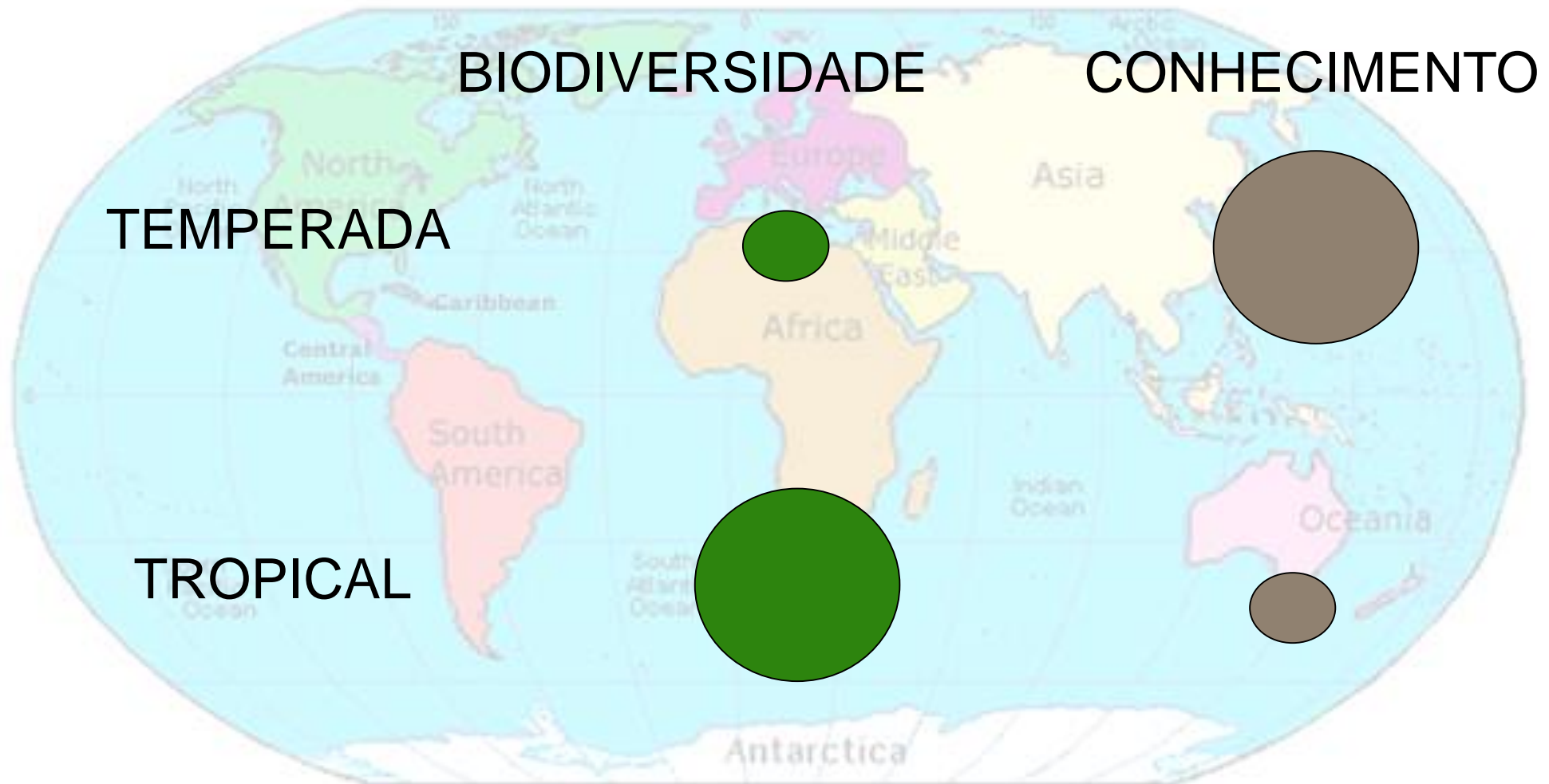


# Influências Ambientais em múltiplas escalas sobre a biodiversidade aquática no Cerrado

Diego Rodrigues Macedo

# Ecossistemas Aquáticos Continentais





## Ameaças

- Poluição
- Degradação habitats
- Modificação fluxo



- Simplificação habitats
- Morte organismos
- Redução Diversidade

# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

- Utilizado por dois dos maiores programas de biomonitoramento em larga escala do mundo:
  - EUA, Agência de Proteção Ambiental (EPA);
  - Países da Comunidade Européia (CE).
- **Integra** diversos atributos **ecológicos**, evitando a seleção de determinado critério isolado que possa resultar em diagnósticos menos confiáveis do que o conjunto de medidas. (Karr *et al.*, 1986)
- Capacidade de **avaliar a dimensão da perturbação no ecossistema** aquático, além de atribuir um grau para os impactos em sua diversidade e estrutura.

# Gradiente de Condições Biológicas: Respostas Biológicas para Níveis Crescentes de Estresse

## Níveis de Condições Biológicas

Estrutura natural, funcional, e integridade taxonomica preservadas.

Estrutura e função similares a comunidades naturais com alguns taxa e biomassa extra; as funções dos ecossistemas são integralmente mantidas.

Mudanças evidentes na estrutura devido à perda de alguns taxa nativos raros; mudanças na abundância relativa; funções no nível de ecossistemas integralmente mantidas.

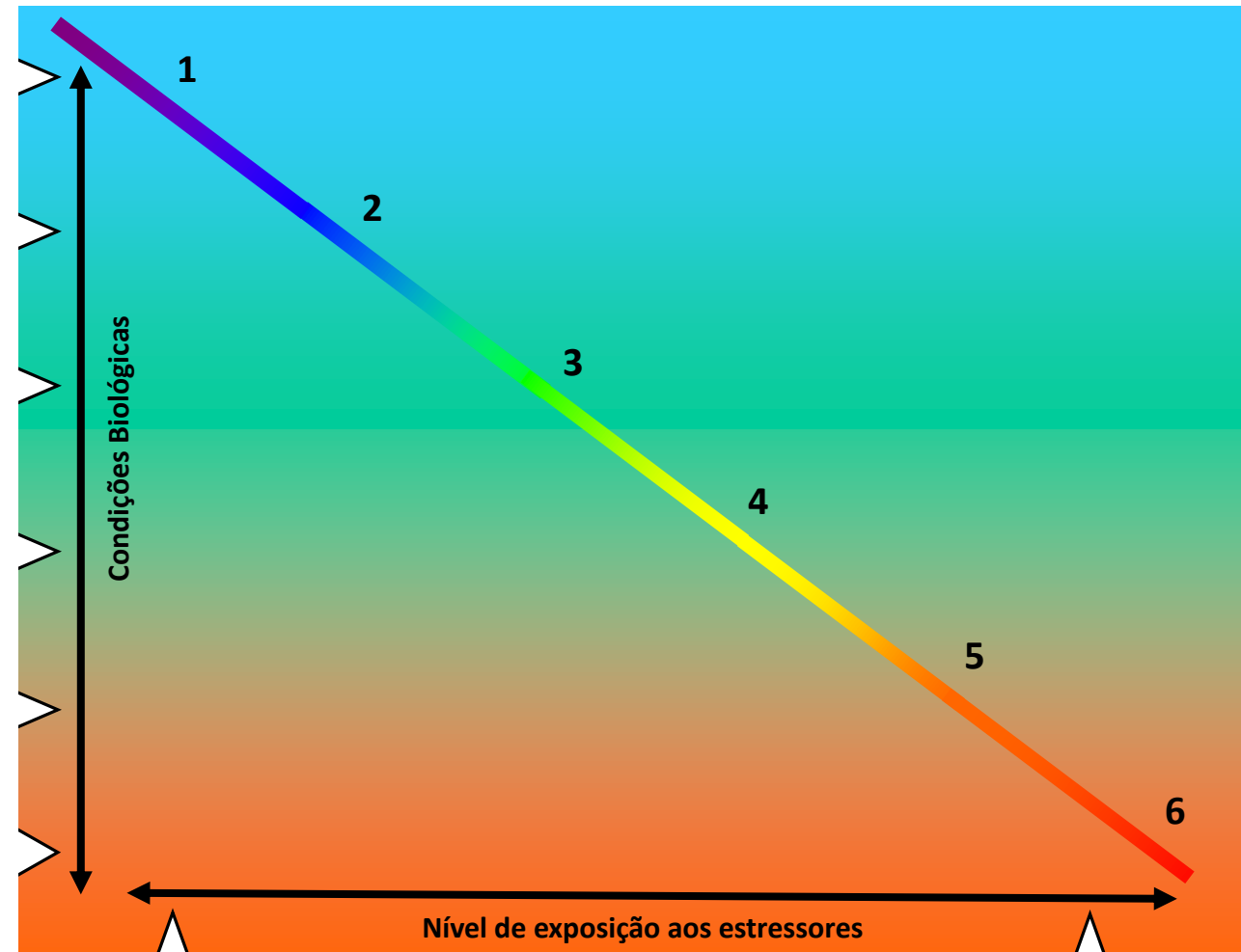
Alguma mudança na estrutura devido à substituição de taxa sensíveis por outros tolerantes; funções do ecossistema mantidas.

Diminuição dos taxa sensíveis; distribuição não balanceada da maioria dos grupos de organismos; o funcionamento do ecossistema apresenta redução na complexidade e redundância.

Mudanças extremas na estrutura e funcionamento de ecossistemas; drásticas mudanças na composição taxonômica; drásticas mudanças nas densidades.

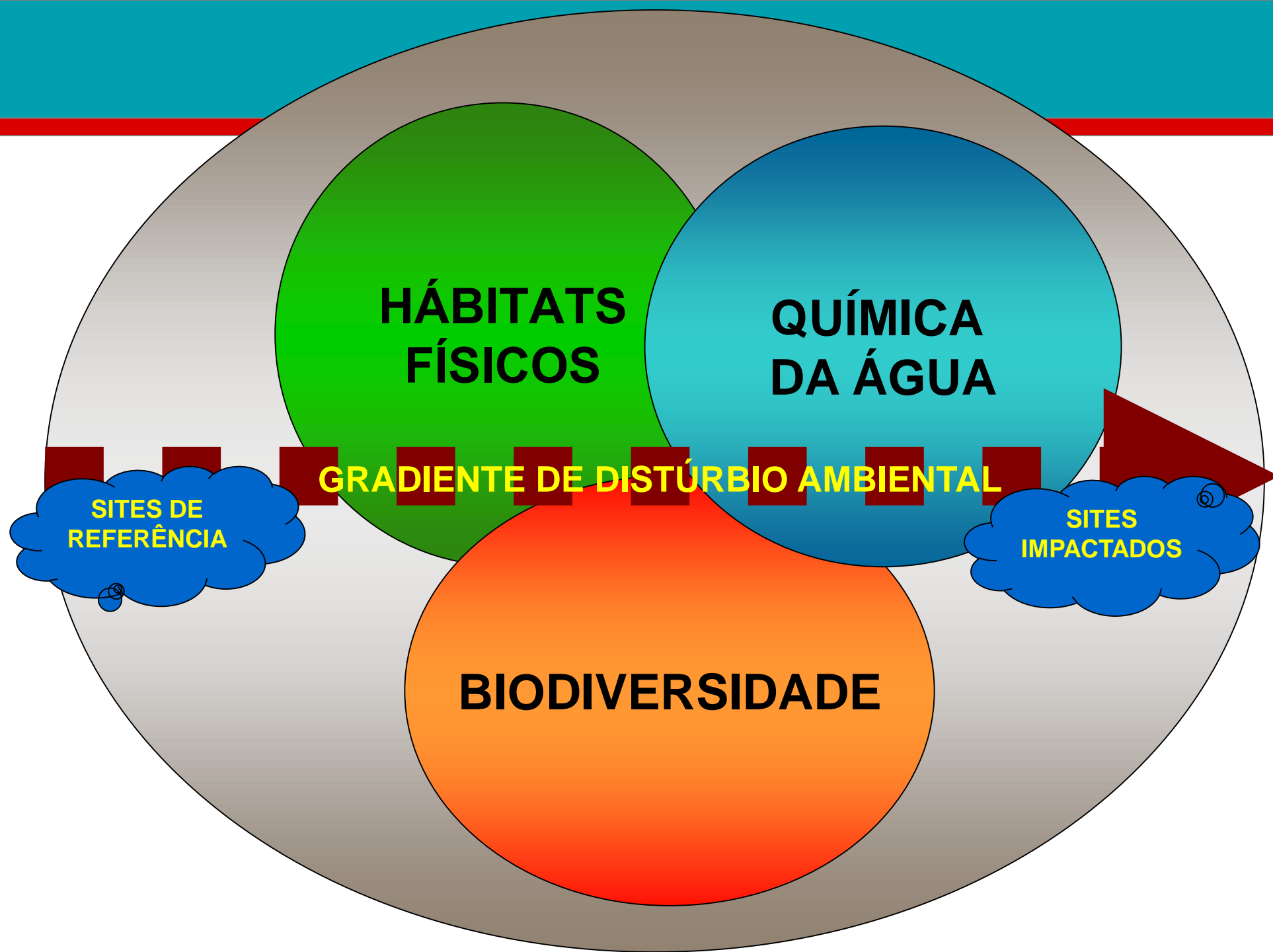
Fonte: Davies & Jackson, 2006

(Ecological Applications)



Bacia, habitat, fluxo e condições químicas da água em condições naturais.

