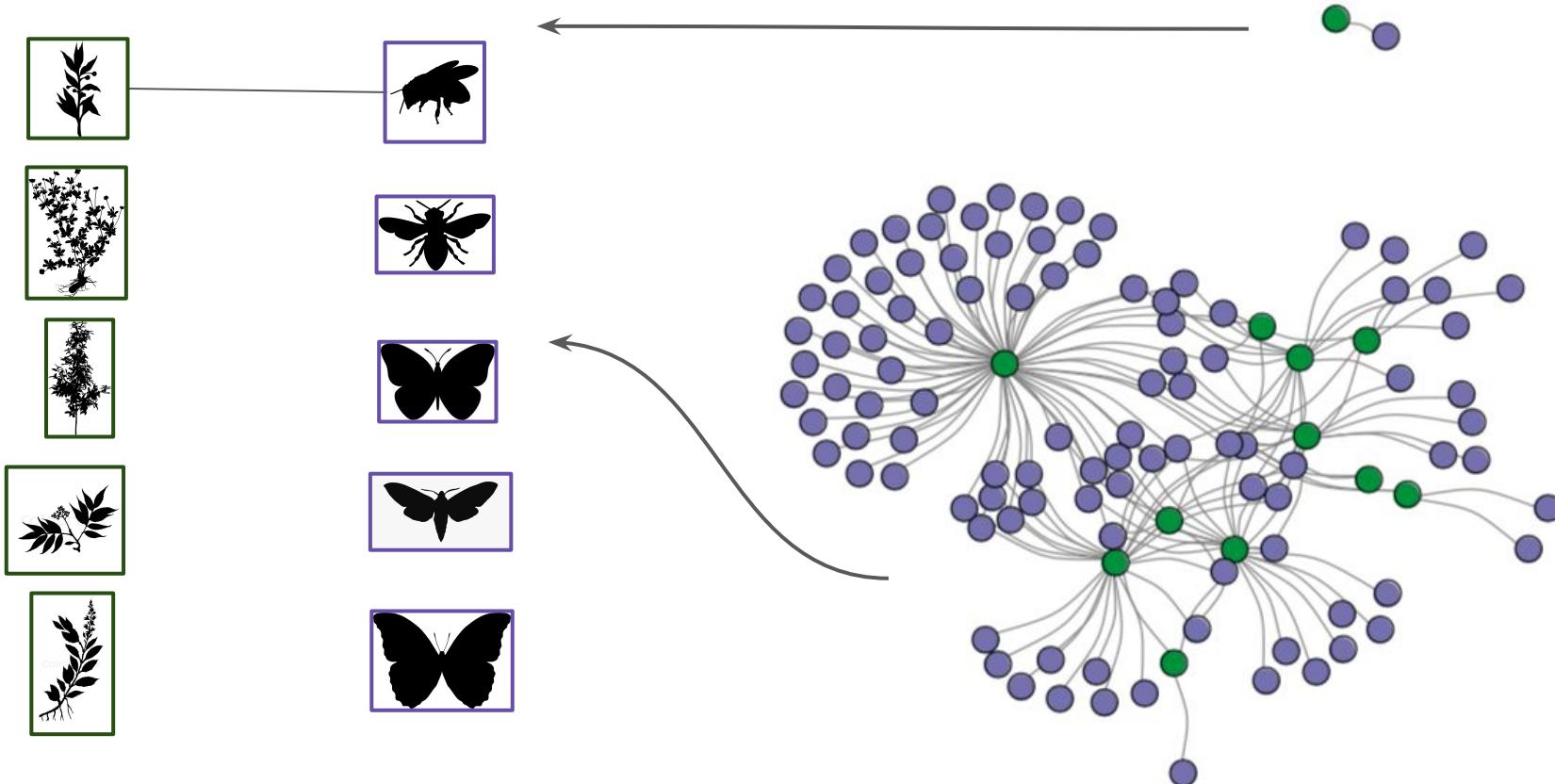
**Coevolução:** mudança evolutiva causada por pressão evolutiva recíproca entre espécies que interagem



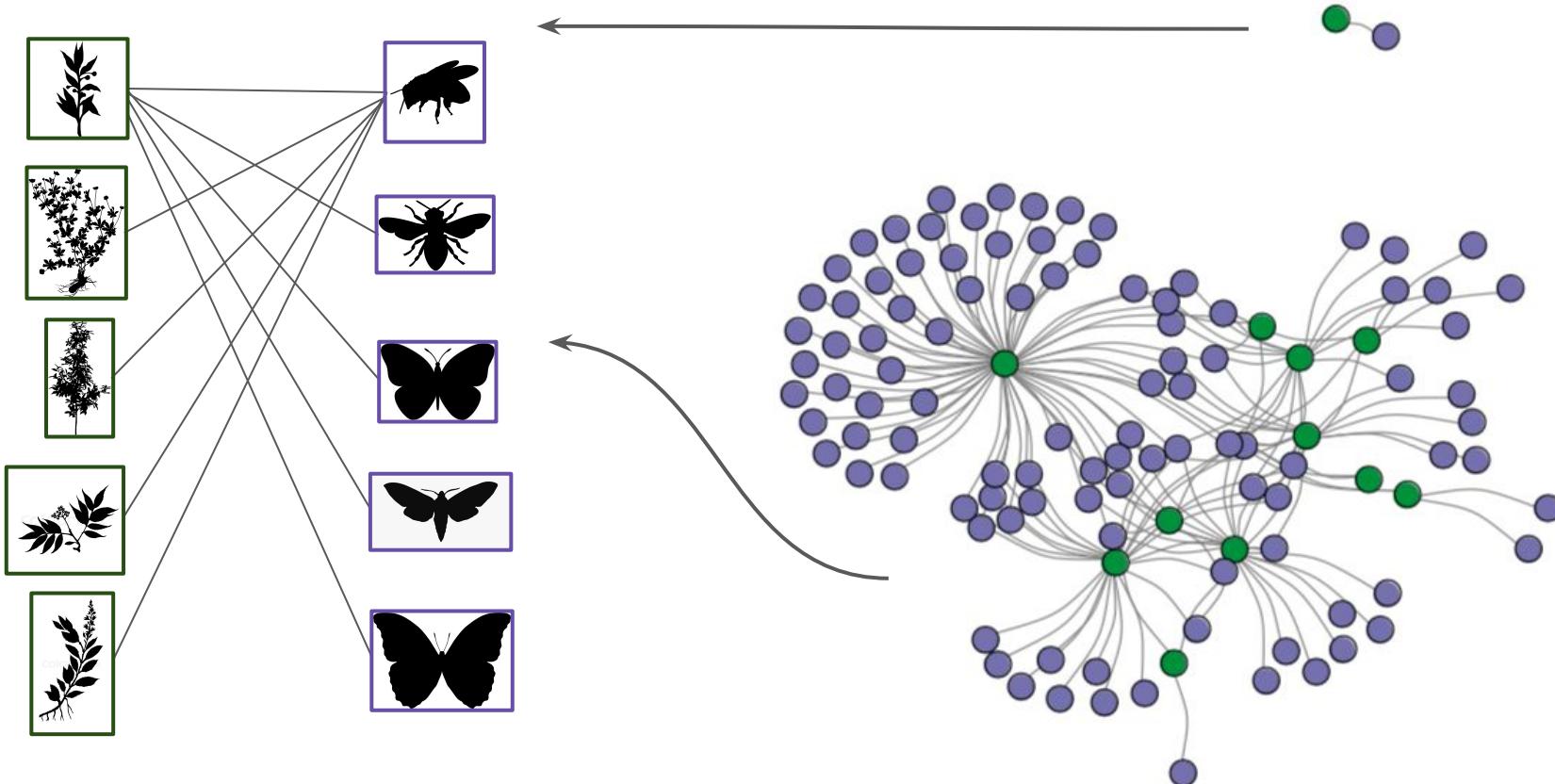
# Redes



# Redes



# Redes





# Custos do mutualismo

# Custos do mutualismo



- Produção de fruto e semente

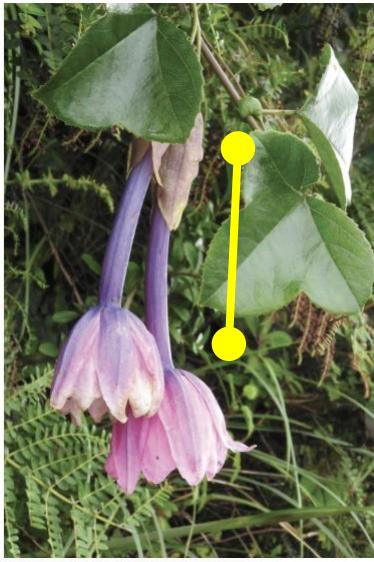
# Custos do mutualismo



Fonte: besgroup.org

- Produção de fruto e semente
- Produção de néctar e pólen

# Custos do mutualismo



- Produção de fruto e semente
- Produção de néctar e pólen
- Diminuição de parceiros devido ao acoplamento fenotípico

Fonte: Dormann *et al.* 2017

# Exploração



Fonte: [wildgardentravel.com](http://wildgardentravel.com)

# Exploração



Fonte: [wildgardentravel.com](http://wildgardentravel.com)



Fonte: [g1.globo.com](http://g1.globo.com)

# Exploração



Fonte: [wildgardentravel.com](http://wildgardentravel.com)



Fonte: [g1.globo.com](http://g1.globo.com)



Fonte: [aztecacecopia.com](http://aztecacecopia.com)

# Exploração



Indivíduos de uma espécie que obtém os benefícios do mutualismo, porém não retorna nenhum benefício em troca



Fonte: g1.globo.com



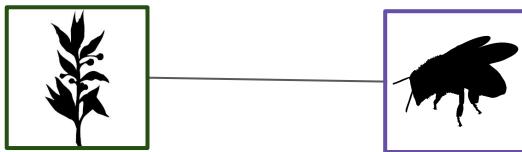
Fonte: aztecacecopia.com

# Redes

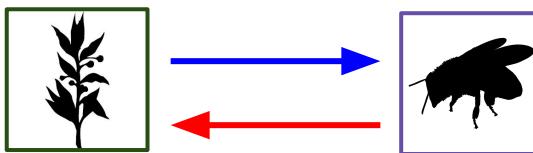


Pode ser descrita em termos de efeitos positivos e negativos...

# Exploração em redes



Pode ser descrita em termos de efeitos positivos e negativos...



→ Efeito positivo

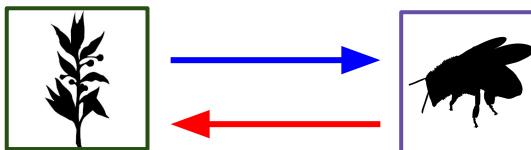
→ Efeito negativo

# Exploração em redes



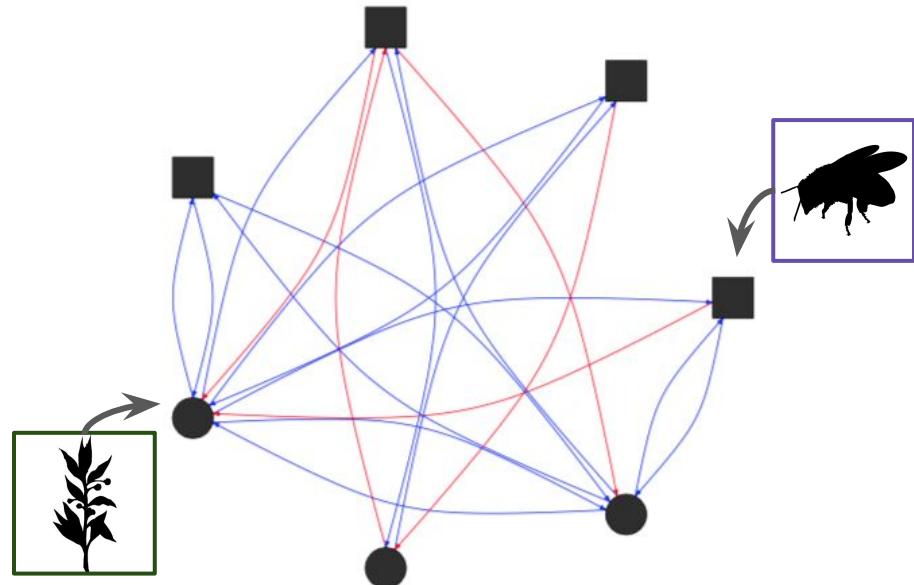
e inserida em uma rede de interações!

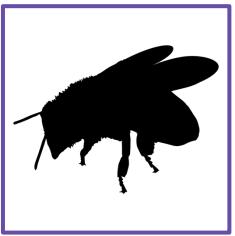
Pode ser descrita em termos de efeitos positivos e negativos...



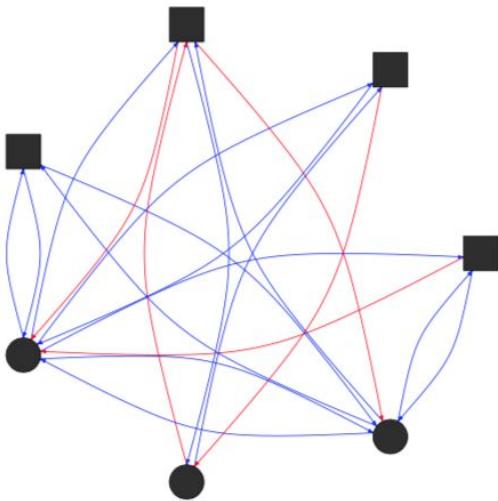
→ Efeito positivo

→ Efeito negativo





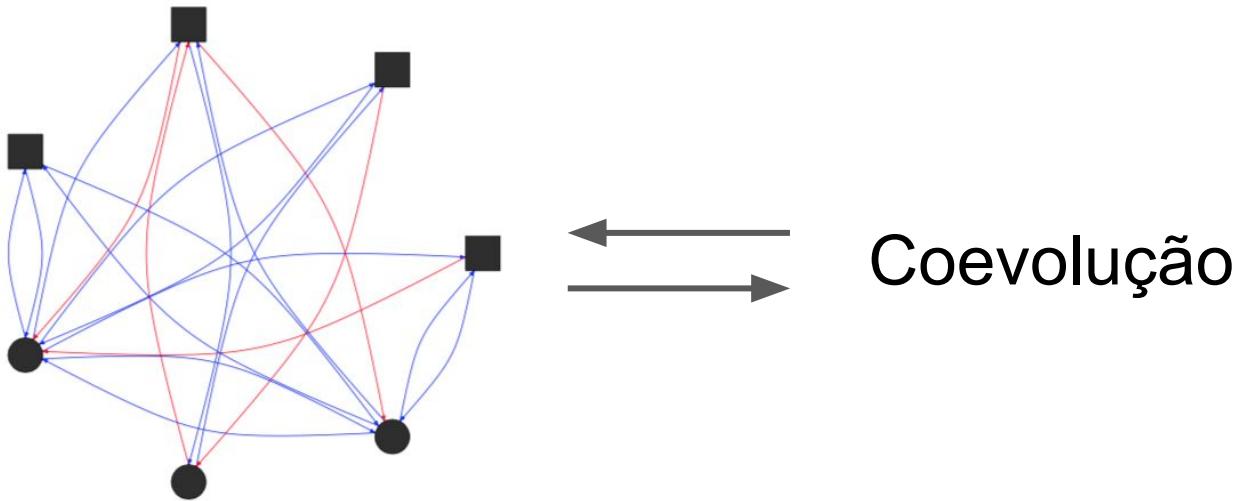
?