Condições químicas, habitat, e/ou fluxo severamente alterados.



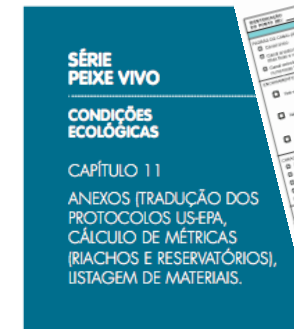


# Parceria US-EPA (EUA)

## US-EPA Protocols



## Tradução protocolos

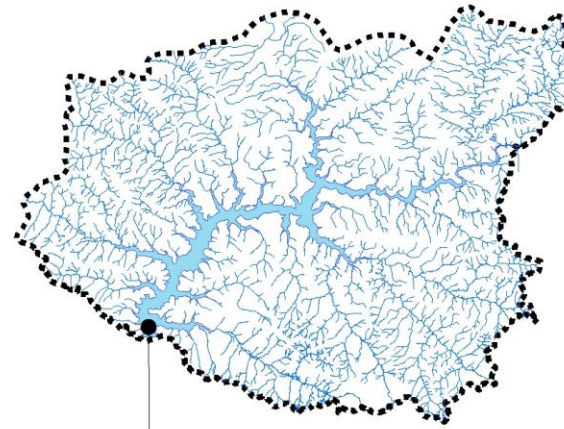


*Adaptações às condições ambientais do cerrado e validação para avaliar mudanças ecológicas*

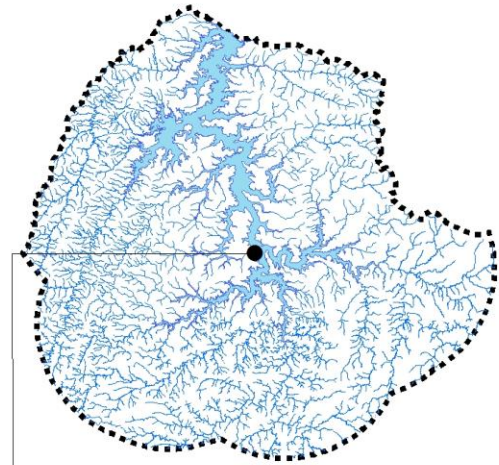
# Área de Estudo



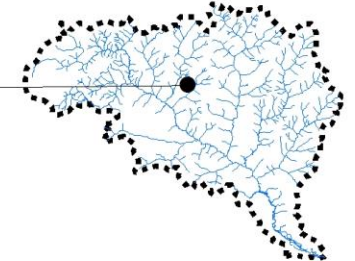
Bacia do Rio Paranaíba  
*Montante de São Simão*



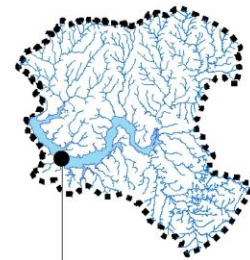
Bacia do Rio São Francisco  
*Montante de Três Marias*



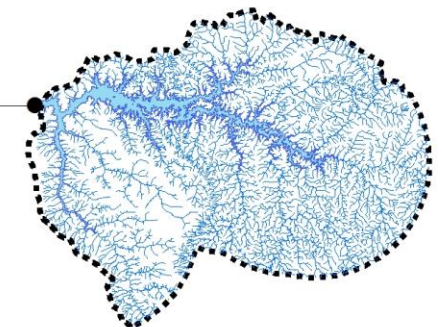
Bacia do Rio Pandeiros



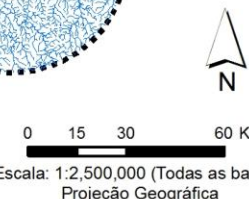
Bacia do Rio Grande  
*Montante de Volta Grande*



Bacia do Rio Araguari  
*Montante de Nova Ponte*



- Bacias estudadas
- Reservatórios
- Drenagem





# Abordagem

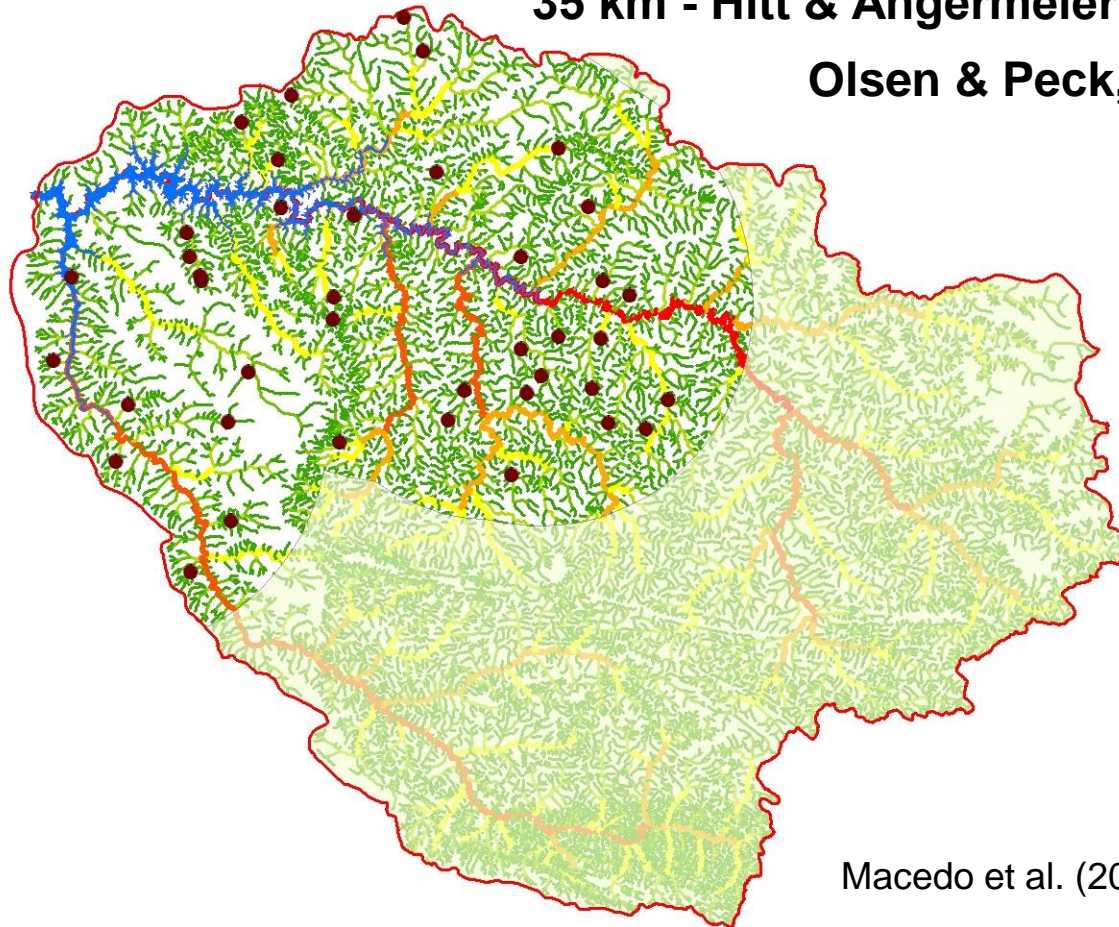
- Desenho amostral

Strahler, 1957

1, 2 e 3 - Kaufmann *et al.*, 1999

35 km - Hitt & Angermeier, 2008

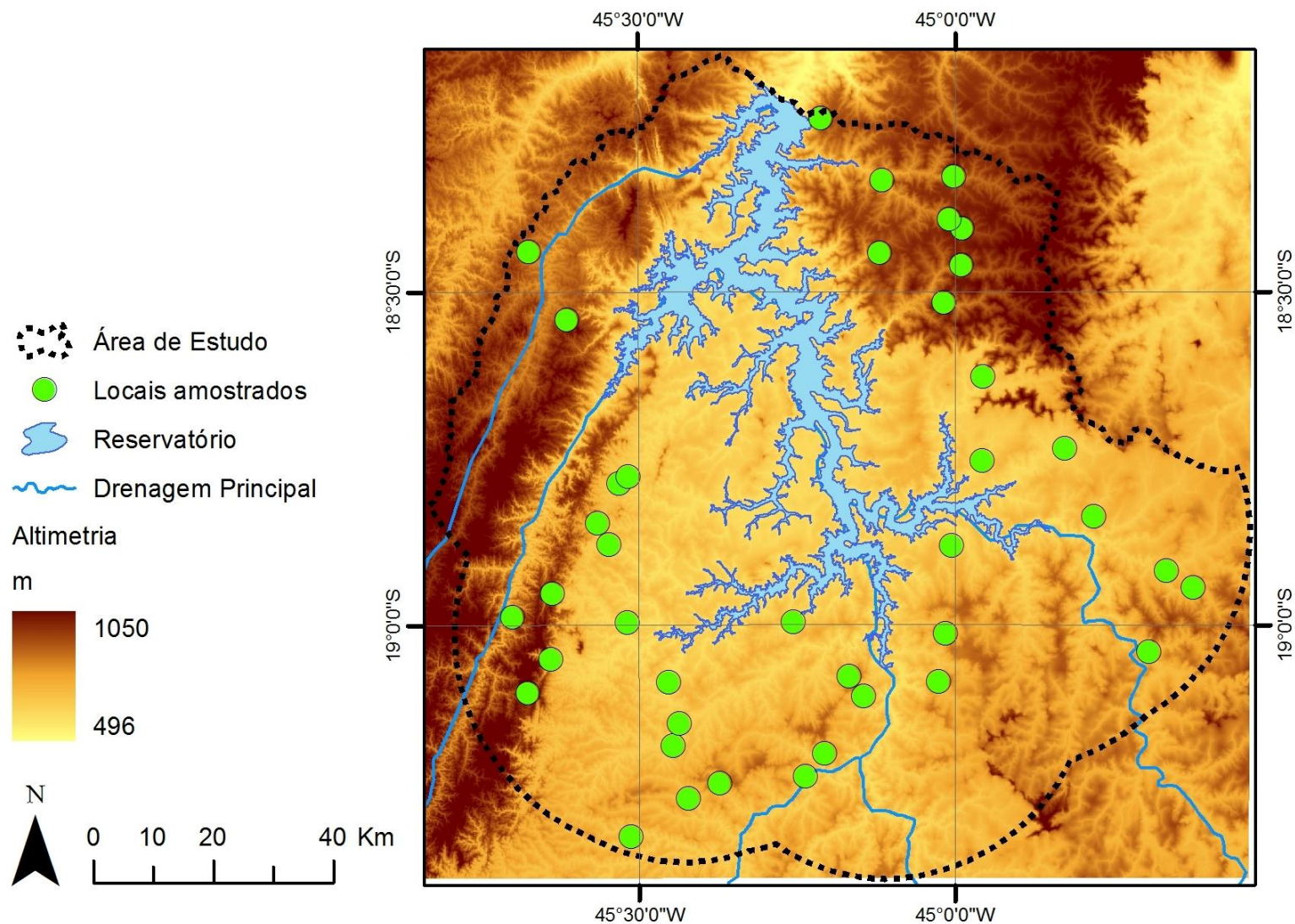
Olsen & Peck, 2008



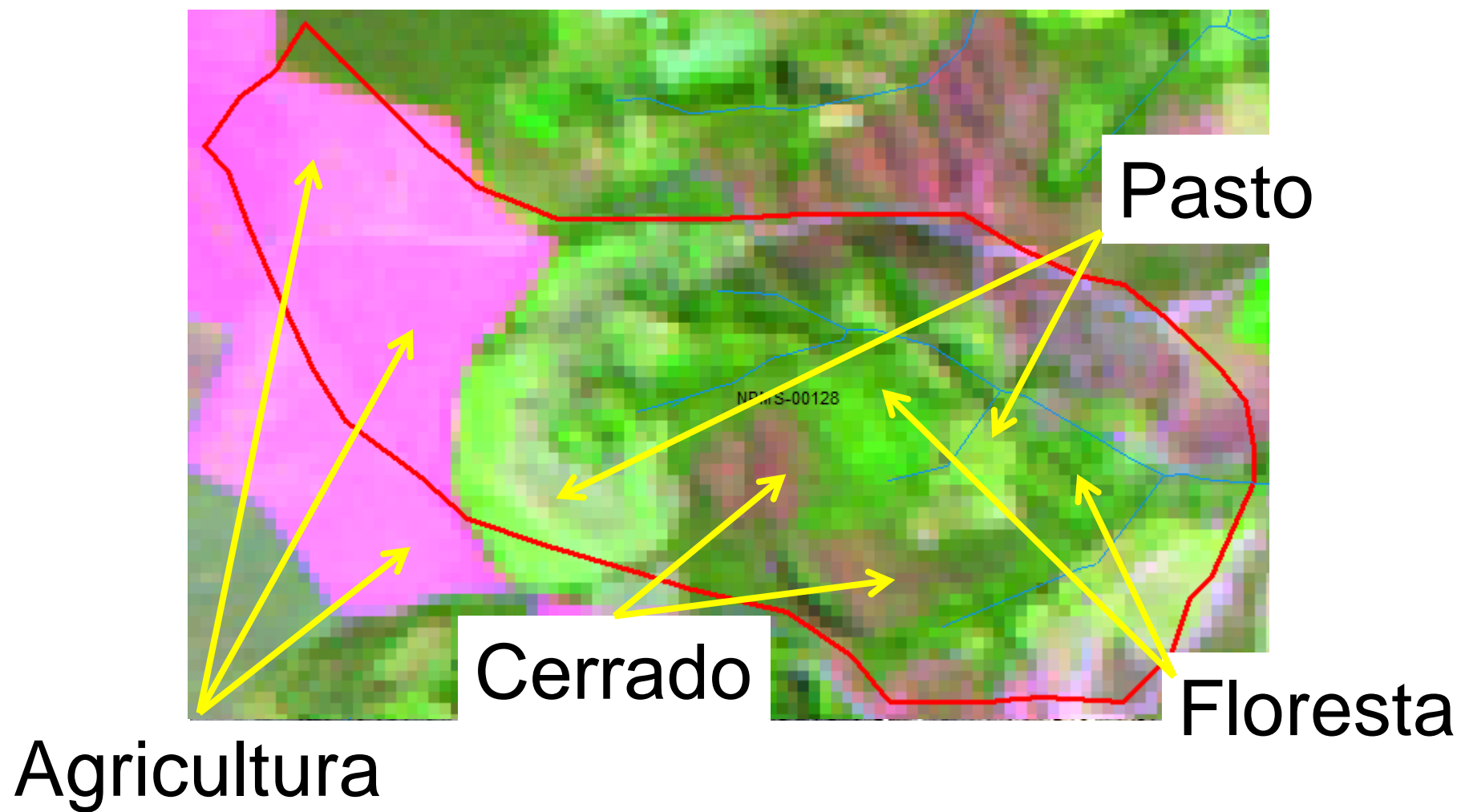
Macedo et al. (2014) – livro IBI-CEMIG

# Paisagem Natural & Uso do solo

## Utilização de Sistemas Informativos Geográficos

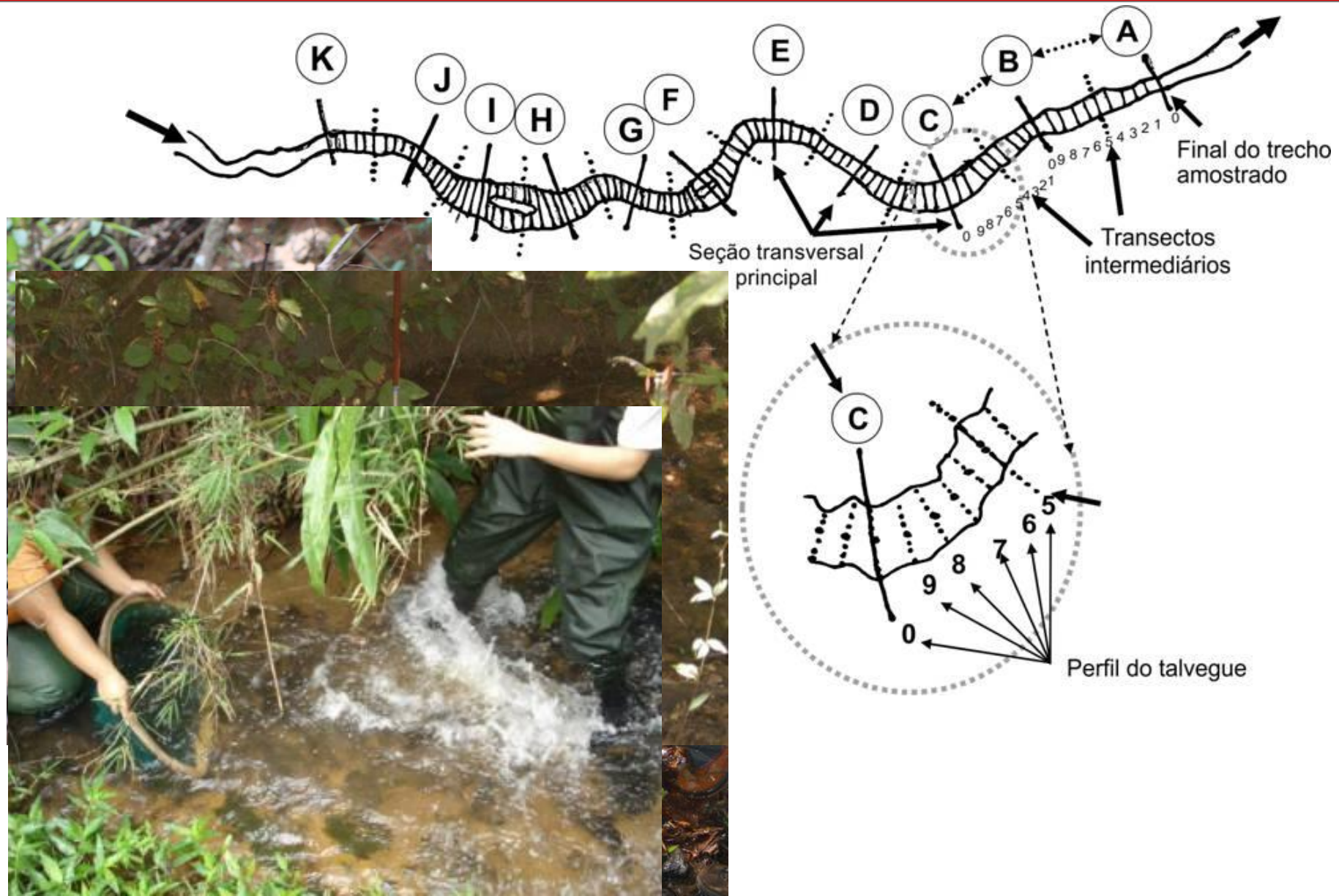


# Paisagem Natural & Uso do solo

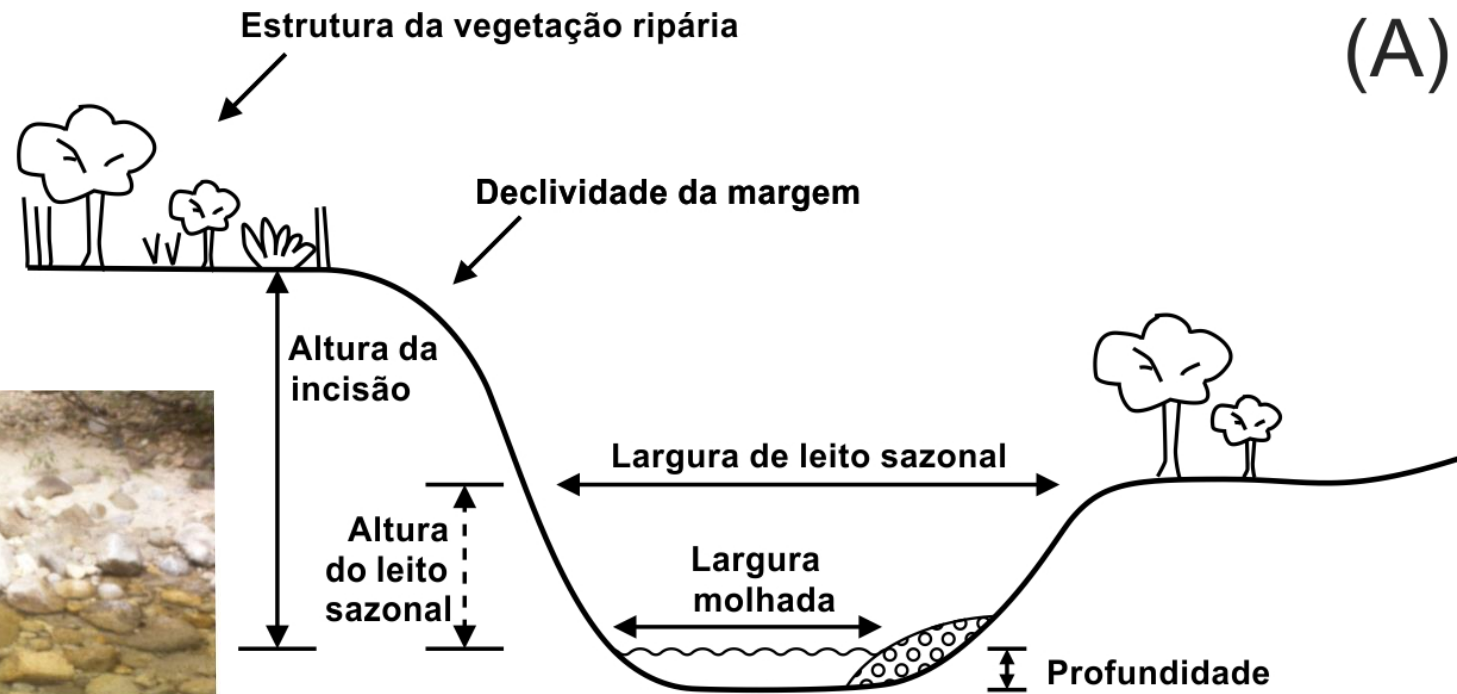
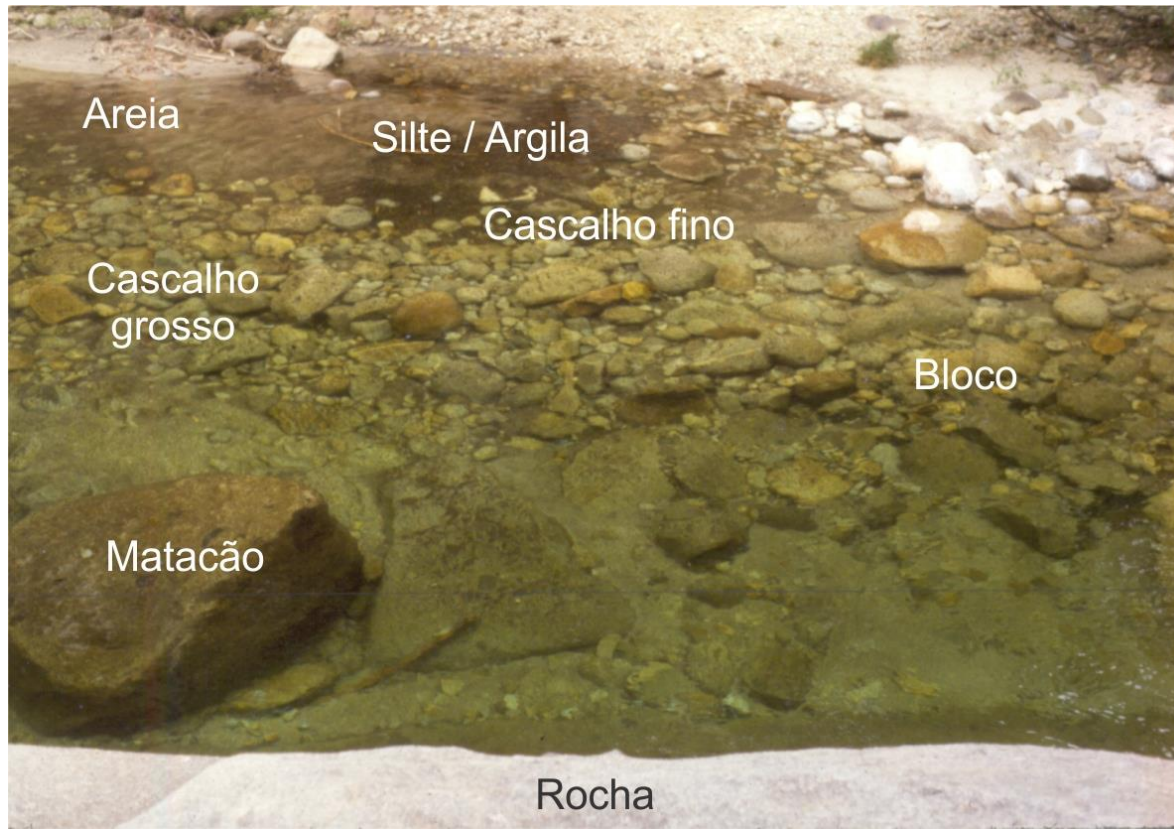