Coevolução



?



Como essas interações de exploração  
influenciam o processo coevolutivo em redes  
de mutualismos?

# Perguntas

1. Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?

# Perguntas

1. Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?
2. Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração na evolução de traços?

# Perguntas

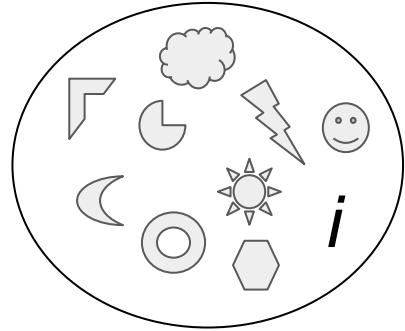
1. Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?
2. Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração na evolução de traços?
3. Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?

# Hoje, eu vou falar:

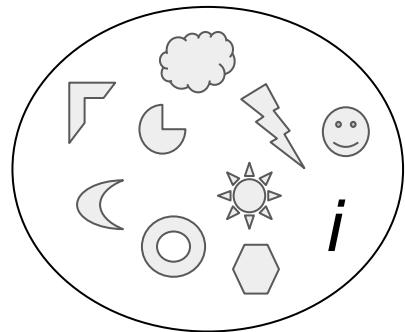
- Introdução
- **Modelo Coevolutivo**
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos



# Métodos - Modelo



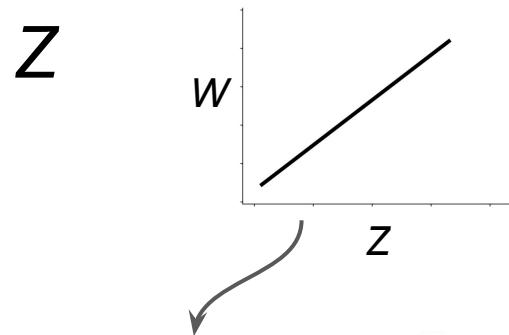
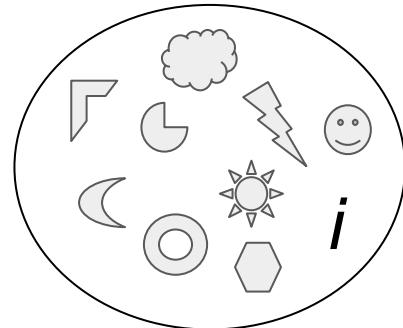
# Métodos - Modelo



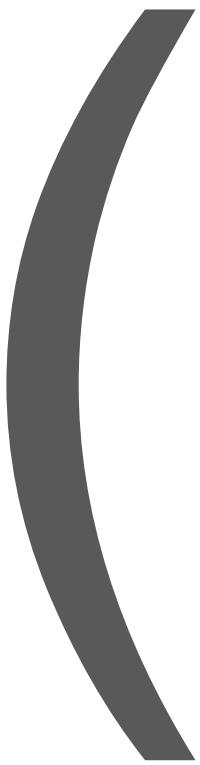
**Z**

$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)}$$

# Métodos - Modelo



$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i$$



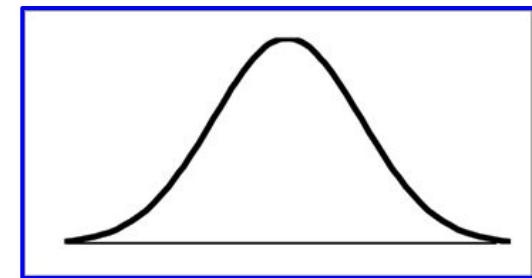
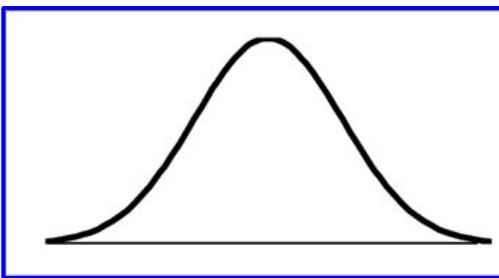
# Coevolução



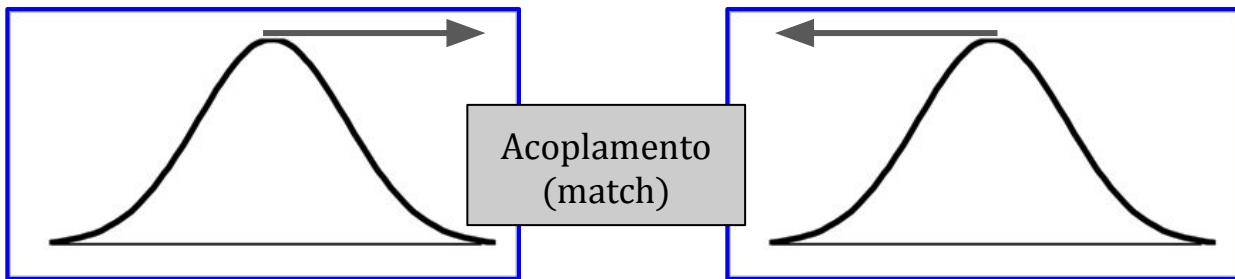
# Coevolução



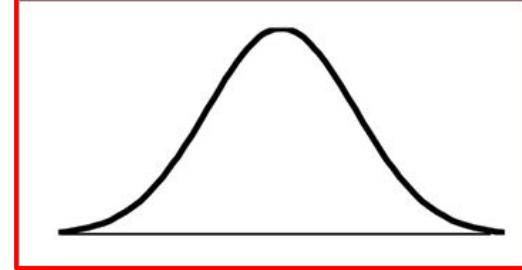
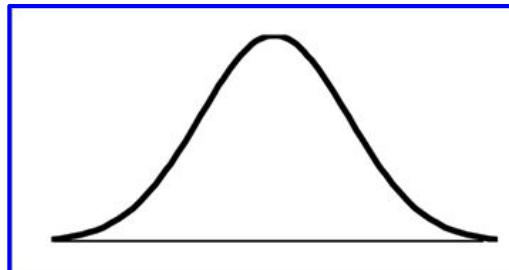
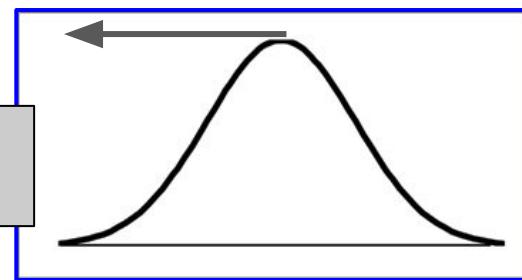
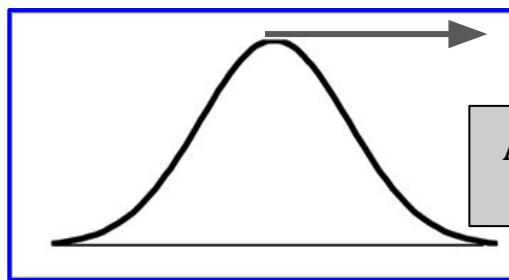
# Coevolução



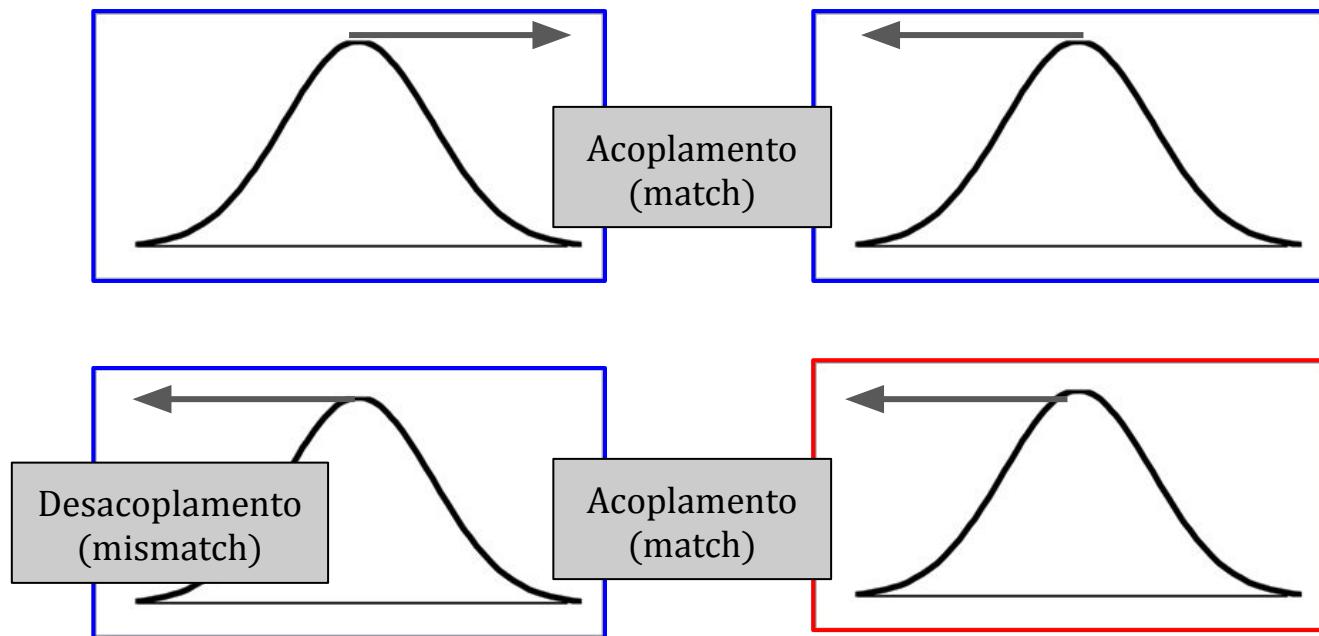
# Coevolução

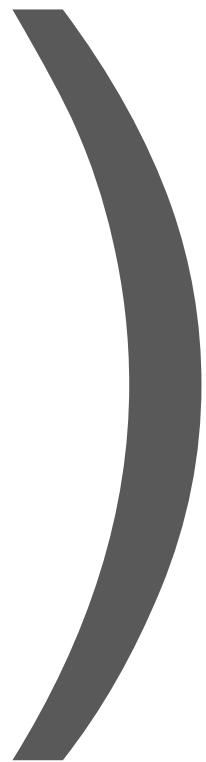


# Coevolução

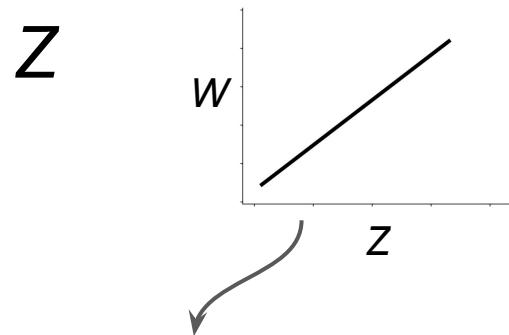
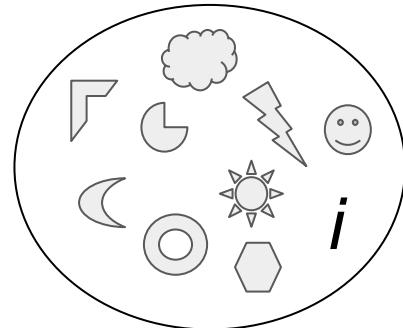


# Coevolução



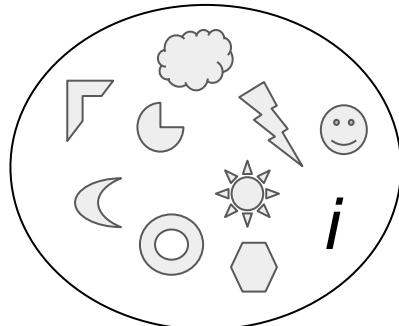


# Métodos - Modelo

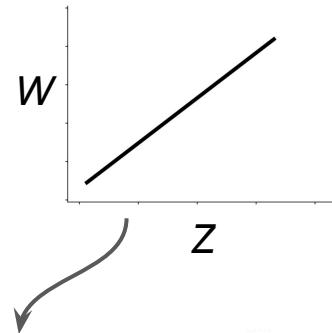


$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i$$

# Métodos - Modelo



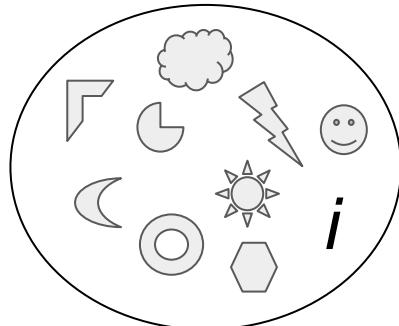
$Z$



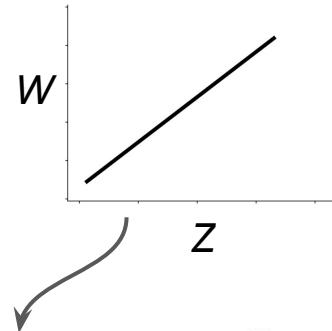
$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i \{ (1 - \gamma_i) \left[ \sum_j^N m_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) \right]$$



# Métodos - Modelo



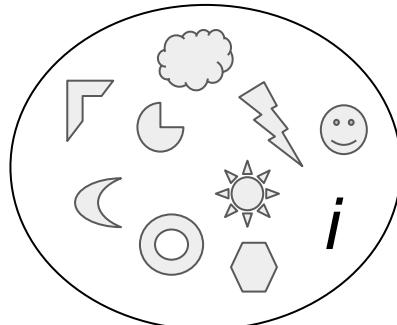
$Z$



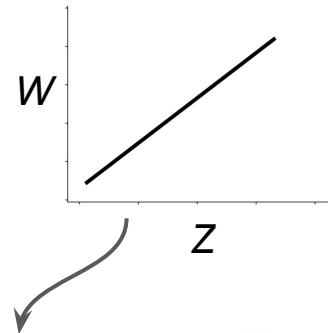
$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i \left\{ (1-\gamma_i) \left[ \sum_j^N m_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + \sum_j^N \delta_{ij} v_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} \pm \varepsilon_{ij} - Z_i^{(t)}) \right] \right\}$$



# Métodos - Modelo



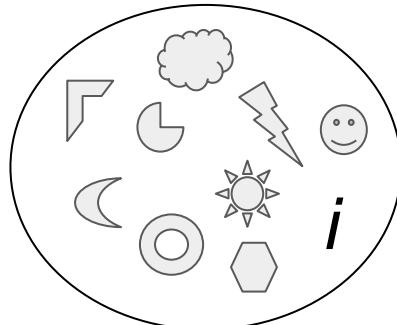
$Z$



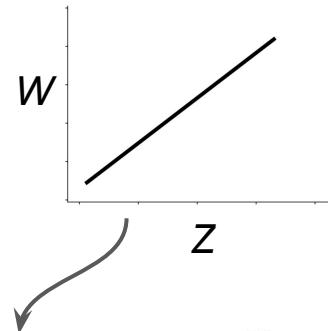
$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i \left\{ (1-\gamma_i) \left[ \sum_j^N m_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + \sum_j^N \delta_{ij} v_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} \pm \varepsilon_{ij} - Z_i^{(t)}) \right] + \gamma_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right\}$$