# Habitats locais & biota



# Habitats locais & biota





## Riqueza & Diversidade

SÍTIOS DE REFERÊNCIA



*Sensíveis*



*Tolerantes*

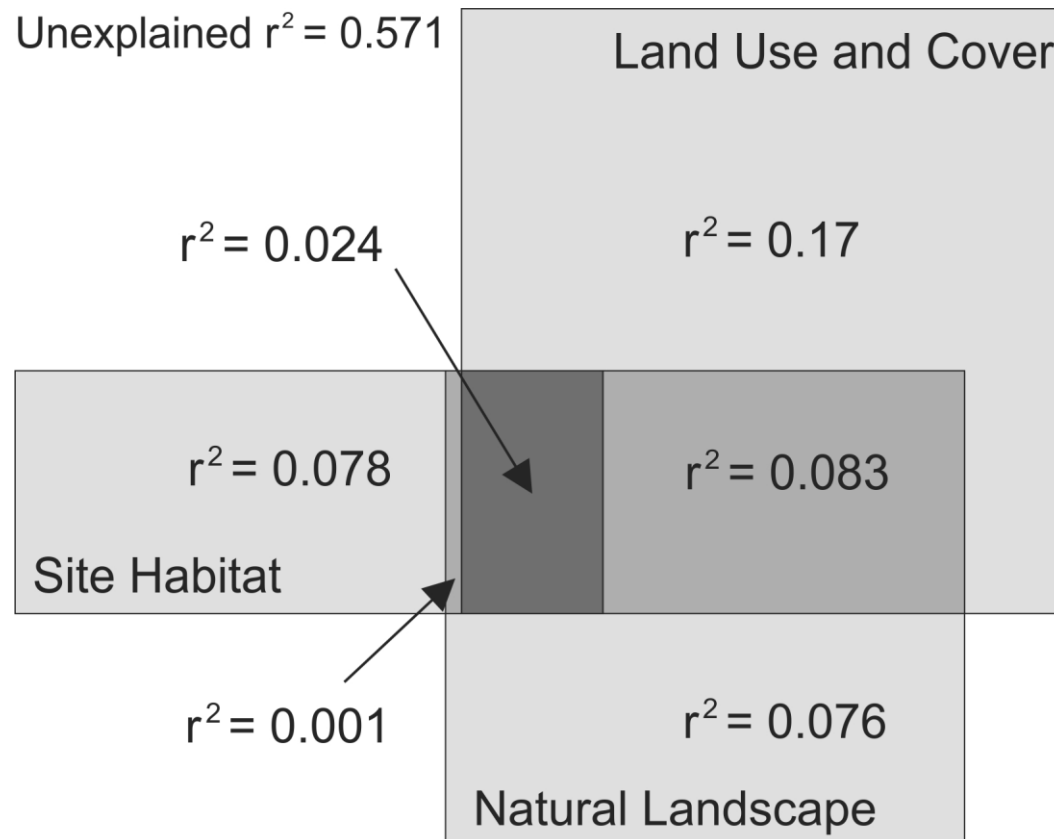


SÍTIOS IMPACTADOS

*Resistentes*

# Efeito de Co-Variância

Riqueza:  
Macroinvertebrados  
Bentônicos

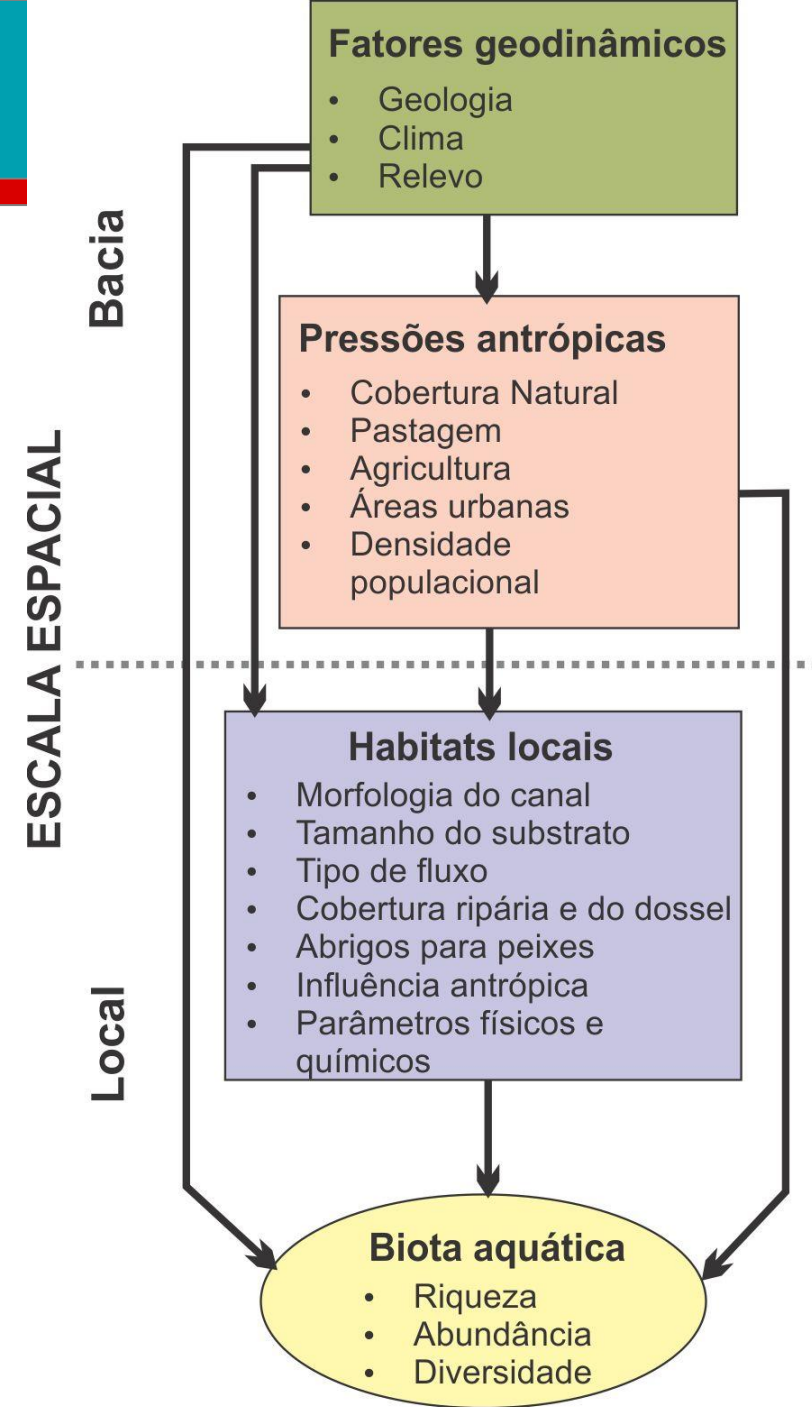


Landscape Ecol  
DOI 10.1007/s10980-014-0036-9

RESEARCH ARTICLE

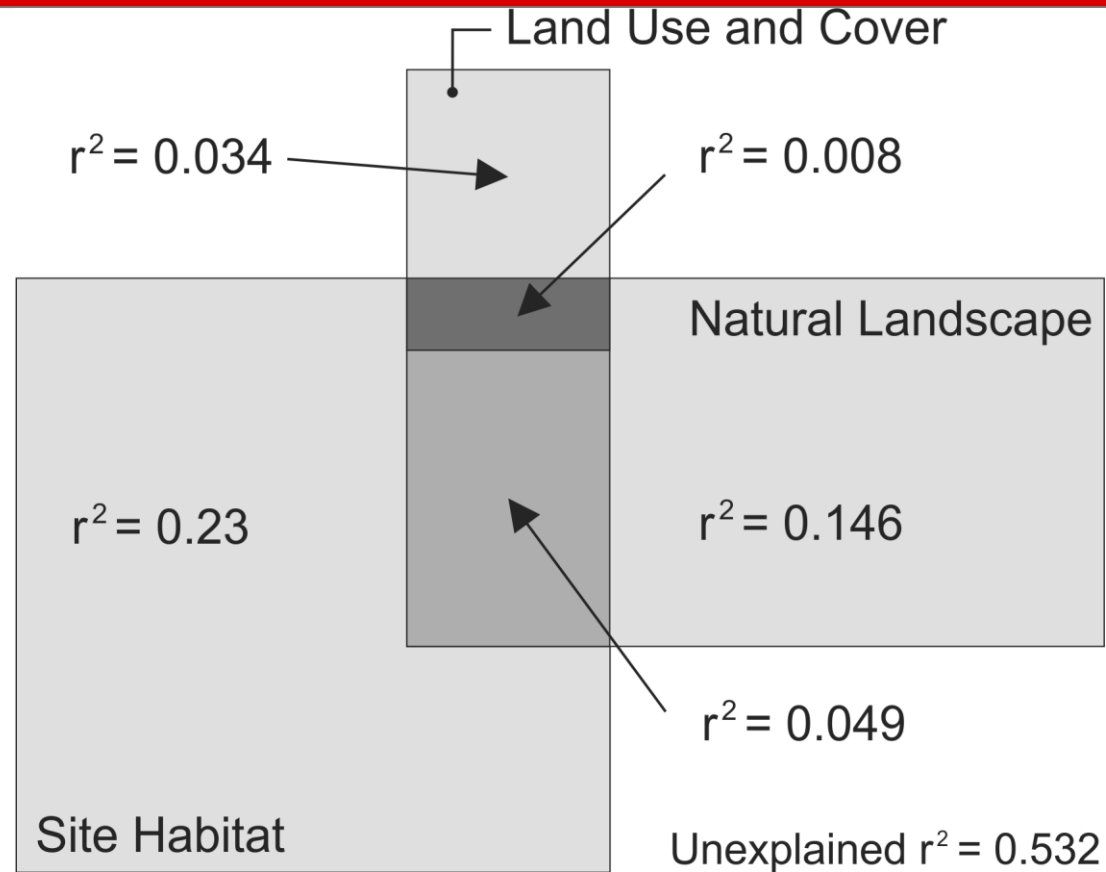
## The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams

Diego R. Macedo · Robert M. Hughes · Raphael Ligeiro · Wander R. Ferreira ·  
Miriam A. Castro · Nara T. Junqueira · Deborah R. Oliveira · Kele R. Firmiano ·  
Philip R. Kaufmann · Paulo S. Pompeu · Marcos Callisto



# Efeito de Co-Variância

Riqueza: Peixes

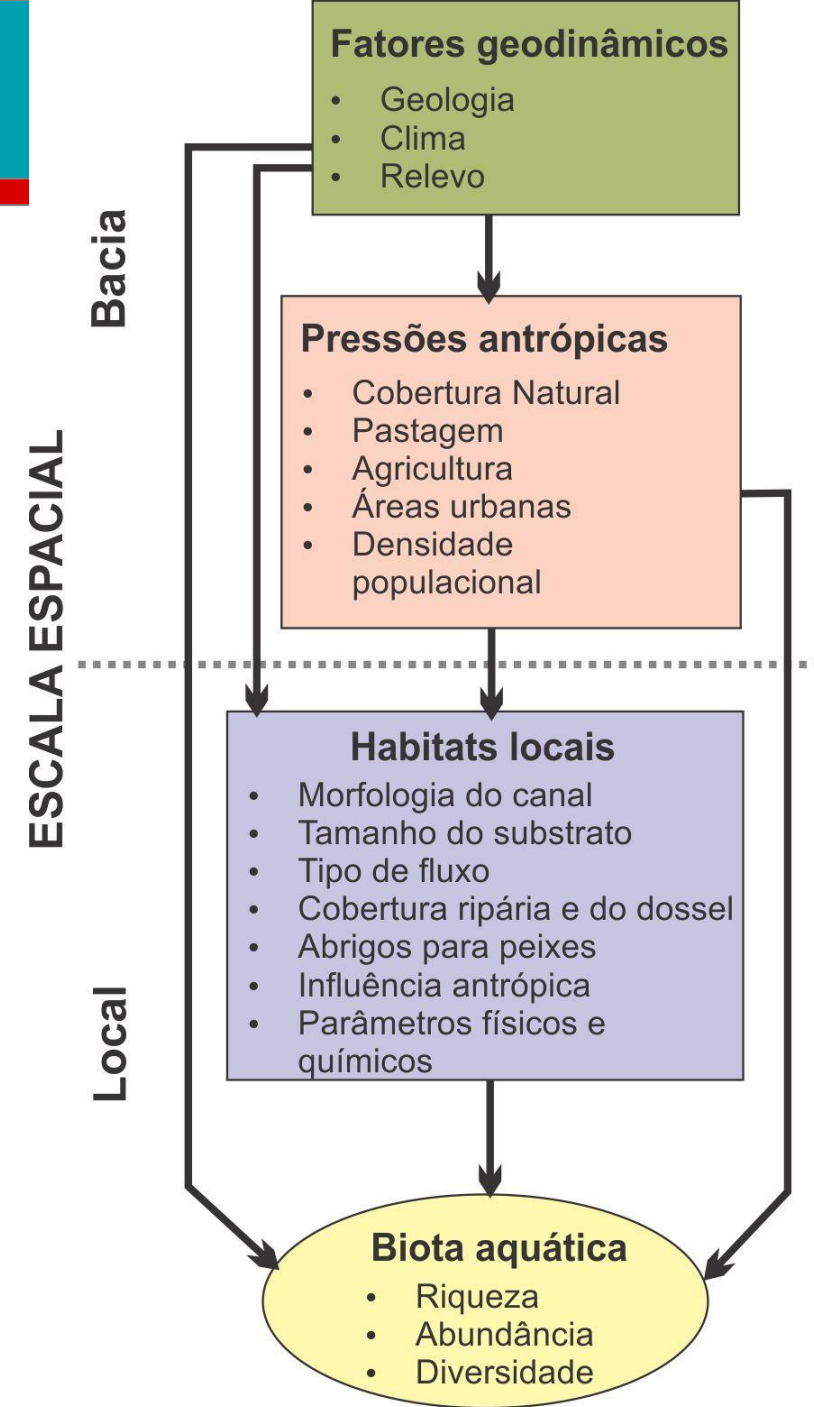


Landscape Ecol  
DOI 10.1007/s10980-014-0036-9

RESEARCH ARTICLE

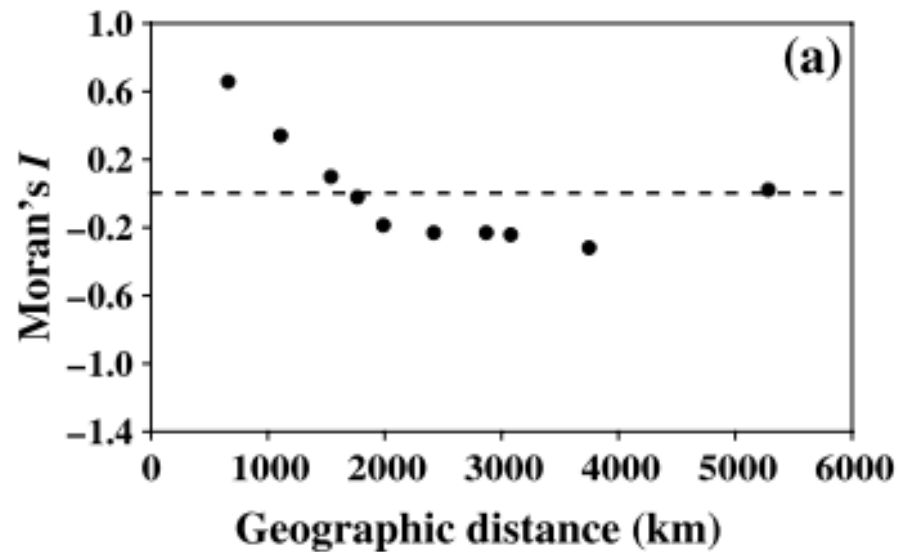
## The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams

Diego R. Macedo · Robert M. Hughes · Raphael Ligeiro · Wander R. Ferreira ·  
Miriam A. Castro · Nara T. Junqueira · Deborah R. Oliveira · Kele R. Firmiano ·  
Philip R. Kaufmann · Paulo S. Pompeu · Marcos Callisto

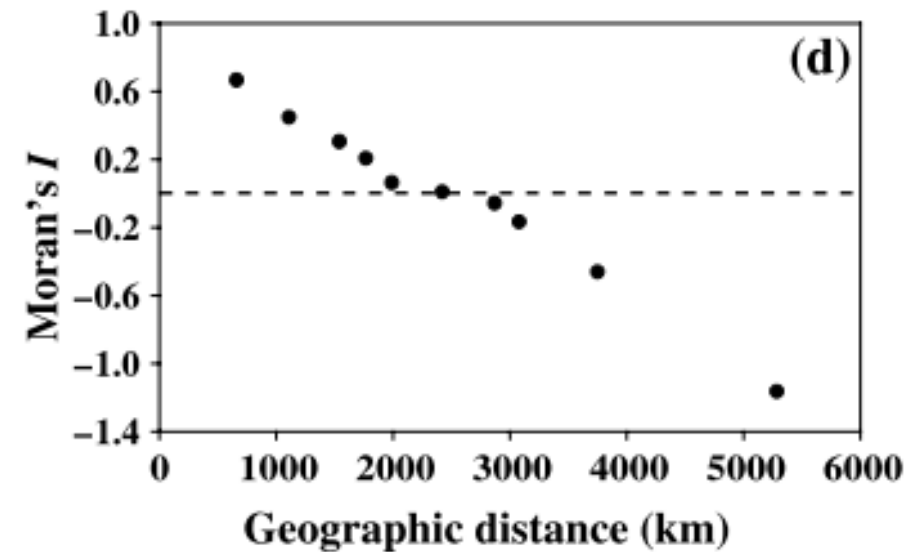


# Ausencia de viés espacial

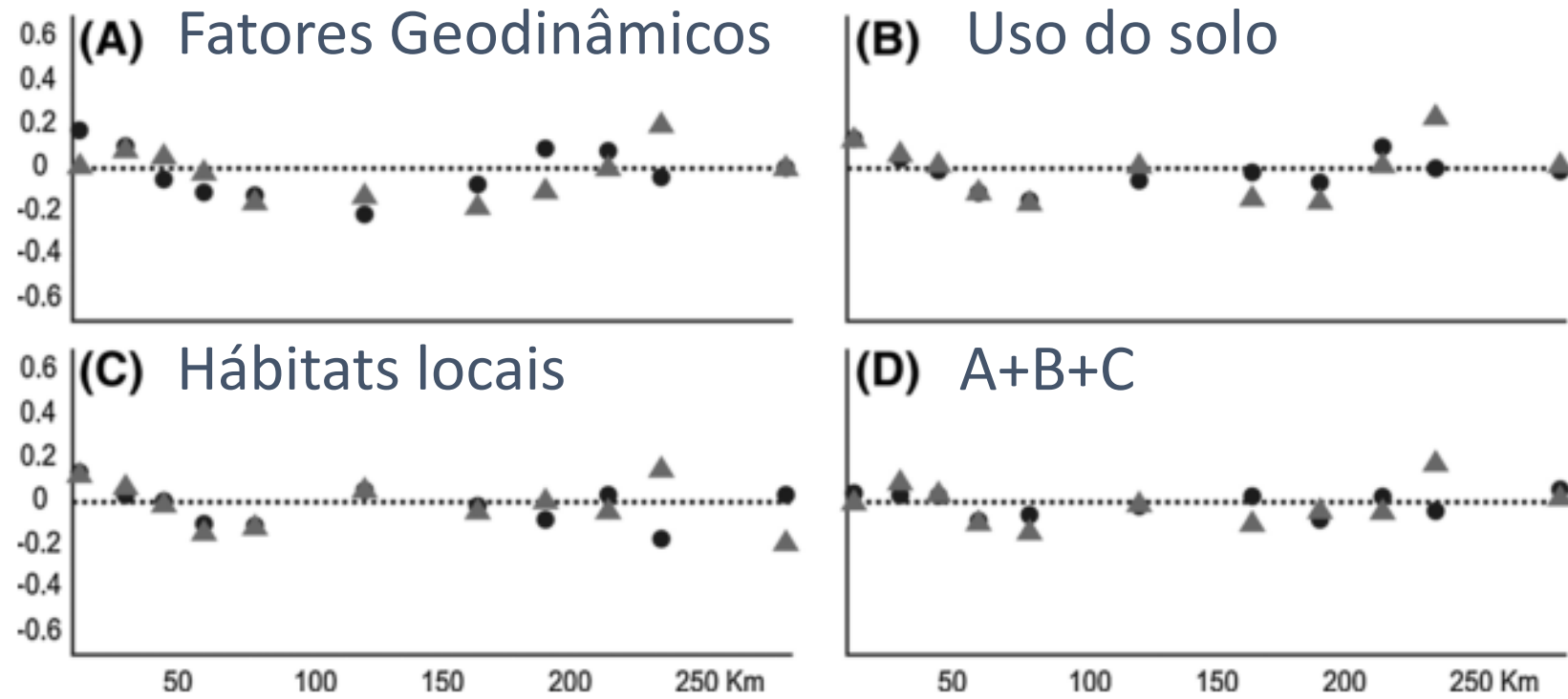
Riqueza



Temperatura



# Ausencia de viés espacial



Landscape Ecol  
DOI 10.1007/s10980-014-0036-9

RESEARCH ARTICLE

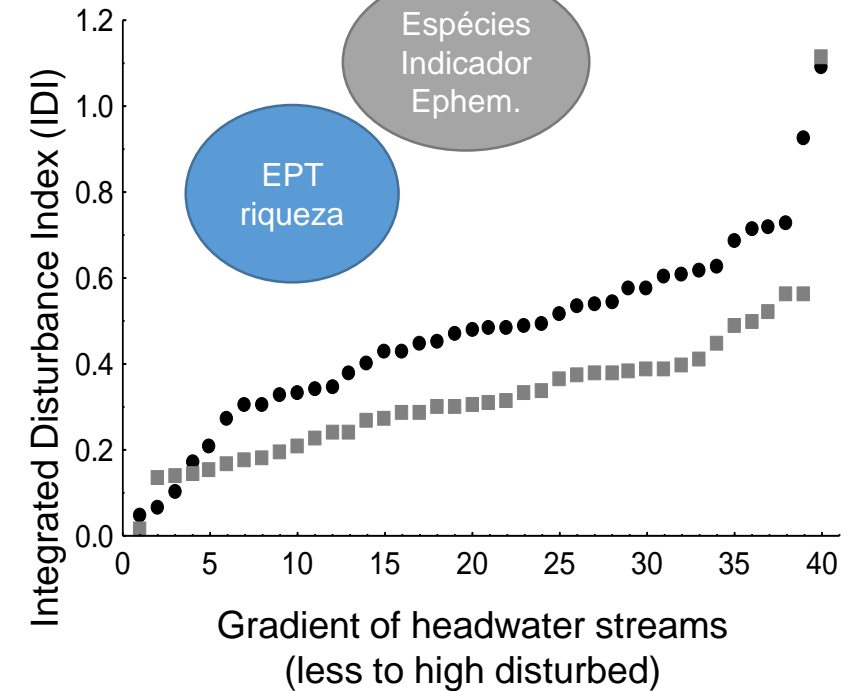
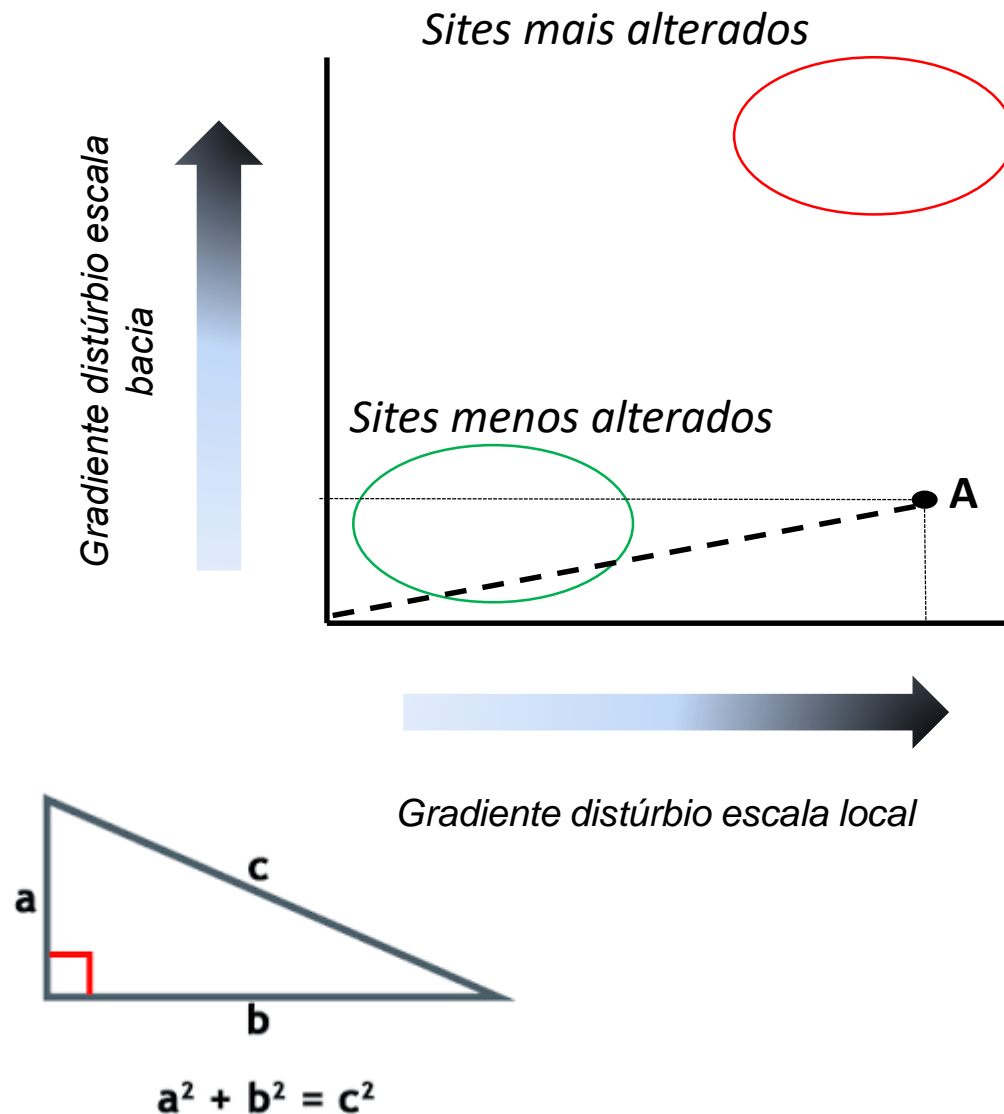
## The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams

Diego R. Macedo · Robert M. Hughes · Raphael Ligeiro · Wander R. Ferreira ·  
Miriam A. Castro · Nara T. Junqueira · Deborah R. Oliveira · Kele R. Firmiano ·  
Philip R. Kaufmann · Paulo S. Pompeu · Marcos Callisto



# Índice de Distúrbio Integrado

Bases para  
Índices  
Multimétricos



Ecological Indicators 25 (2013) 45–57



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)



Original Articles

Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness

Raphael Ligeiro<sup>a,\*</sup>, Robert M. Hughes<sup>b</sup>, Philip R. Kaufmann<sup>c</sup>, Diego R. Macedo<sup>a,d</sup>, Kele R. Firmiano<sup>a</sup>, Wander R. Ferreira<sup>a</sup>, Déborah Oliveira<sup>a</sup>, Adriano S. Melo<sup>e</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>

# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

## Índice de Integridade Biótica (IBI)

### Métricas hábitat físico:

- Morfologia do canal
- Substratos do leito
- Estrutura vegetação ripária
- Fluxos da água
- Abrigos no leito

### Uso do solo

- % cobertura natural
- % pastagem
- % agricultura
- % área urbana

### Qualidade da água

- pH
- Condutividade
- Nutrientes dissolvidos
- Turbidez
- Oxigênio dissolvido

### Áreas de referência:

- Áreas minimamente perturbadas
- Ausência de influência antrópica
- Caracterização regional das áreas

### Traits:

- Tamanho máximo corporal
- Número de ciclos
- Tipo de reprodução
- Tipo de respiração
- Tipo de dispersão

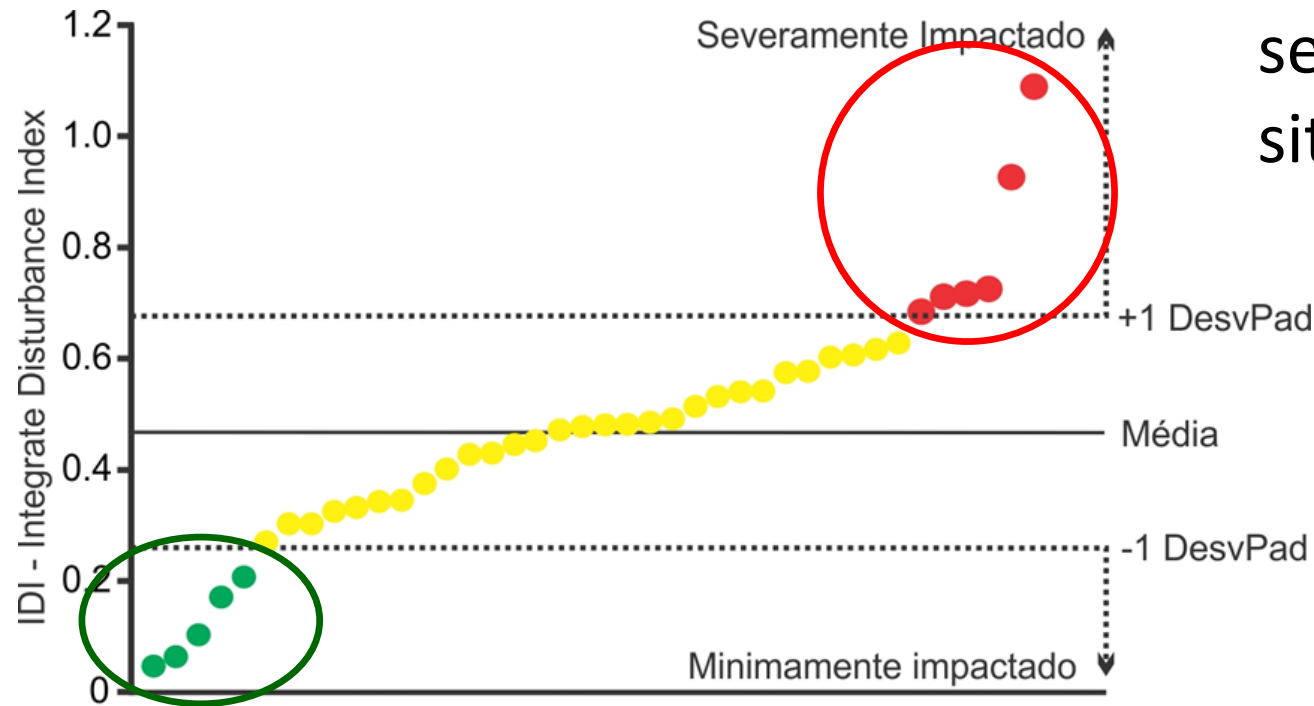
### Métricas biológicas:

- Composição
- Estrutura
- Índices de Diversidade
- Grupos Tróficos
- Tolerância

# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

Identificação a priori

Capacidade das métricas biológicas separarem os sites de referencia dos sites impactados



Ecological Indicators 64 (2016) 132–141



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)

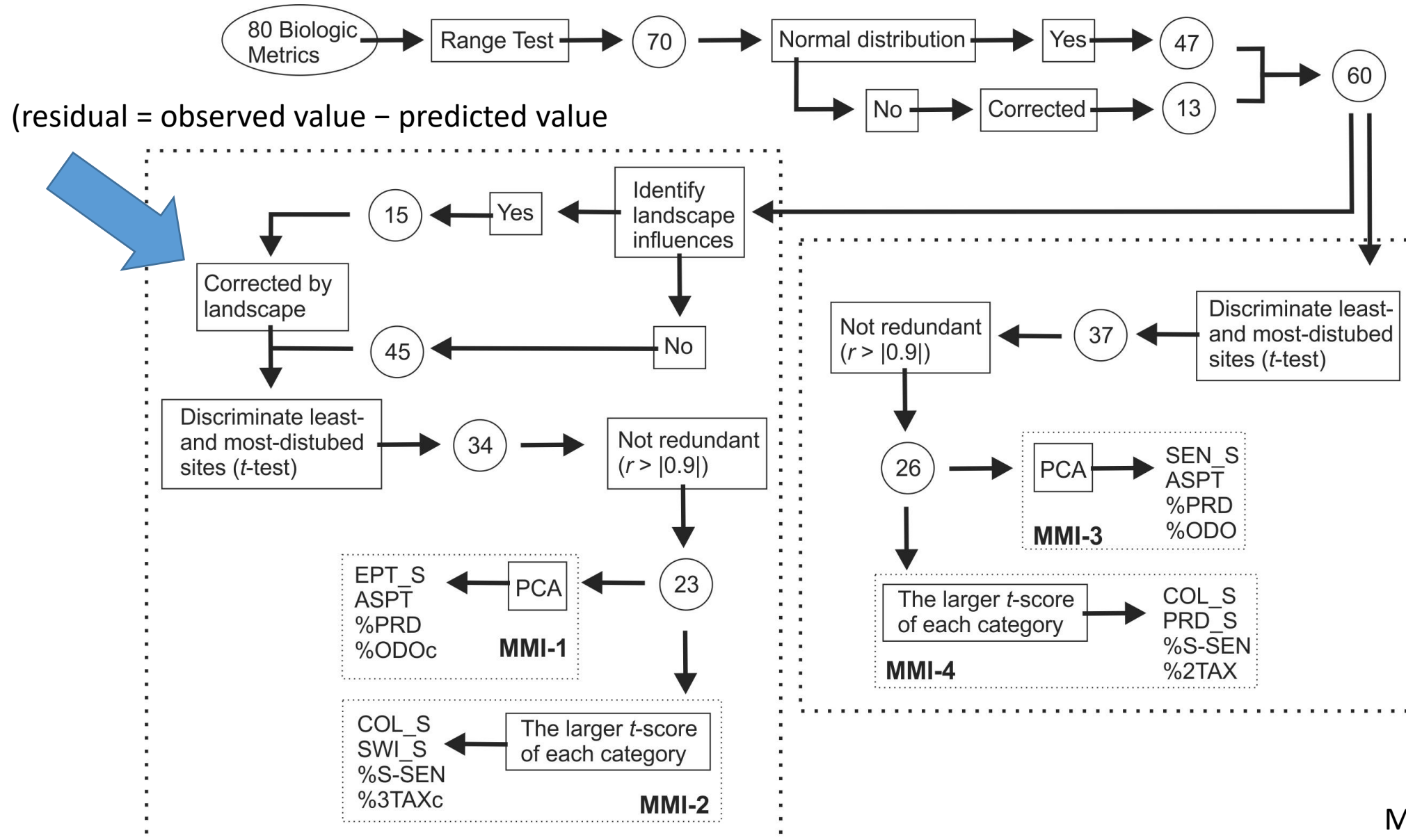


Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams

Diego R. Macedo<sup>a,\*</sup>, Robert M. Hughes<sup>b</sup>, Wander R. Ferreira<sup>a</sup>, Kele R. Firmiano<sup>a</sup>, Deborah R.O. Silva<sup>a</sup>, Raphael Ligeiro<sup>c</sup>, Philip R. Kaufmann<sup>d</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>



# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

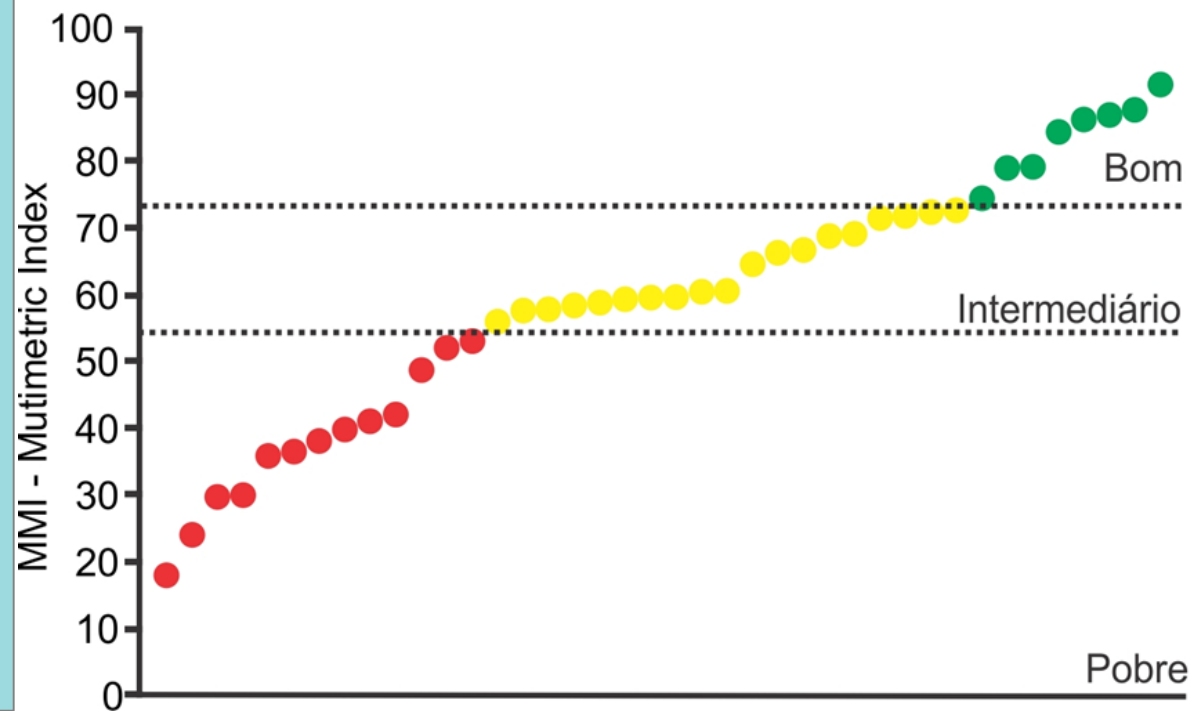


# Índices de Integridade Biótica (Índices Multimétricos)

**Table 3**

Results of the criteria for choosing the best MMI: precision (standard deviation-SD value of MMI at least-disturbed sites), responsiveness ( $t$ -test value of MMI between least- and most-disturbed sites), and sensitivity ( $r^2$  of OLS regression among MMI and anthropogenic stressors). Best performing MMI for each criterion in bold.