# Métodos - Modelo



$Z$



$$Z_i^{(t+1)} = Z_i^{(t)} + \varphi_i \left\{ (1-\gamma_i) \left[ \sum_j^N m_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)}) + \sum_j^N \delta_{ij} v_{ij}^{(t)} (Z_j^{(t)} \pm \varepsilon_{ij} - Z_i^{(t)}) \right] + \gamma_i (\theta_i - Z_i^{(t)}) \right\}$$



thespruce.com



mgnv.org



wired.com

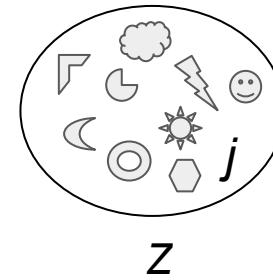
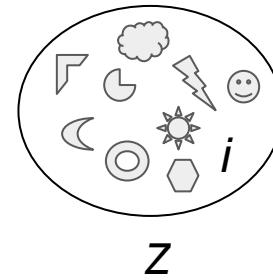
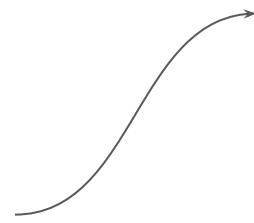
# Métodos - Modelo

$$q_{ij} =$$

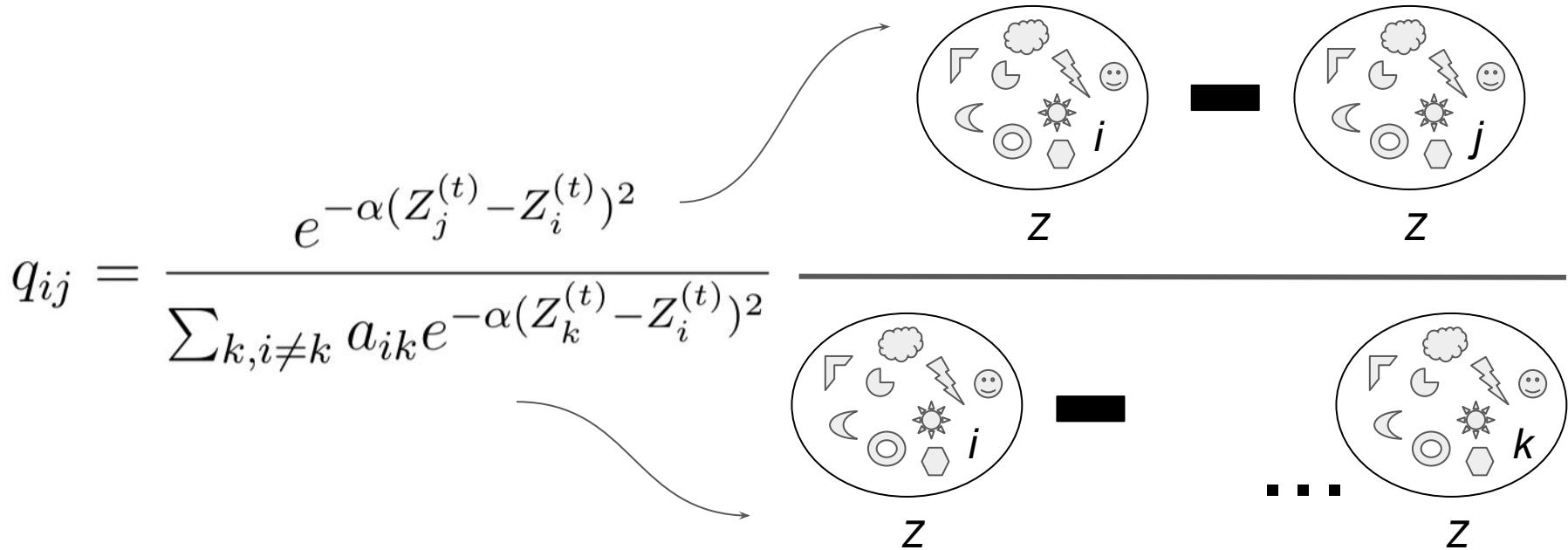
# Métodos - Modelo

$$e^{-\alpha(Z_j^{(t)} - Z_i^{(t)})^2}$$

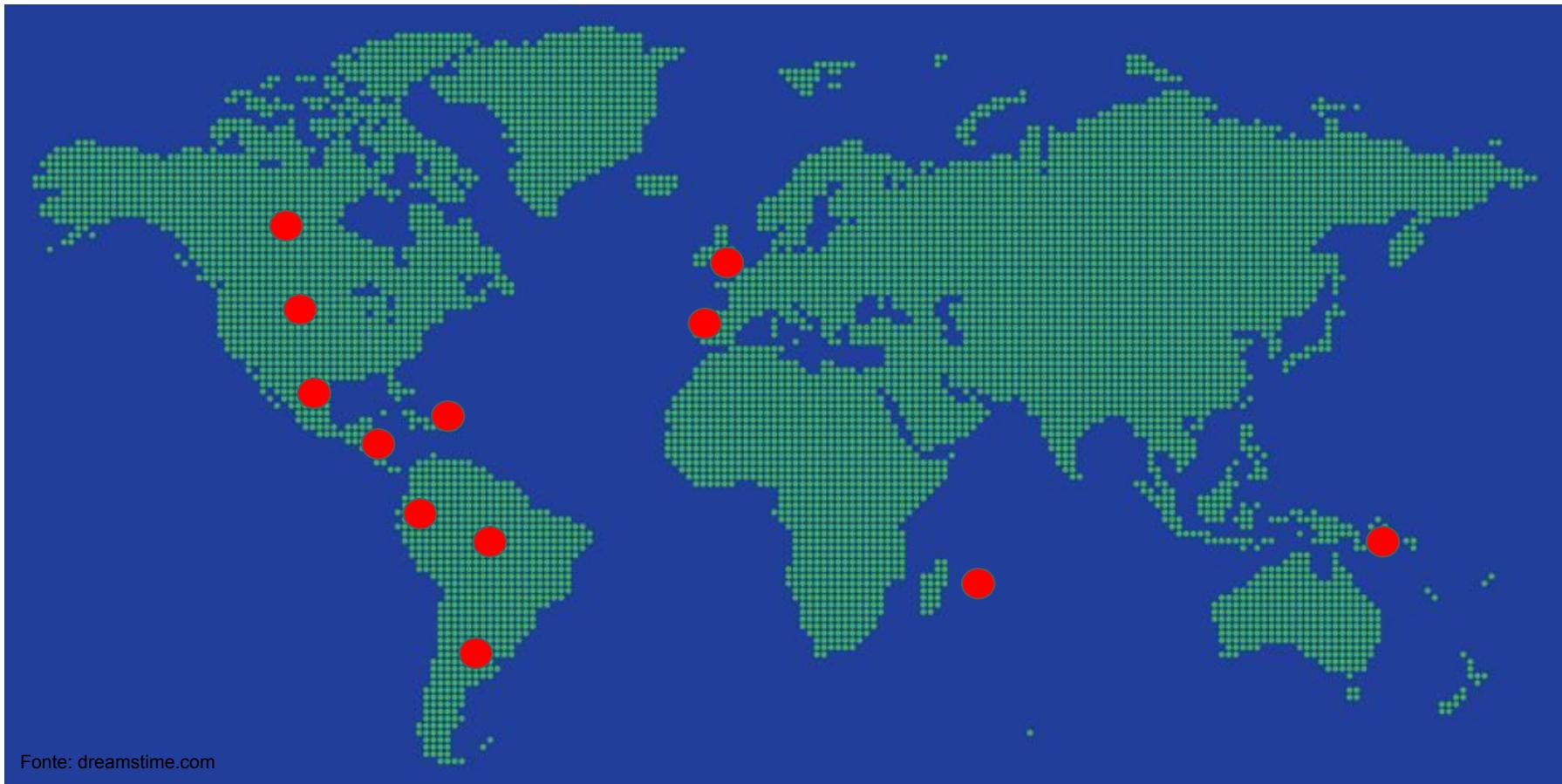
$q_{ij} =$



# Métodos - Modelo



# Métodos - Redes empíricas



# Métodos - Redes empíricas



Formiga-planta = 8 redes



Dispersão de sementes = 8  
redes



Polinização = 8 redes

**web of life**  
ecological networks database

 **IWDB**  
Interaction Web DataBase



Fonte: tenor.com

```
66 # load functions
67 source("~/Dropbox/Master/Code/coevo_mut_antag/R/functions/Antagonize.R")
68 source("~/Dropbox/Master/Code/coevo_mut_antag/R/functions/CoevoMutAntNet.R")
69
70 # insert cheaters exploitation outcomes
71 empantagonize = Antagonize(M, antprob)
72 M = empantagonize[[1]]
73 V = empantagonize[[2]]
74
75 # coevolutionary model parameters
76 phi = 0.2
77 alpha = 0.2
78 theta = runif(n_sp, 0, 10)
79 init = runif(n_sp, 0, 10)
80 p = 0.1
81 epsilon = 5
82 eq_dif = 0.000001
83 t_max = 1000
84
85 # simulate coevolution
86 z_mat = CoevoMutAntNet(n_sp, M, V, phi, alpha, theta, init, p, epsilon, eq_dif, t_max)
87
```

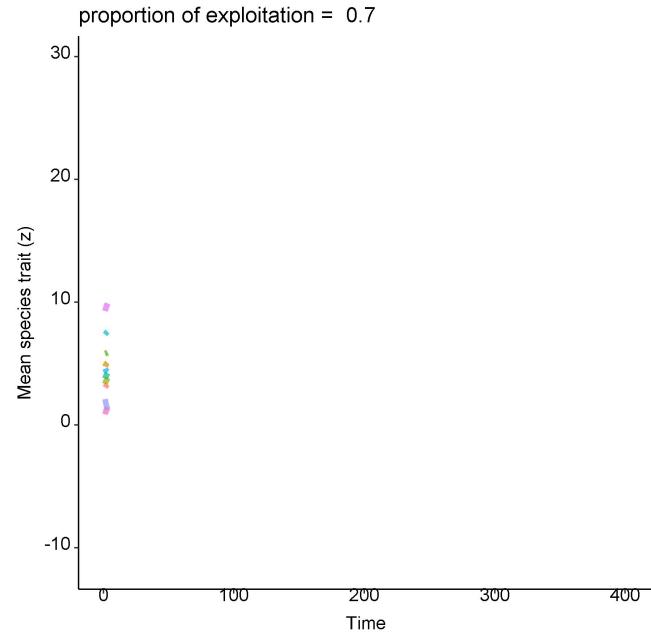


Fonte: tenor.com



Fonte: tenor.com

```
66 # load functions
67 source("~/Dropbox/Master/Code/coeve_mut_antag/R/functions/Antagonize.R")
68 source("~/Dropbox/Master/Code/coeve_mut_antag/R/functions/CoevoMutAntNet.R")
69
70 # insert cheaters exploitation outcomes
71 empantagonize = Antagonize(M, antprob)
72 M = empantagonize[[1]]
73 V = empantagonize[[2]]
74
75 # coevolutionary model parameters
76 phi = 0.2
77 alpha = 0.2
78 theta = runif(n_sp, 0, 10)
79 init = runif(n_sp, 0, 10)
80 p = 0.1
81 epsilon = 5
82 eq_dif = 0.000001
83 t_max = 1000
84
85 # simulate coevolution
86 z_mat = CoevoMutAntNet(n_sp, M, V, phi, alpha, theta, init, p, epsilon, eq_dif, t_max)
87
```





# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - **Frequência de exploração e coevolução**
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos

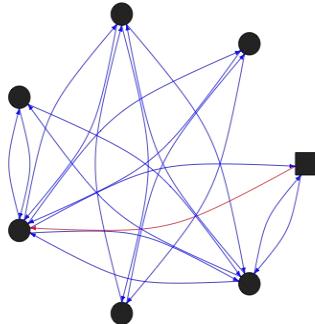
Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



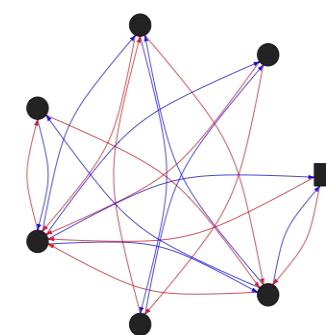
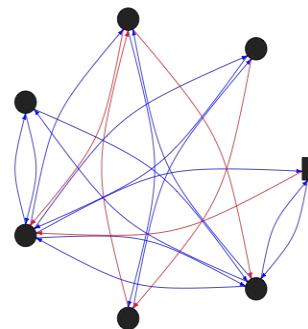
Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?