Proposal MMIs	Precision	Responsiveness			Sensitivity			
	SD	$t$ -score	$F$	$p$	$r^2$	$F$	Variables	$p$
MMI-1 (Adjusted, PCA)	<b>4.17</b>	<b>7.05</b>	3.7	<0.0001	<b>0.66</b>	35.63	XCMGW+%_NAT	<0.0001
MMI-2 (Adjusted, one each category)	9.84	6.21	2.4	<0.0001	0.65	34.25	XCMGW+%_NAT	<0.0001
MMI-3 (Unadjusted, PCA)	7.39	6.51	1.7	<0.0001	0.61	18.59	XCMGW+%_NAT – DO	<0.0001
MMI-4 (Unadjusted, one each category)	10.19	6.32	1.1	<0.0001	0.60	17.93	XCMGW+%_NAT – TDS	<0.0001



Ecological Indicators 64 (2016) 132–141



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)



Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams

Diego R. Macedo<sup>a,\*</sup>, Robert M. Hughes<sup>b</sup>, Wander R. Ferreira<sup>a</sup>, Kele R. Firmiano<sup>a</sup>, Deborah R.O. Silva<sup>a</sup>, Raphael Ligeiro<sup>c</sup>, Philip R. Kaufmann<sup>d</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>





# Limites de tolerância à distúrbio antrópico

- Utilizando apenas estressores antropogênicos “puros” (sem correlação com fatores geodinâmicos), encontrar pontos de declínio de gêneros sensíveis

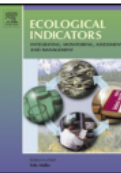
Ecological Indicators 74 (2017) 276–284



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)



Original Articles

Mayfly bioindicator thresholds for several anthropogenic disturbances in neotropical savanna streams

Kele R. Firmiano<sup>a,\*</sup>, Raphael Ligeiro<sup>b</sup>, Diego R. Macedo<sup>c</sup>, Leandro Juen<sup>b</sup>, Robert M. Hughes<sup>d</sup>, Marcos Callisto<sup>a</sup>



# Limites de tolerância à distúrbio antrópico

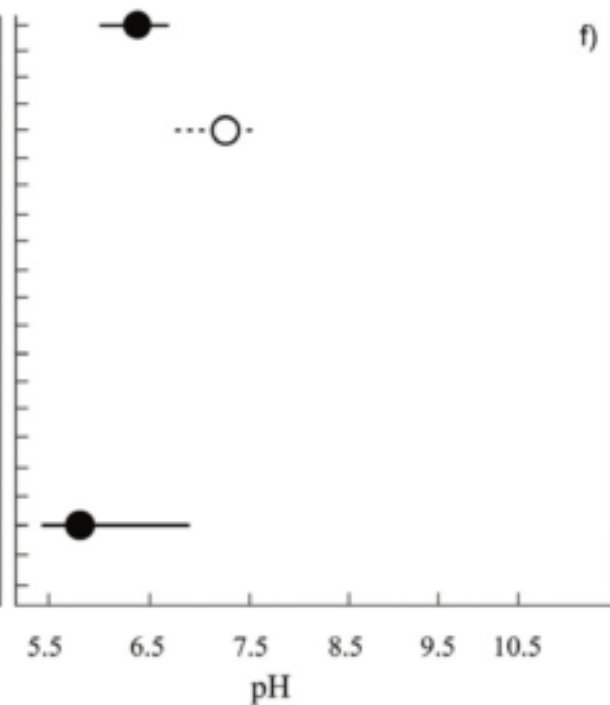
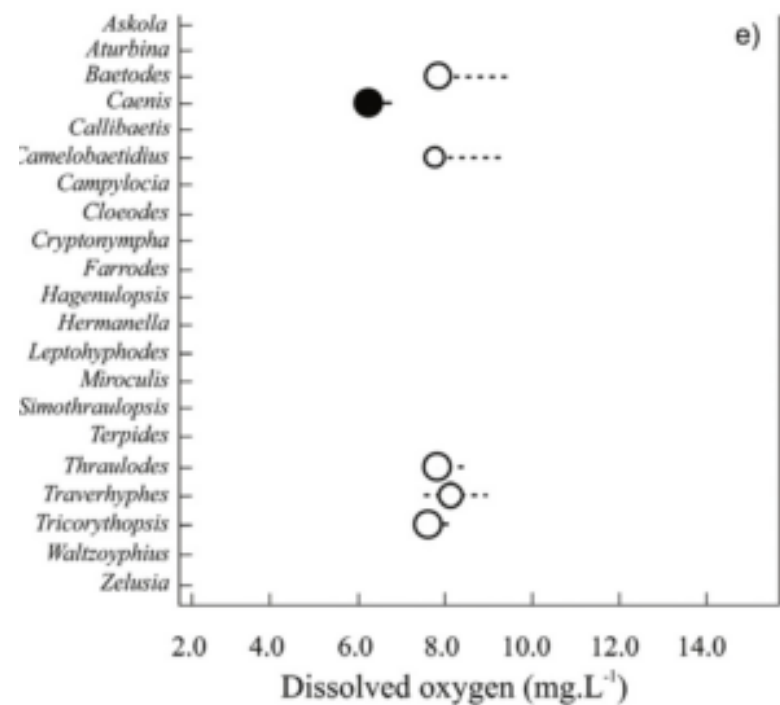
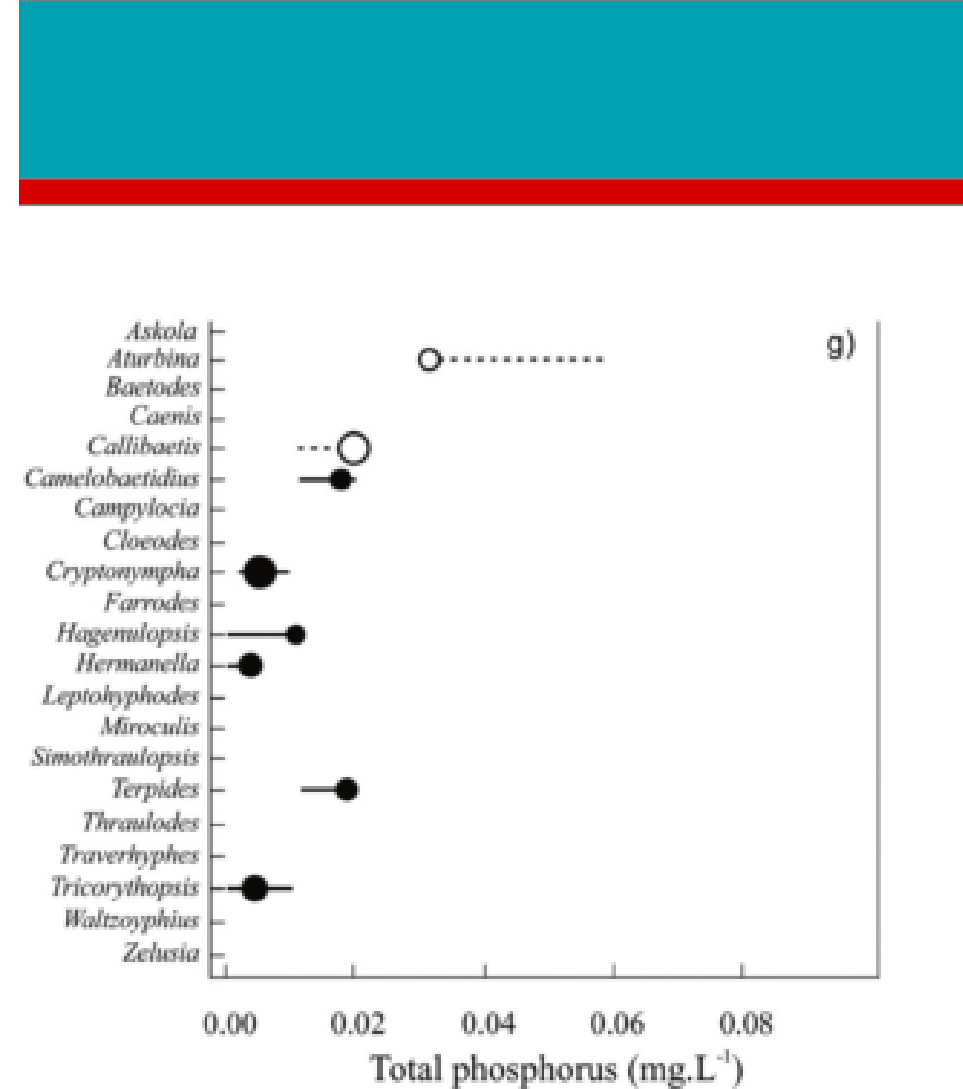
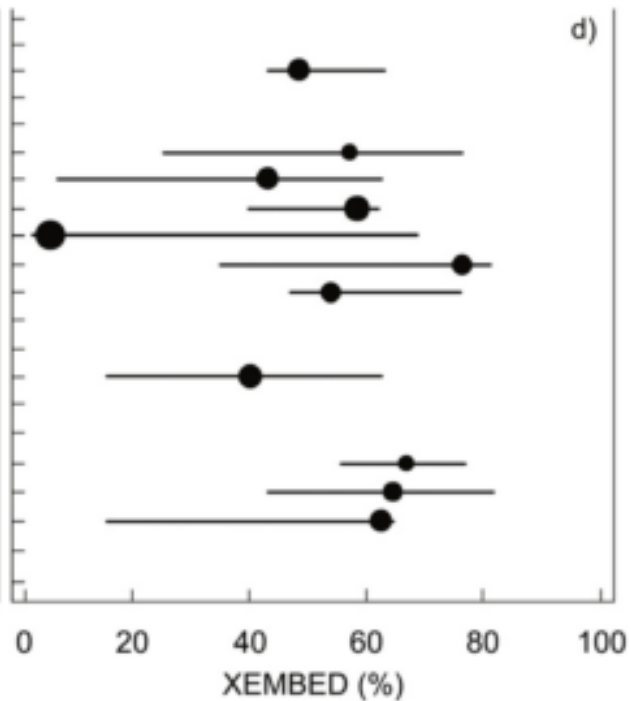
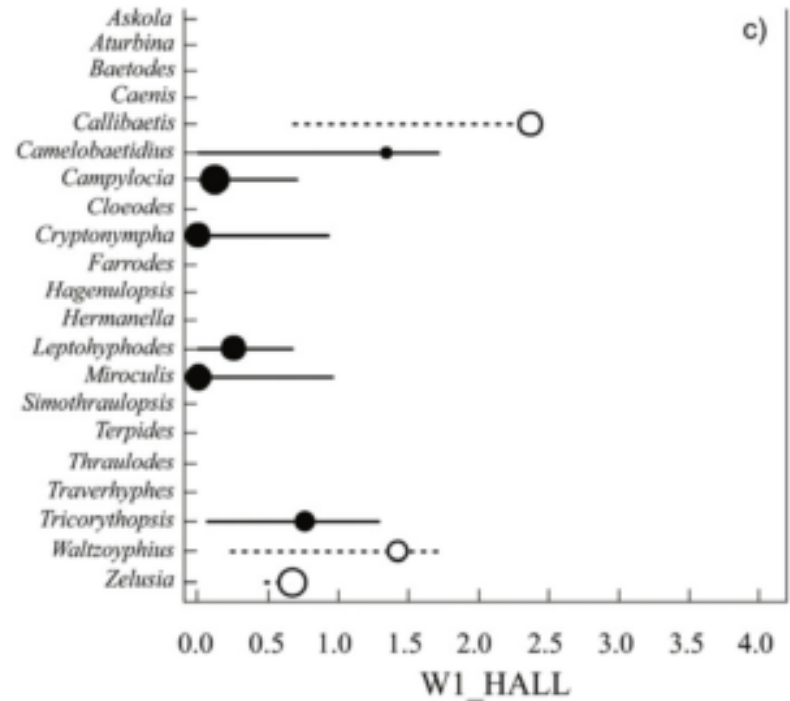
**Table 1**  
Linear regression coefficient ( $r^2$ ) among anthropogenic disturbance and natural variability metrics.