Frequência de exploração na rede

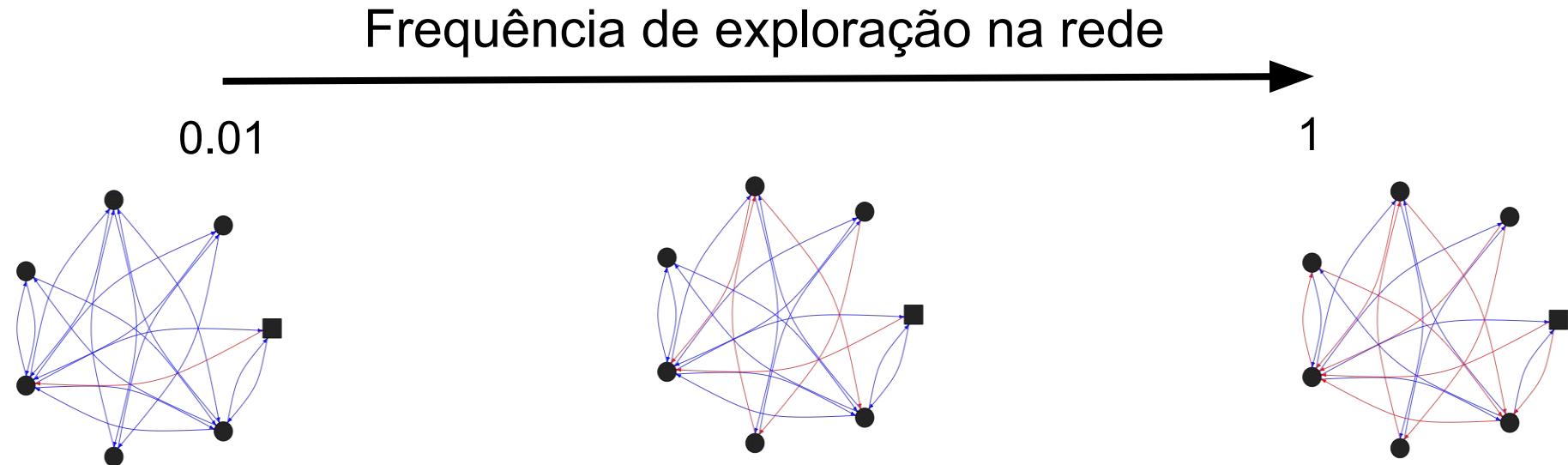
0.01



1

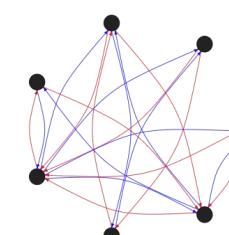
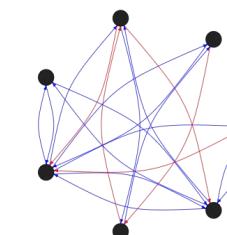
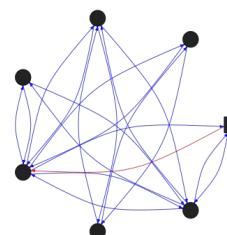
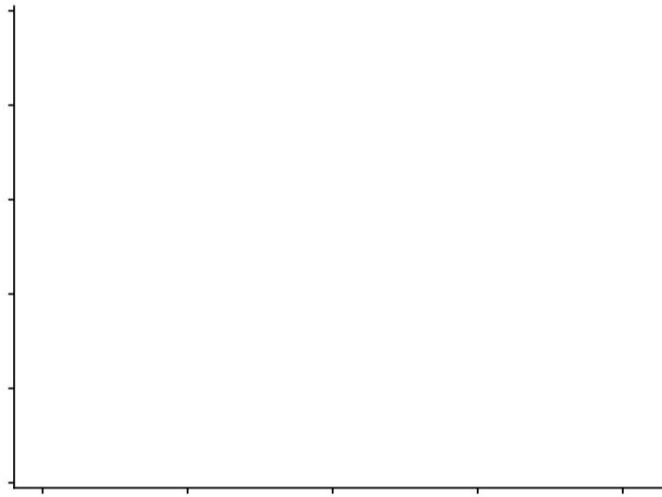
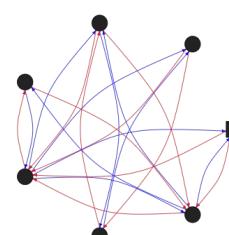
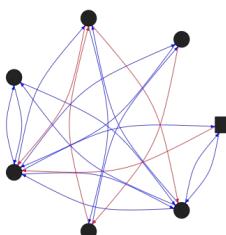
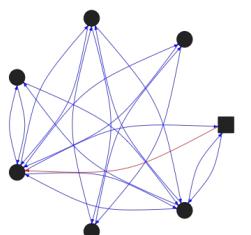
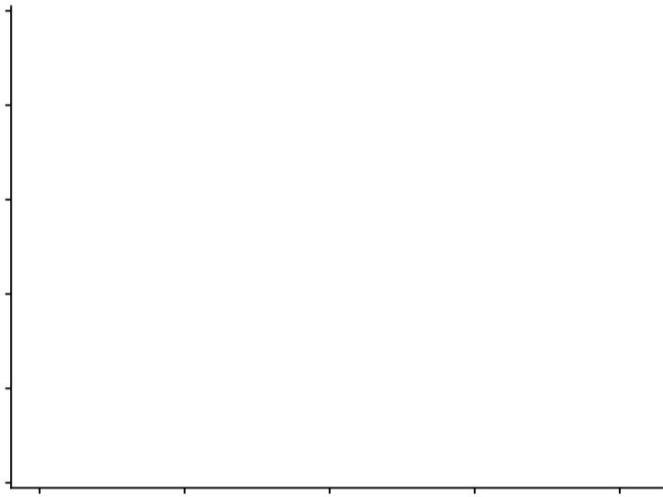


Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?

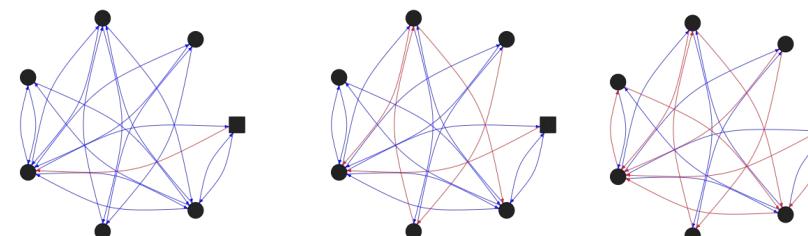
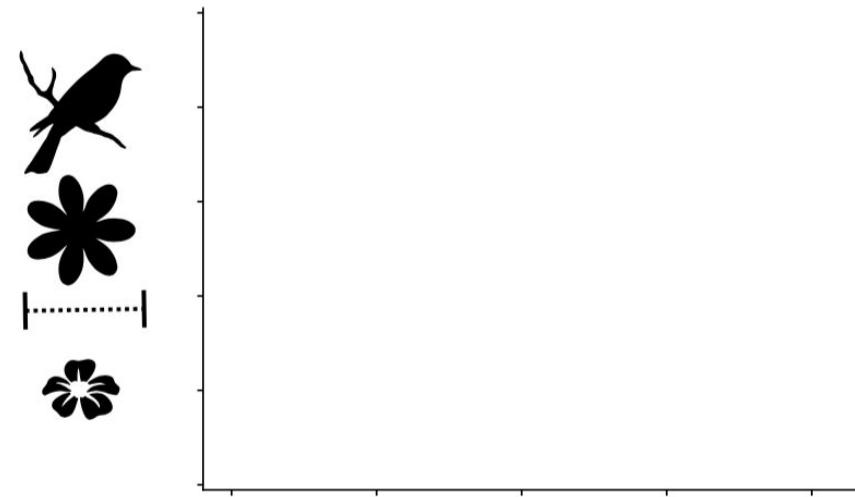
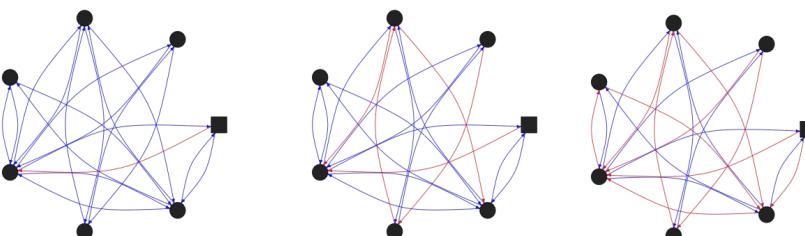
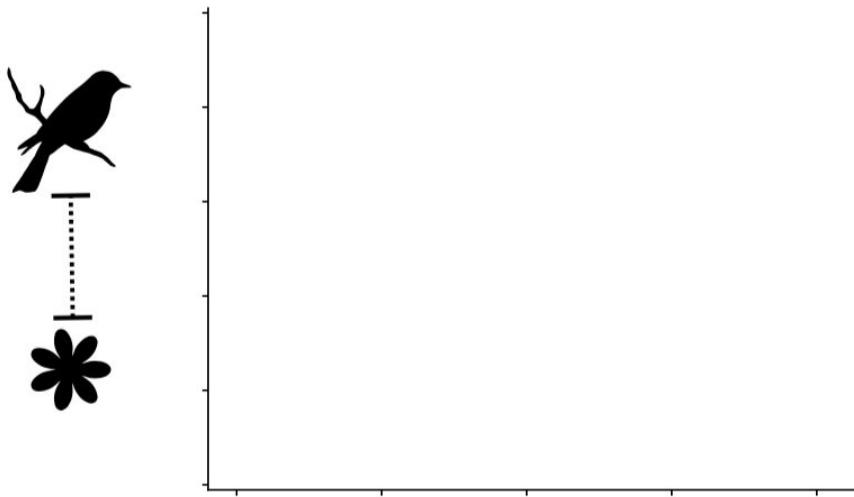


- 24 redes
- Valores de frequência de 0.01 a 1
- 3.000 simulações por rede
- Total de 72.000 simulações

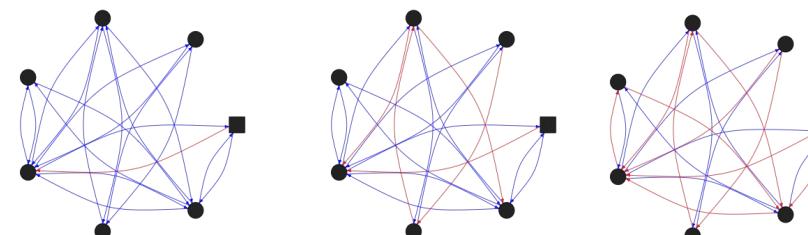
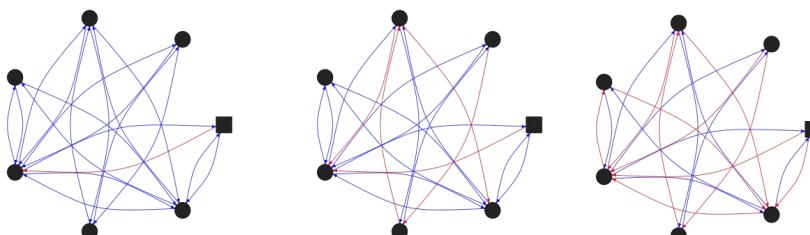
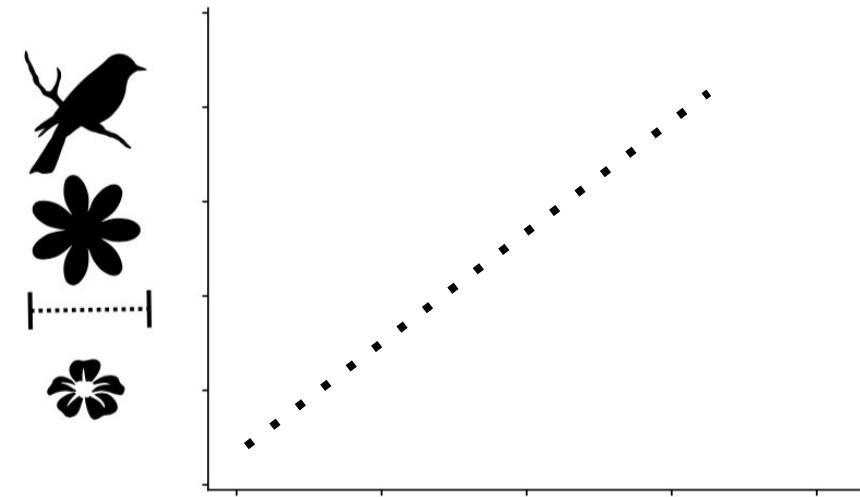
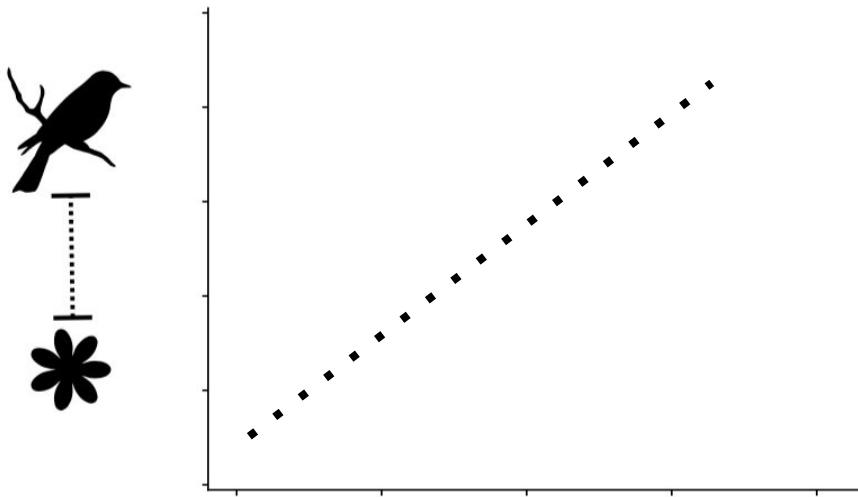
# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



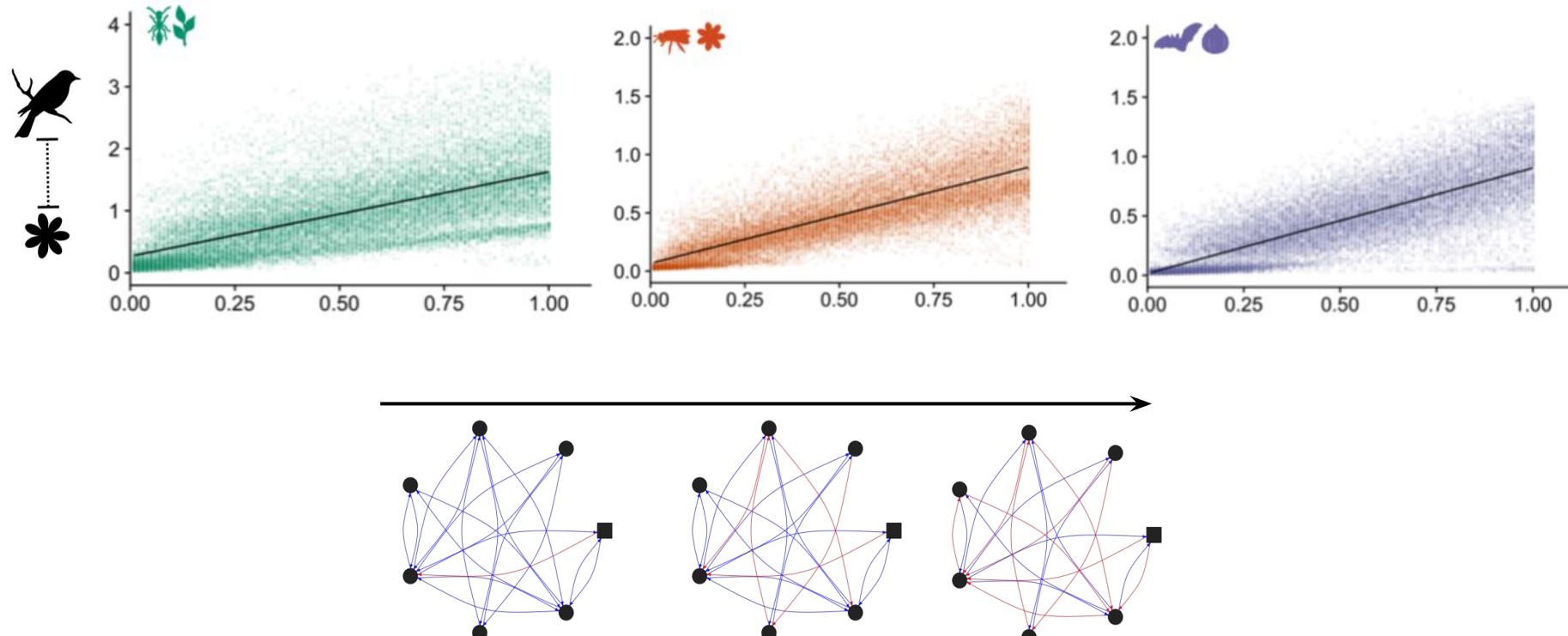
# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



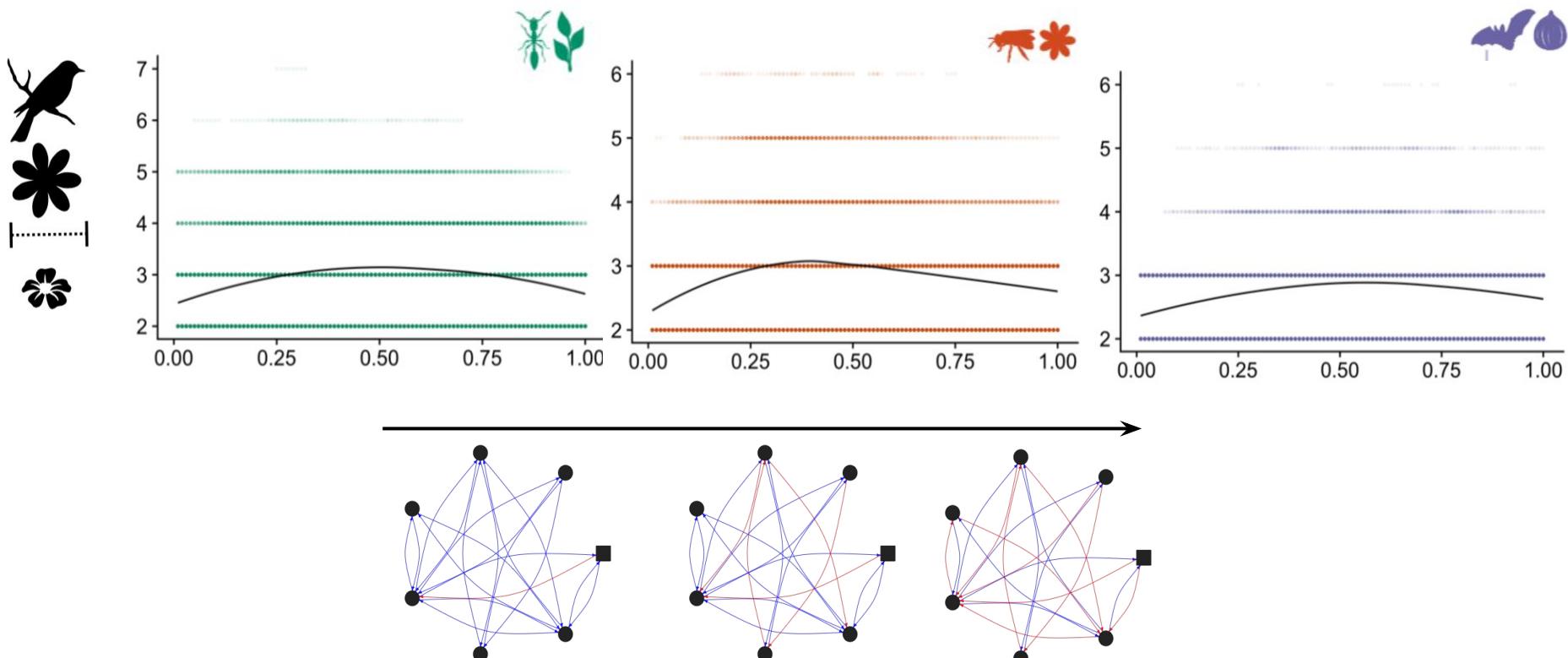
# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



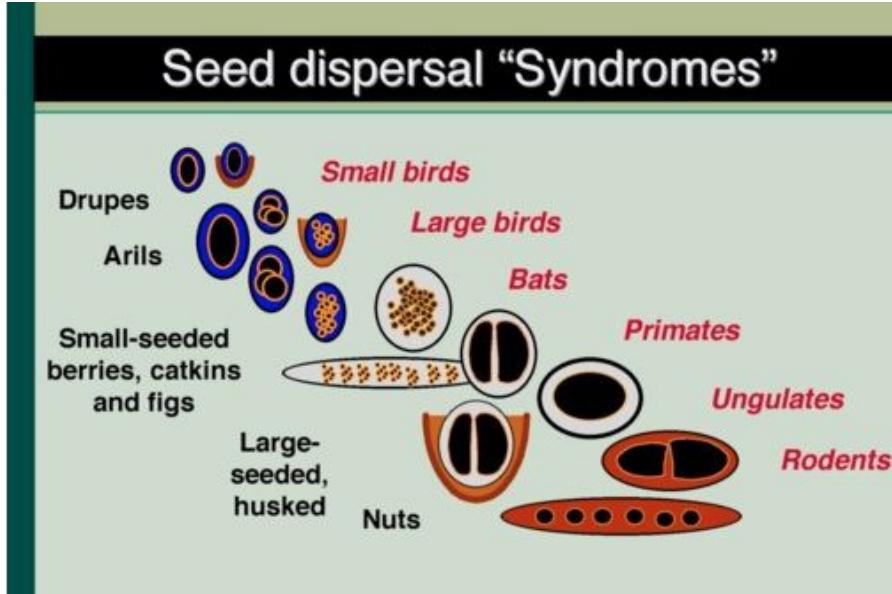
# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?

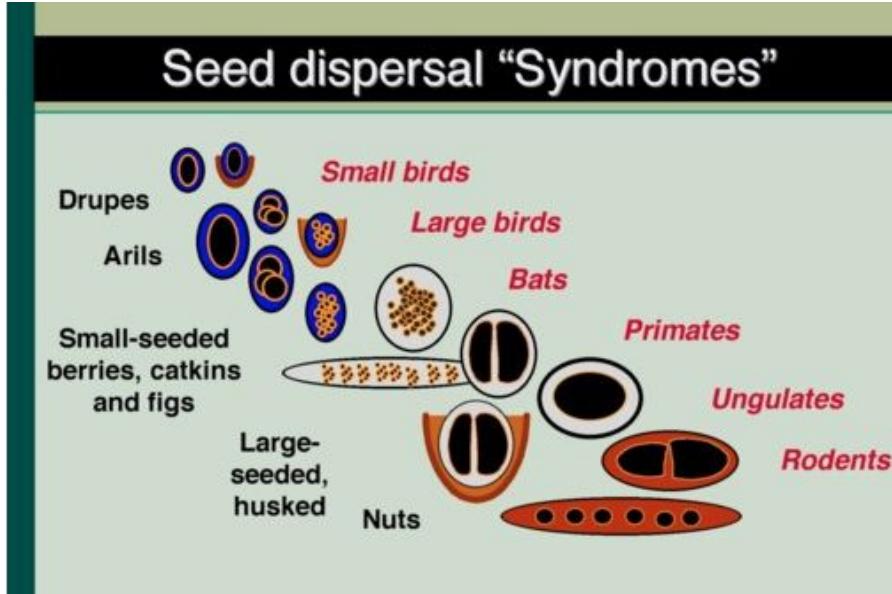


# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



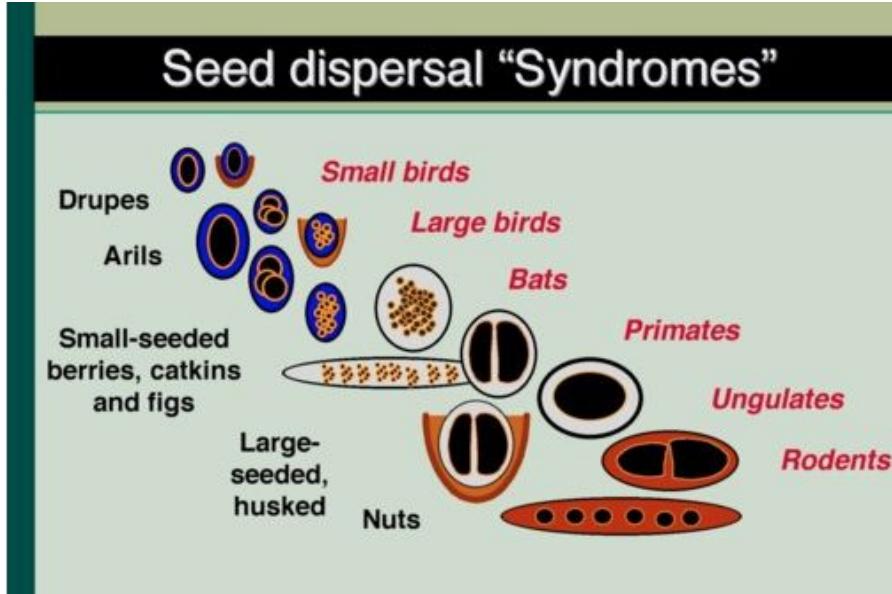
- Uma possível explicação para baixo acoplamento fenotípico

# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



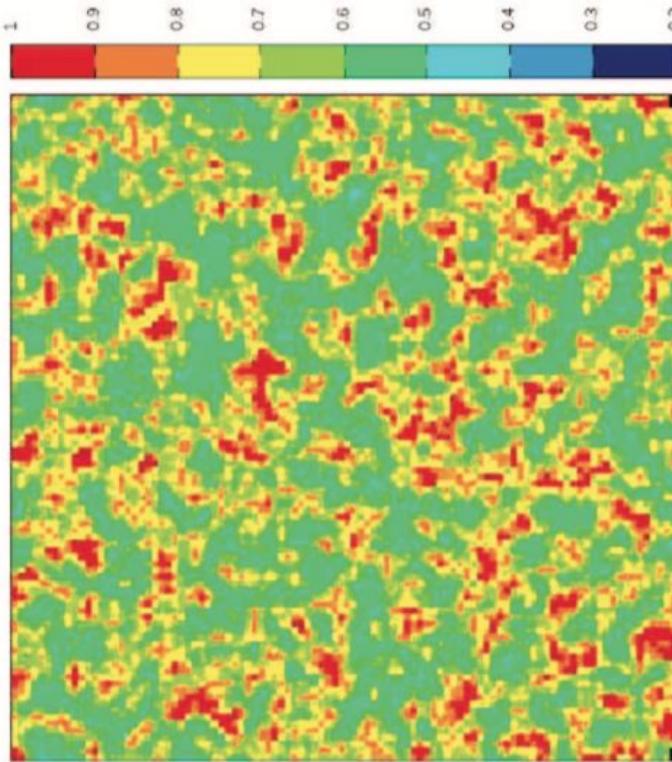
- Uma possível explicação para baixo acoplamento fenotípico
- Variação em frutos explicada pela filogenia

# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



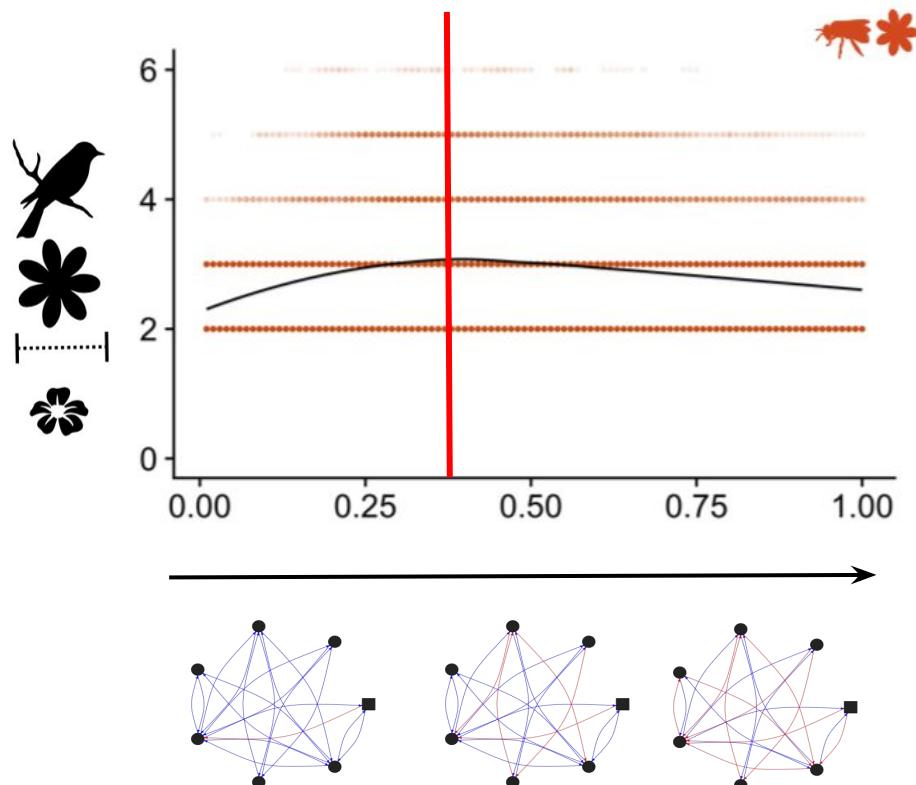
- Uma possível explicação para baixo acoplamento fenotípico
- Variação em frutos explicada pela filogenia
- Limitadores da variação fenotípica na comunidade:
  - Recursos
  - Variação genética
  - Restrição fisiológica

# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



- Processos diferentes gerando um mesmo padrão
- Fluxo gênico ligando populações pode gerar grupos fenotipicamente semelhantes.

# Como diferentes frequências de exploração na rede influenciam a dinâmica coevolutiva?



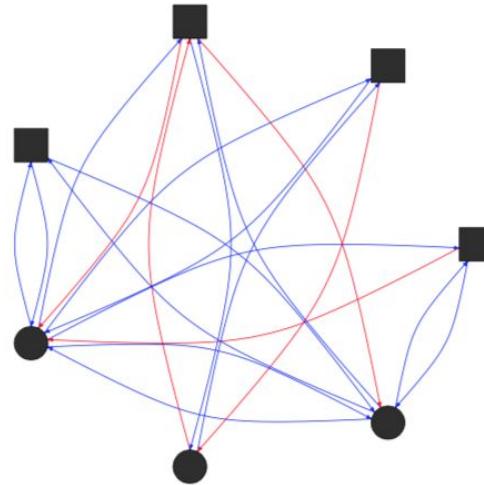
- Processos diferentes gerando um mesmo padrão
- Fluxo gênico ligando populações pode gerar grupos fenotipicamente semelhantes.
- Parece existir uma frequência crítica. Pode ser possível testar esse limiar de forma empírica.



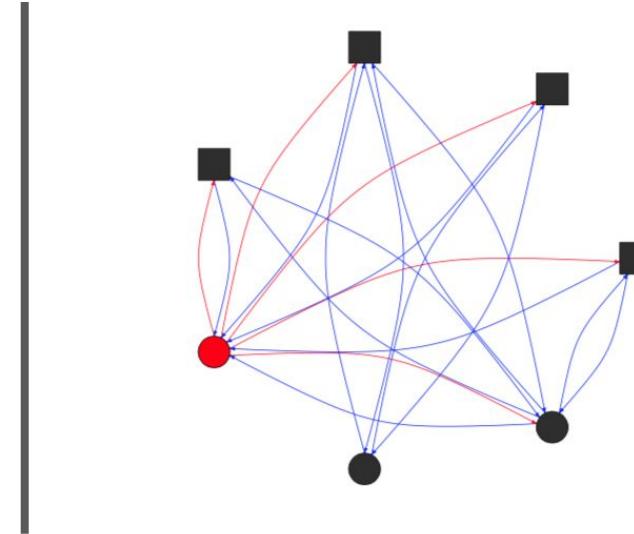
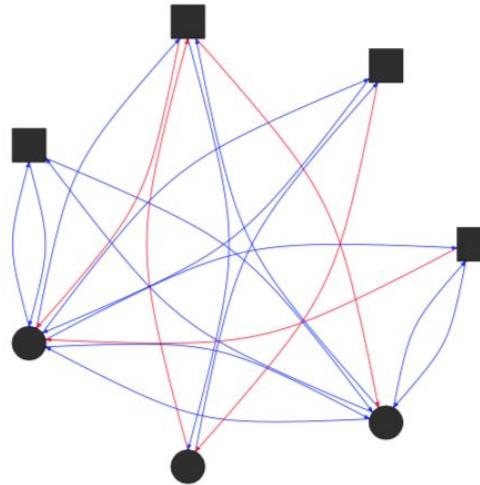
# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - **Influência de exploradores exclusivos**
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos

Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?

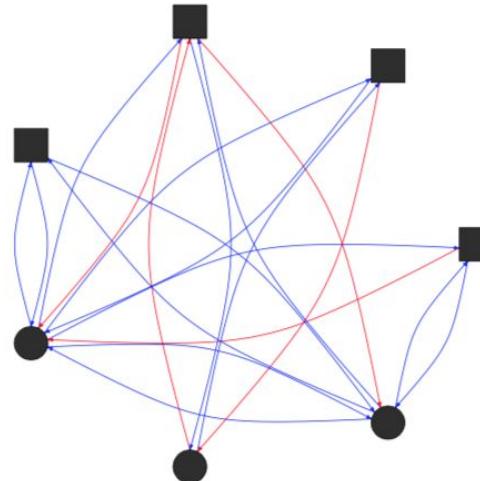


Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?

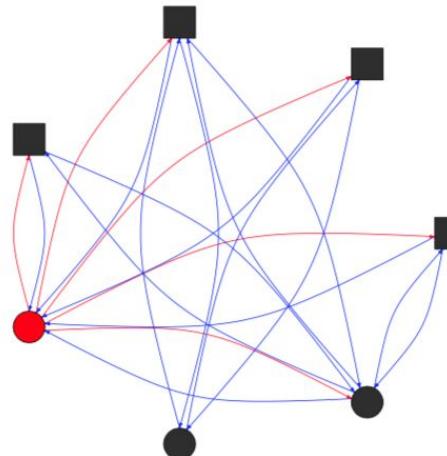


Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?

Aleatório

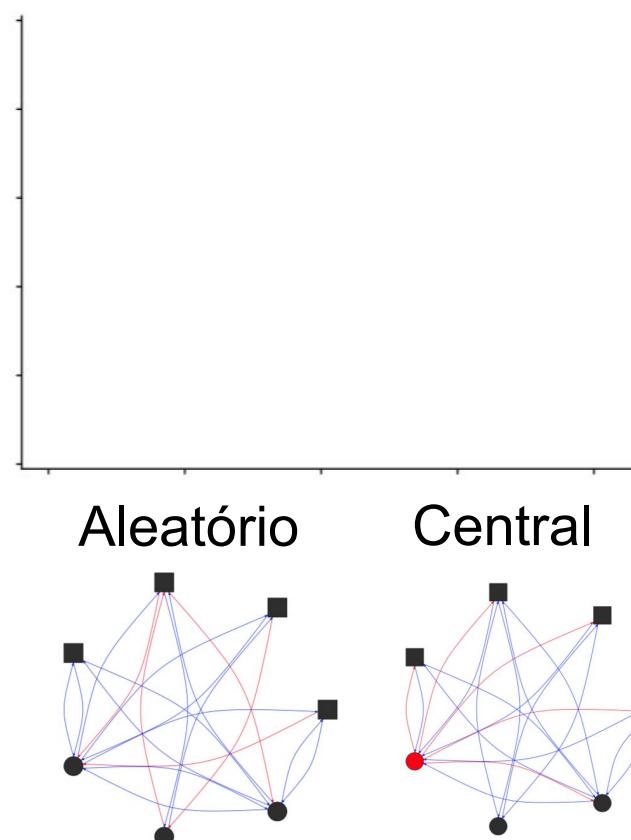


Central



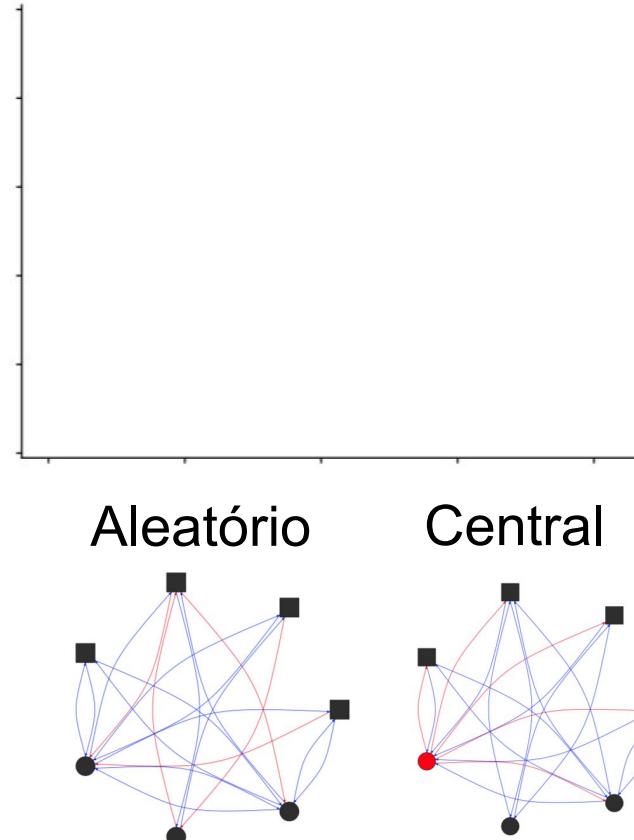
- 24 redes
- 36.000 simulações por cenário
- Total de 72.000 simulações

Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



Aleatório

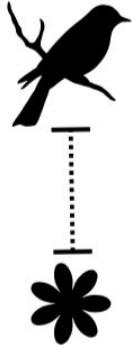
Central



Aleatório

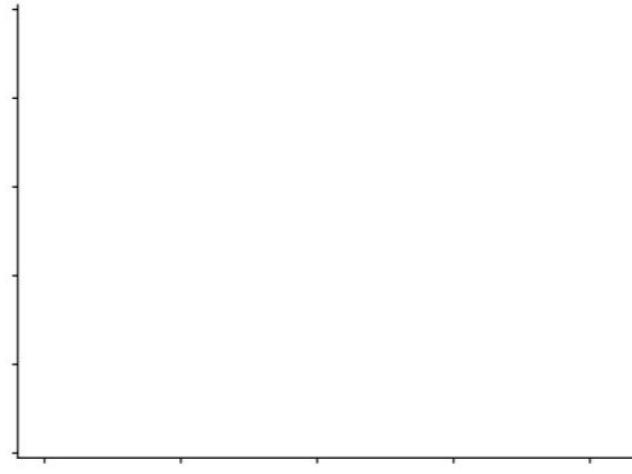
Central

# Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



Aleatório

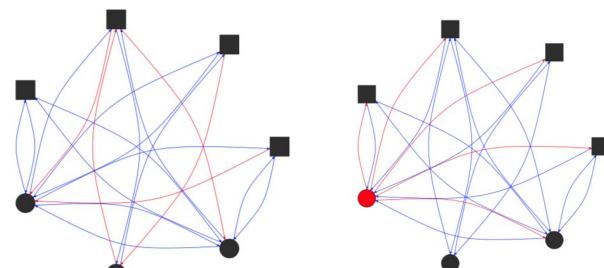
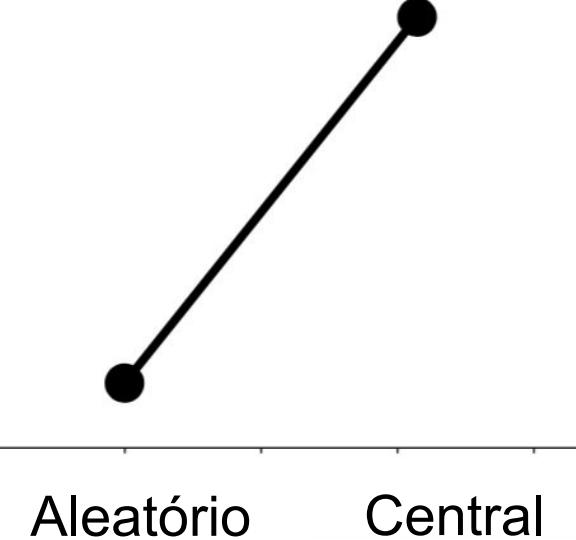
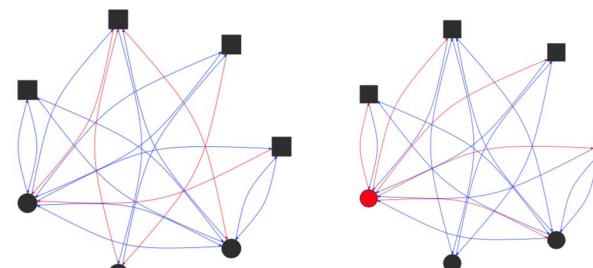
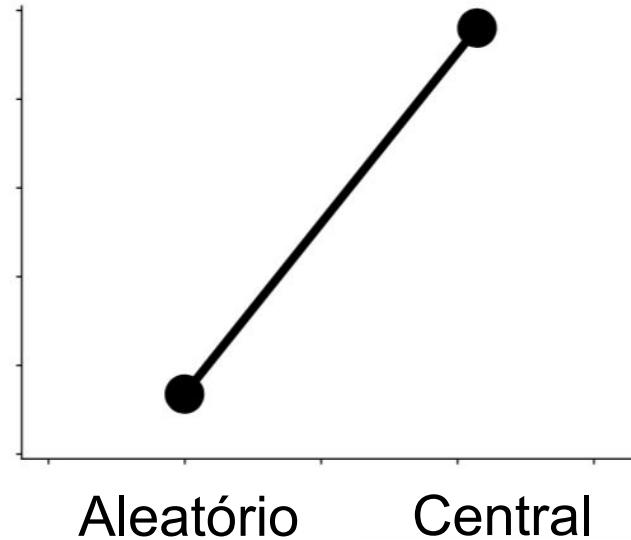
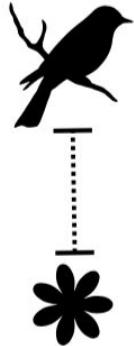
Central



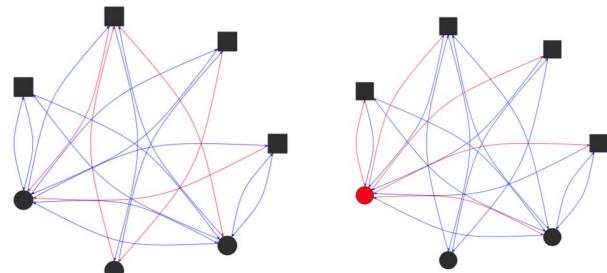
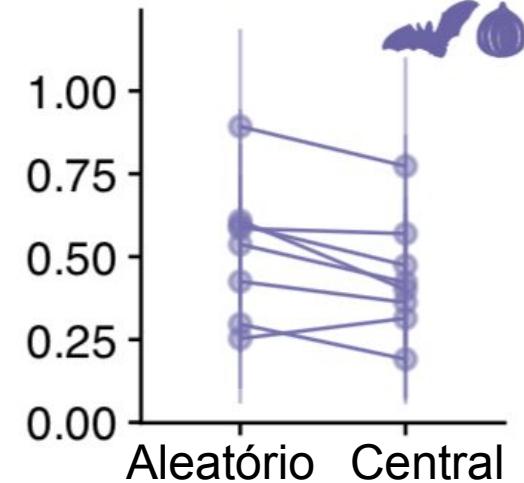
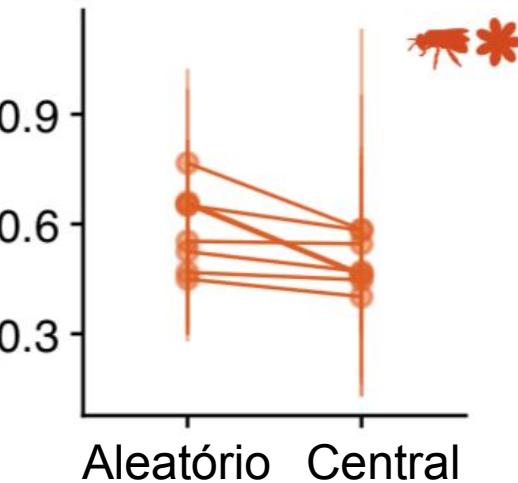
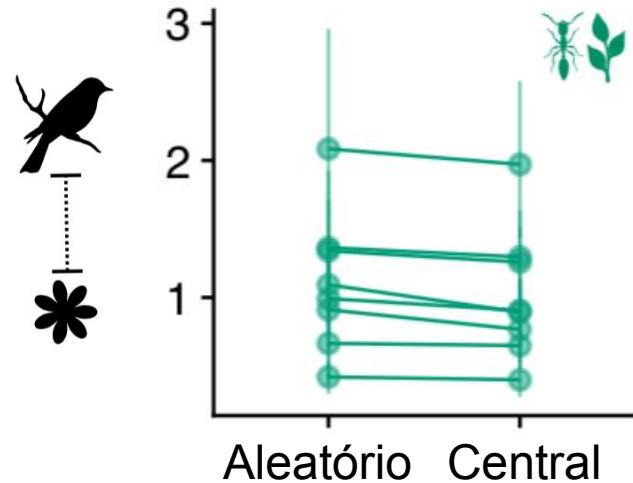
Aleatório

Central

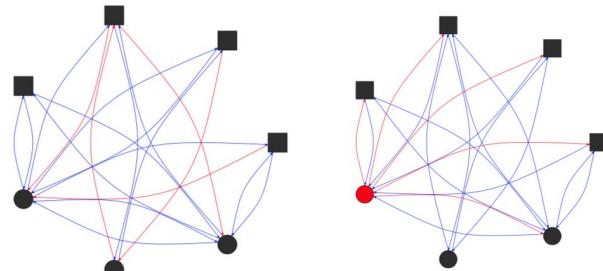
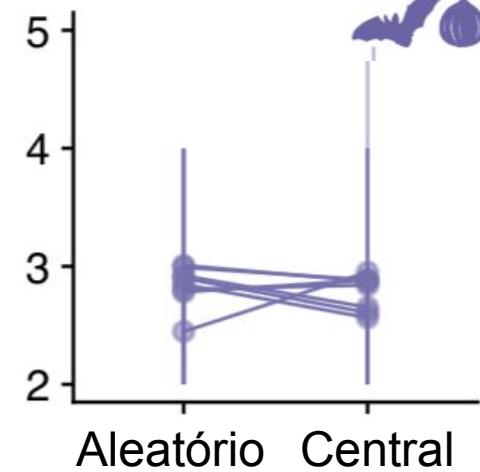
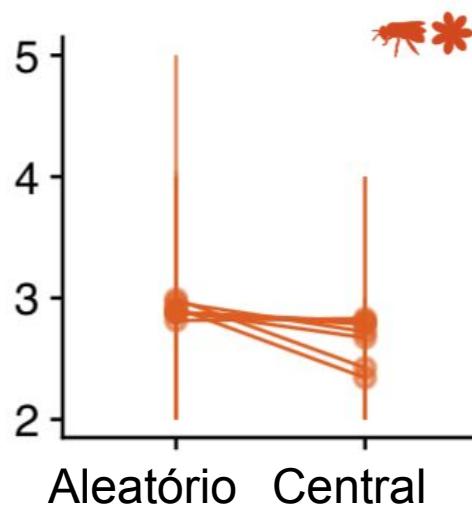
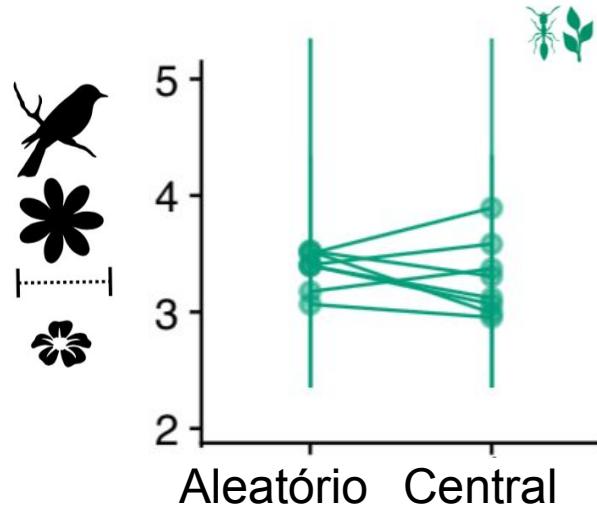
Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



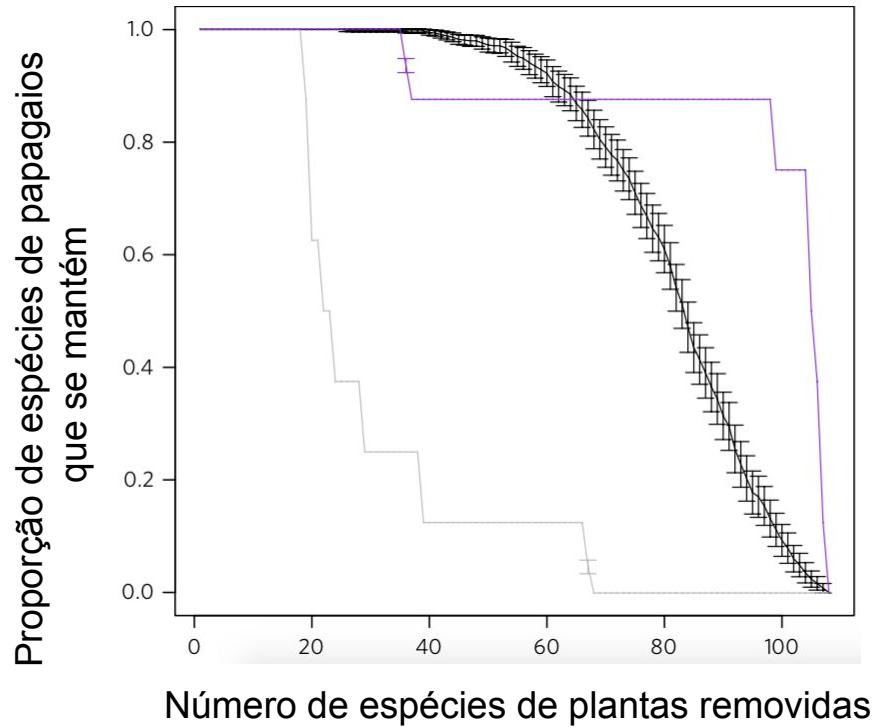
# Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



# Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



# Espécies exploradoras exclusivas amplificam o efeito da exploração da evolução de traços?



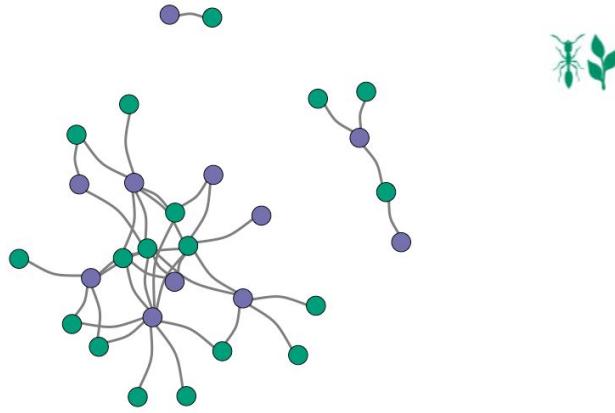
- Centralidade pode não ter uma relação direta com efeitos na rede
- Em simulações de coextinções, a posição da interação importa



# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - **Estrutura de redes e exploração**
- Conclusões Gerais
- Agradecimentos

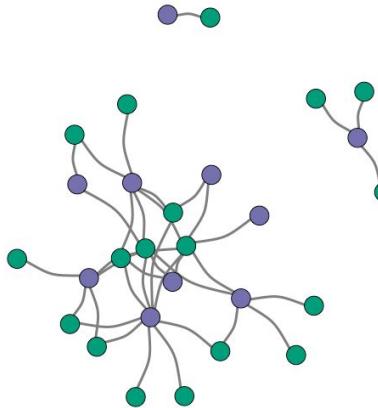
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



## Redes modulares

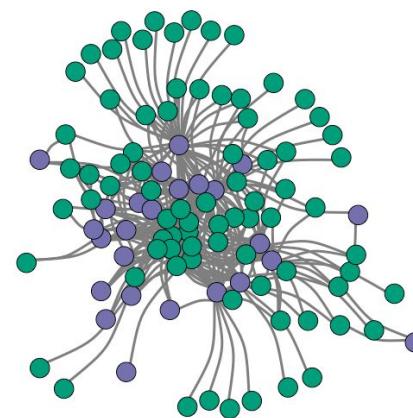
- Mais compartmentalizadas
- Geralmente menos conectadas

# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



## Redes modulares

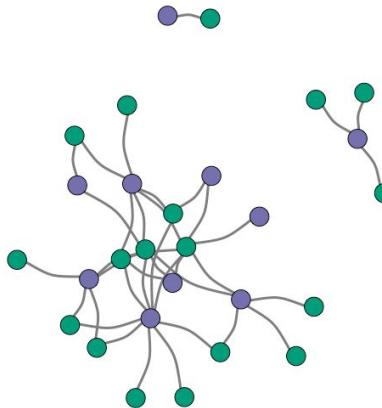
- Mais compartmentalizadas
- Geralmente menos conectadas



## Redes aninhadas

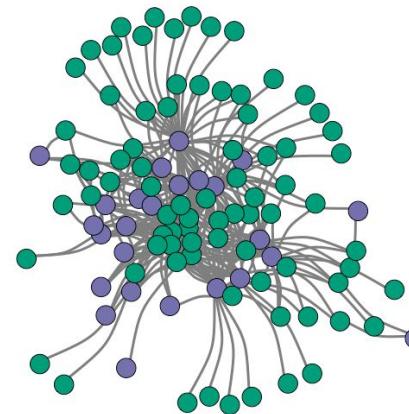
- Espécies generalistas muito conectadas
- Especialistas interagindo apenas com as generalistas

# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



## Redes modulares

- Mais compartmentalizadas
- Geralmente menos conectadas

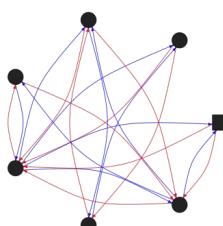
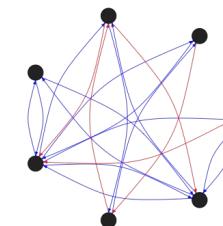
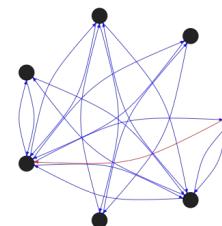
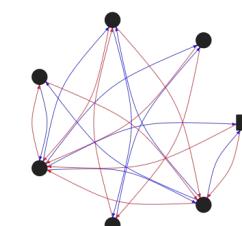
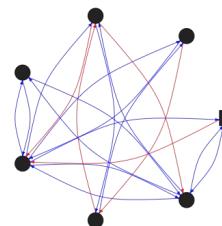
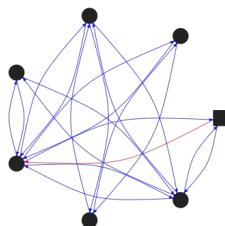


## Redes aninhadas

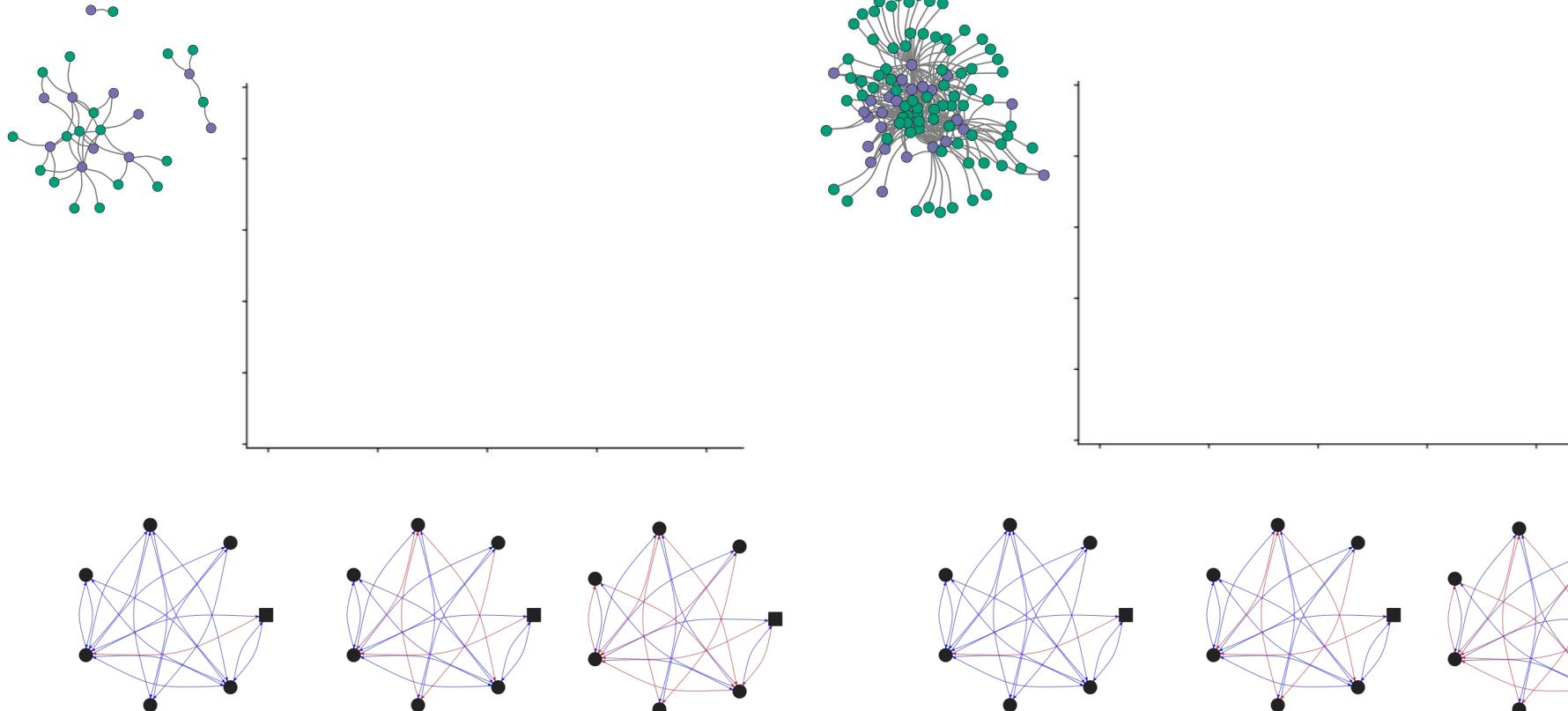
- Espécies generalistas muito conectadas
- Especialistas interagindo apenas com as generalistas

- 24 redes
- Valores de frequência de 0.01 a 1
- 3.000 simulações por rede
- Total de 72.000 simulações

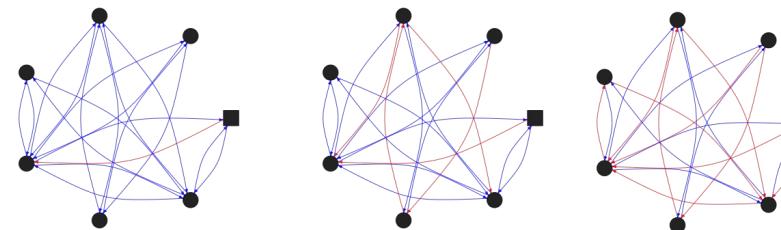
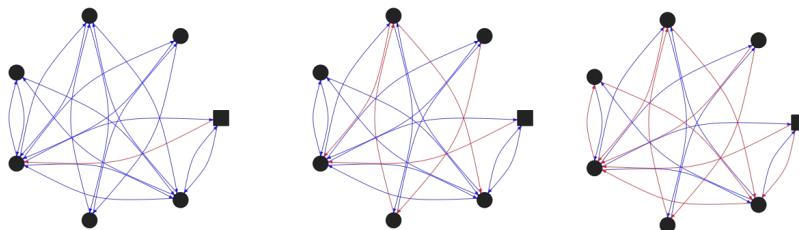
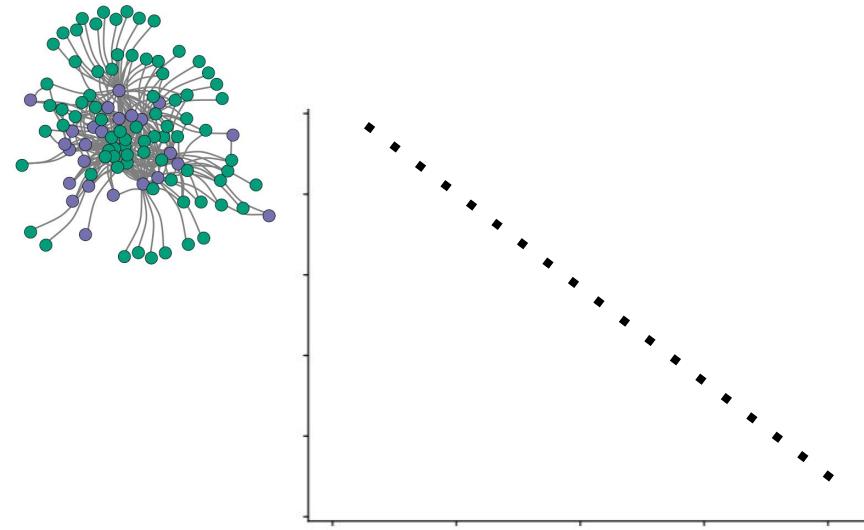
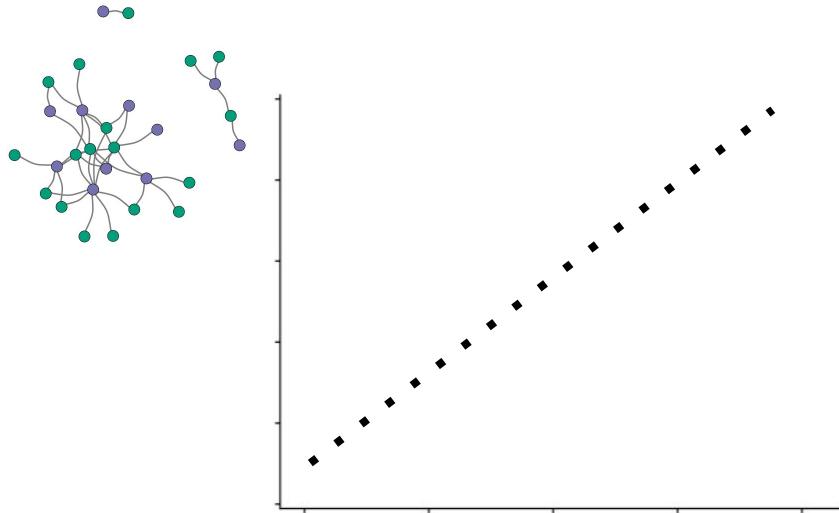
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



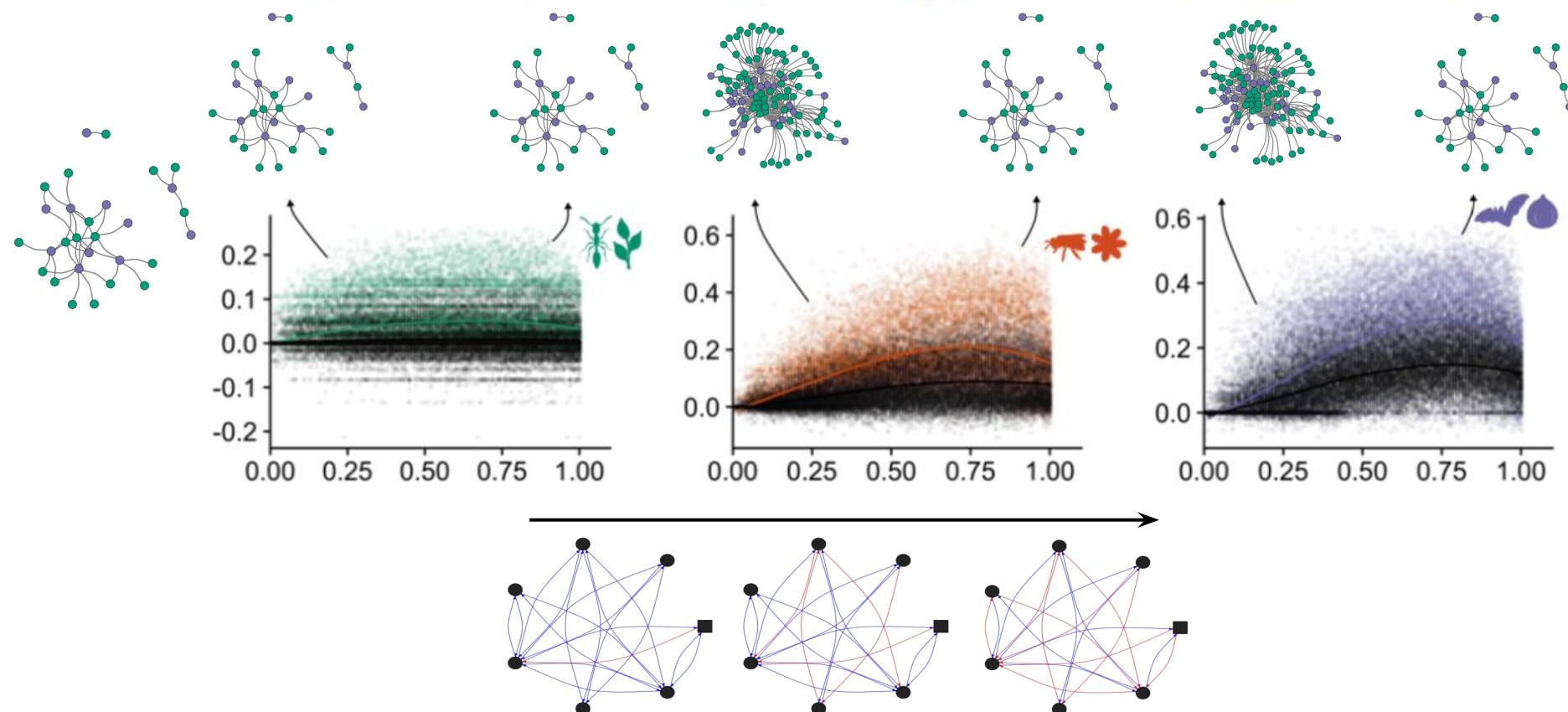
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



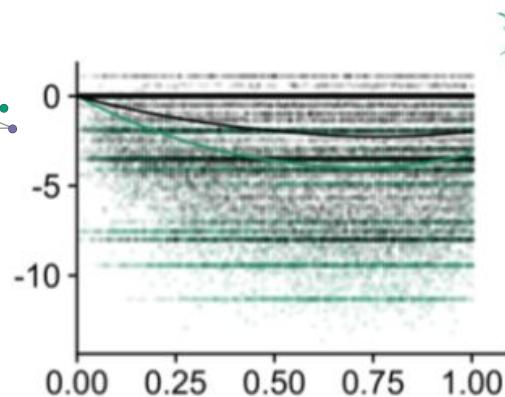
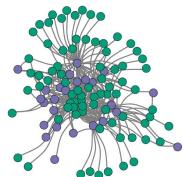
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



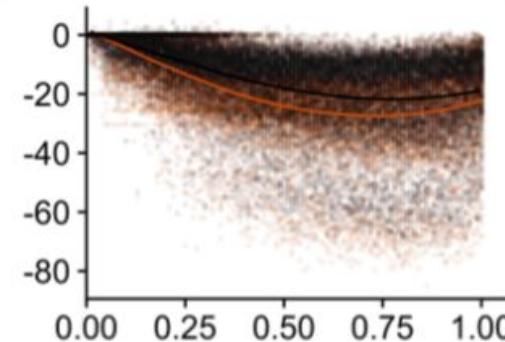
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



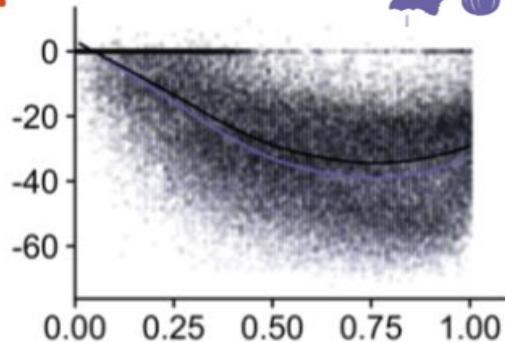
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



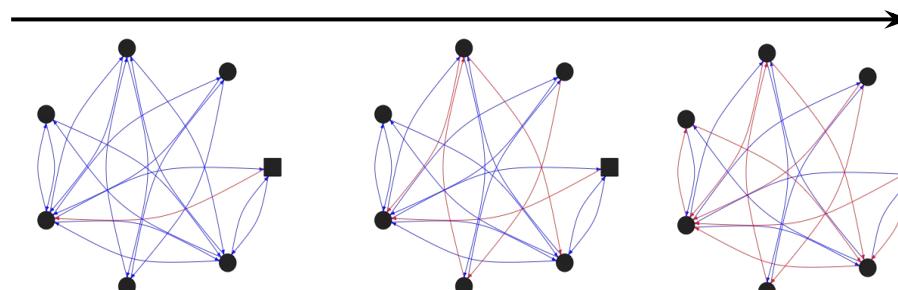
Ant



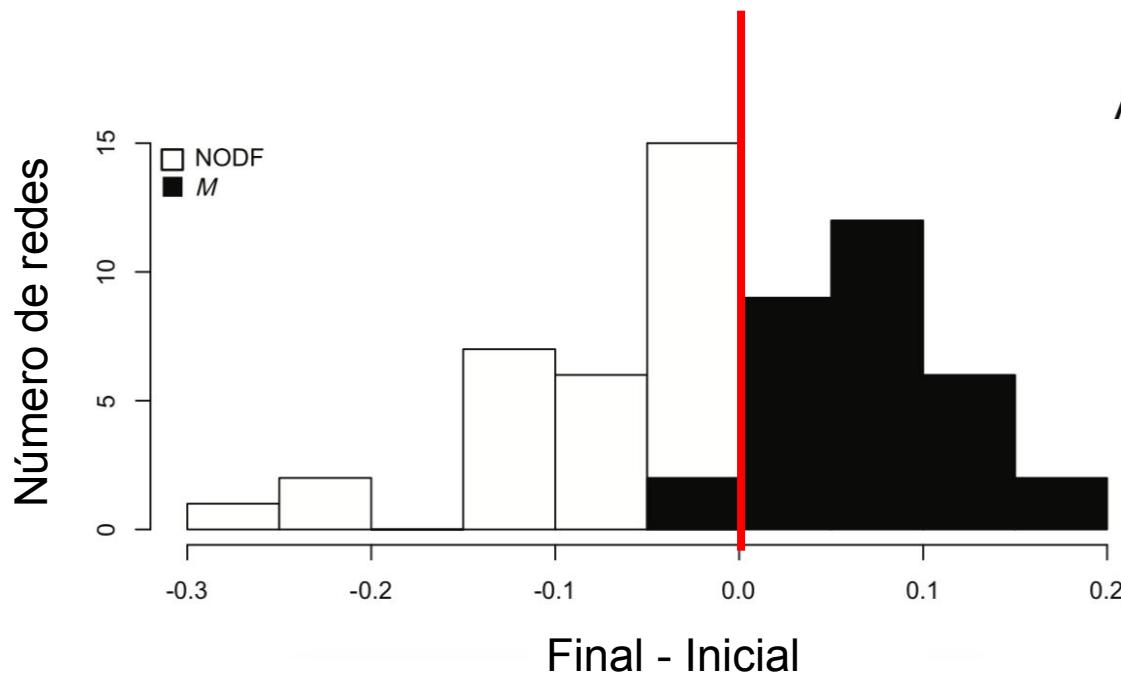
Bee



Bat



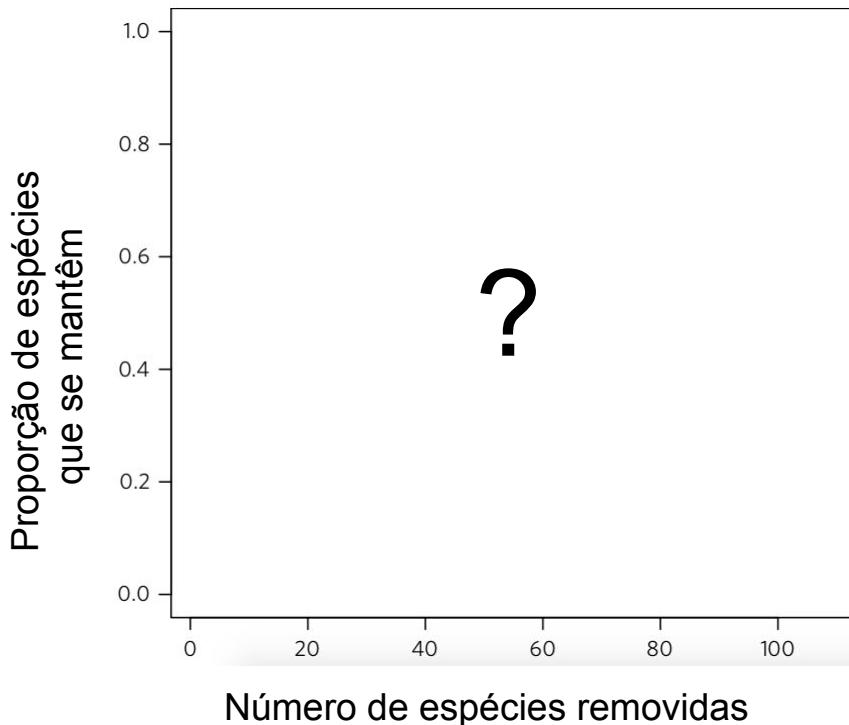
# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



A

- Redes modulares emergem em antagonismos devido a remoção de interações

# Qual o efeito da exploração na estrutura das redes de mutualismos?



- Redes modulares emergem em antagonismos devido a perda de interações
- Coextinções como próximo passo nessas análises: a rede se mantém coesa quando considerarmos extinções secundárias?

# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- **Conclusões Gerais**
- Agradecimentos

# Conclusões gerais

- Exploração gera disparidade fenotípica em redes de mutualismos

# Conclusões gerais

- Exploração gera disparidade fenotípica em redes de mutualismos
- Exploração gera aumento e diminuição de grupos de espécies de traços semelhantes em redes de mutualismos

# Conclusões gerais

- Exploração gera disparidade fenotípica em redes de mutualismos
- Exploração gera aumento e diminuição de grupos de espécies de traços semelhantes em redes de mutualismos
- O efeito da exploração não depende da centralidade do explorador, mas provável que dependa da posição da interação de exploração

# Conclusões gerais

- Exploração gera disparidade fenotípica em redes de mutualismos
- Exploração gera aumento e diminuição de grupos de espécies de traços semelhantes em redes de mutualismos
- O efeito da exploração não depende da centralidade do explorador, mas provável que dependa da posição da interação de exploração
- Exploração gera redes mais compartmentalizadas e menos conectadas do que esperado ao acaso

# Conclusões gerais

- Exploração gera disparidade fenotípica em redes de mutualismos
- Exploração gera aumento e diminuição de grupos de espécies de traços semelhantes em redes de mutualismos
- O efeito da exploração não depende da centralidade do explorador, mas provável que dependa da posição da interação de exploração
- Exploração gera redes mais compartmentalizadas e menos conectadas do que esperado ao acaso



# Hoje, eu vou falar:

- Introdução
- Modelo Coevolutivo
  - Frequência de exploração e coevolução
  - Influência de exploradores exclusivos
  - Estrutura de redes e exploração
- Conclusões Gerais
- **Agradecimentos**

# Agradecimentos



# Agradecimentos

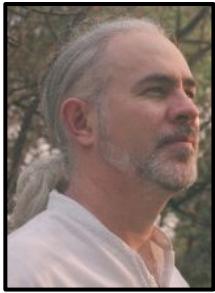


# Agradecimentos

Eduardo Santos



Paulo Inácio



Glauco Machado



# Agradecimentos



Marco Mello



Gustavo Burin (Ari)

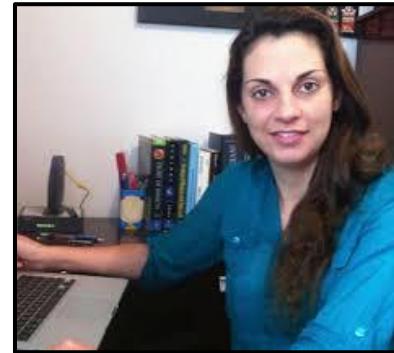
# Agradecimentos



# Agradecimentos



Cecília Andreazzi



Carolina Reigada



Irina Barros



Lucas Medeiros



Carine Emer

# Agradecimentos



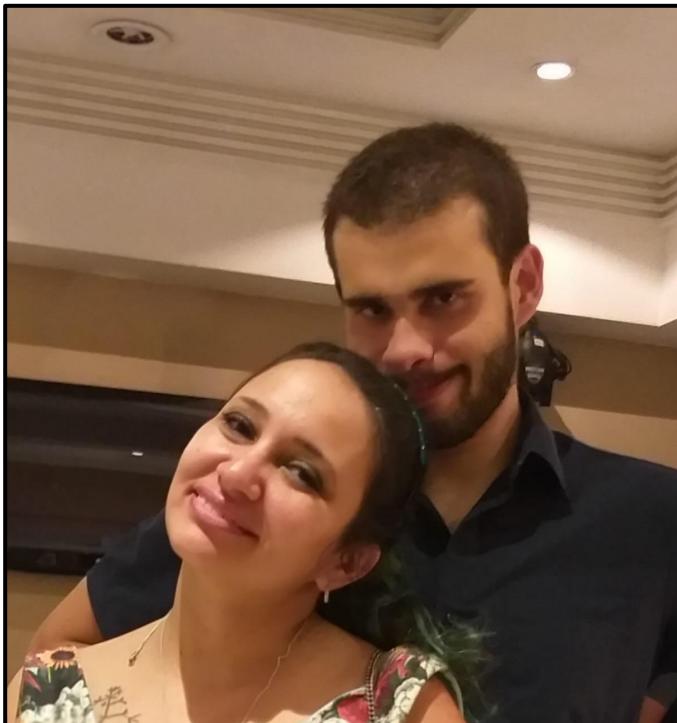
# Agradecimentos



# Agradecimentos



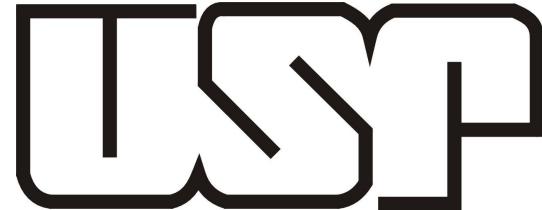
# Agradecimentos



# Agradecimentos



*instituto  
de biociências*



# Agradecimentos

Muito obrigado por me  
acompanhar até aqui



*Trigona spinipes* por Rodolfo Guarnieri Batista