Type of descriptor	Metric code	Altitude	Annual rainfall average	Annual temperature average	Catchment area	Catchment elevation average	Catchment elevation range	Catchment slope average	Catchment slope range
Land use and cover	Agriculture (%)	0.12***	0.12***	0.10***	0.01	0.11***	0.11***	0.23**	0.03**
	Eucalyptus (%)	0.01	0.36***	0.01	0.17***	0.02	0.15***	0.04**	0.00
	Natural (%)	0.32***	0.00	0.25***	0.02	0.32***	0.00	0.35***	0.00
	Pasture (%)	0.01	0.17***	0.01	0.05***	0.01	0.17***	0.02	0.05***
Urbanization	Urban (%)	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00
	Household density	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Population density	0.02	0.00	0.00	0.12***	0.01	0.01	0.03*	0.00
	Road density	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01
Local	LRBS	0.49***	0.12***	0.43***	0.03*	0.51***	0.03*	0.16***	0.00
	RCOND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	XCMGW	0.11***	0.10***	0.10***	0.03*	0.10***	0.02*	0.02	0.00
	XEMBED (%)	0.03**	0.00	0.03**	0.00	0.05**	0.00	0.02	0.00
Integrated Water quality	W1_HALL	0.06***	0.02*	0.06***	0.00	0.06***	0.00	0.02	0.00
	IDI	0.19***	0.00	0.16***	0.00	0.19***	0.00	0.19***	0.02
	Conductivity	0.10***	0.04**	0.11***	0.02	0.11***	0.01	0.03**	0.00
	Dissolved oxygen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	pH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	Total dissolved solids	0.14***	0.09***	0.14***	0.08***	0.14***	0.01	0.02*	0.02
	Total phosphorus	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	Turbidity	0.03**	0.00	0.03**	0.00	0.03*	0.00	0.02	0.00

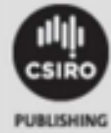
\*  $P < 0.05$ .

\*\*  $p < 0.01$ .

\*\*\*  $p < 0.001$ .



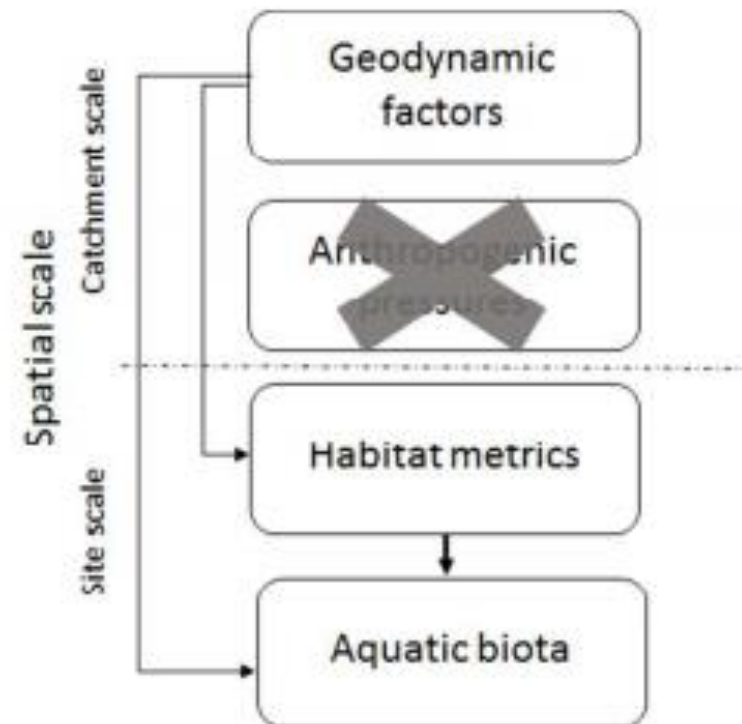
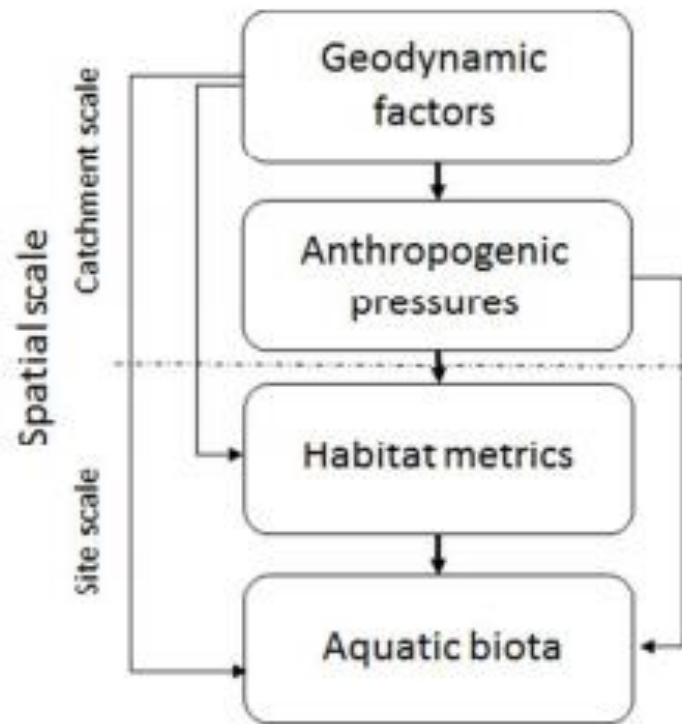
# Abordagem em áreas de referência



MARINE & FRESHWATER  
RESEARCH

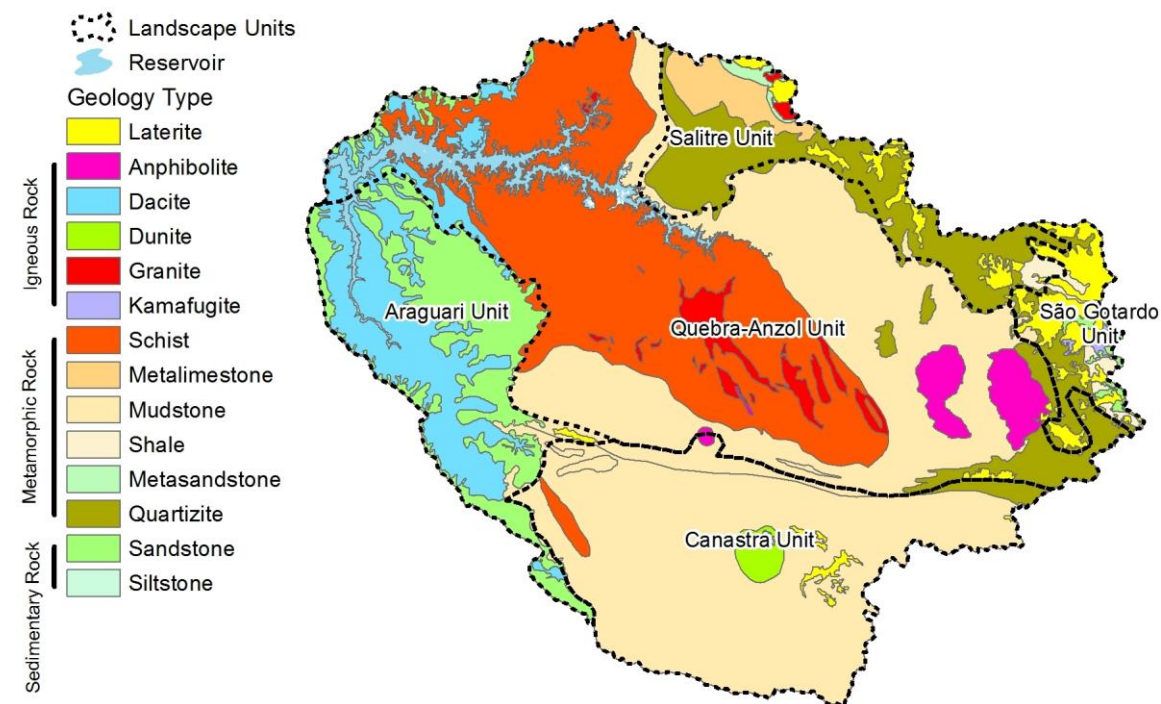
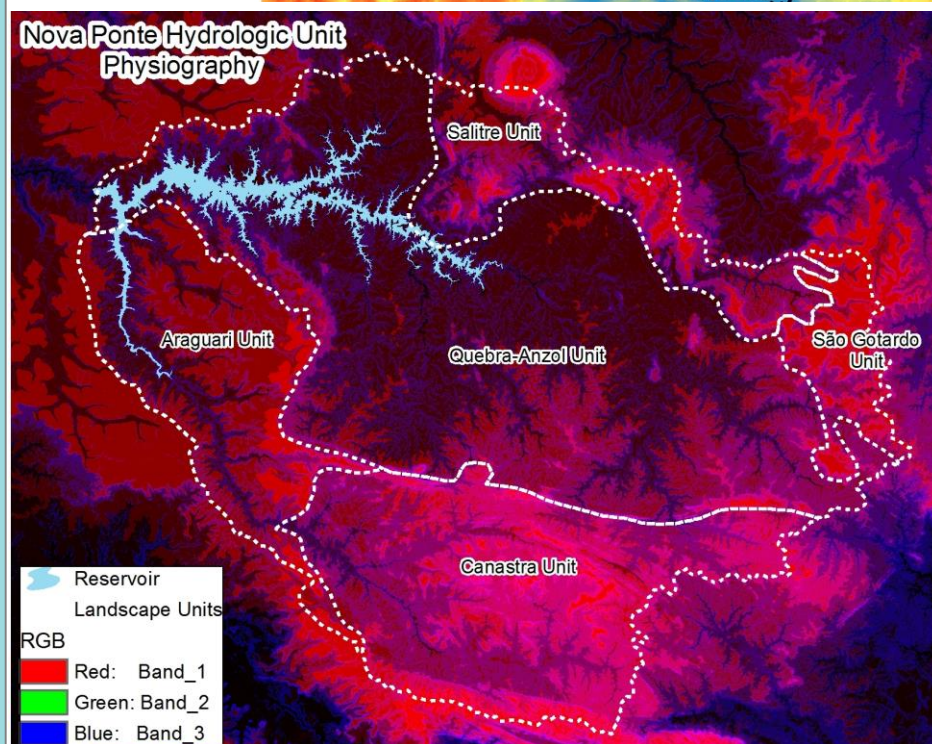
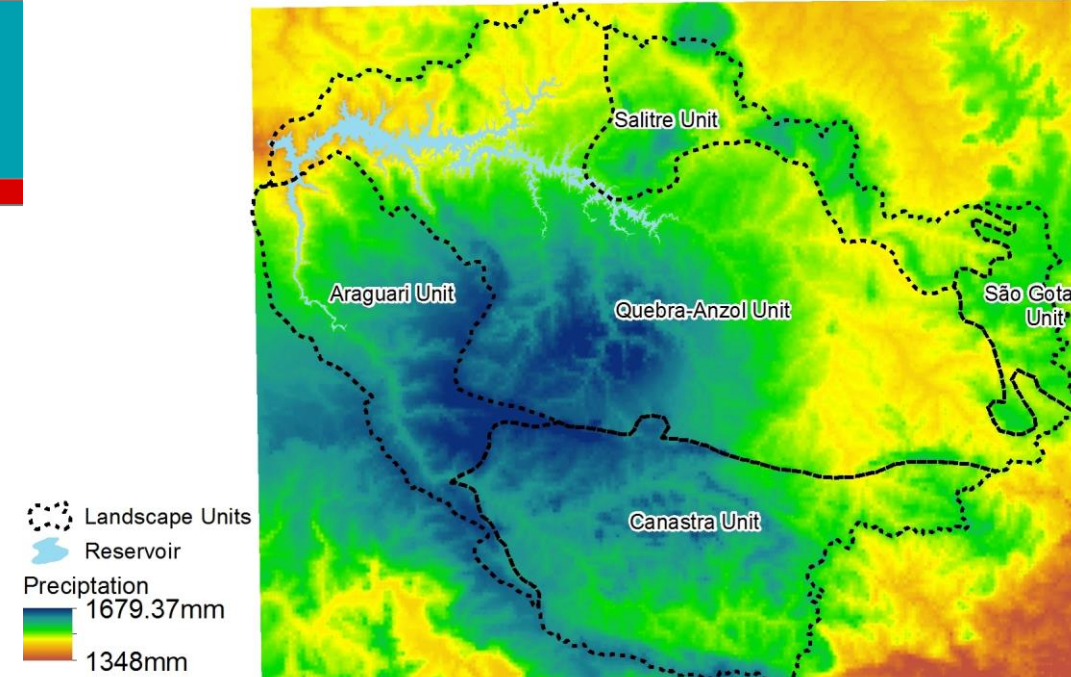
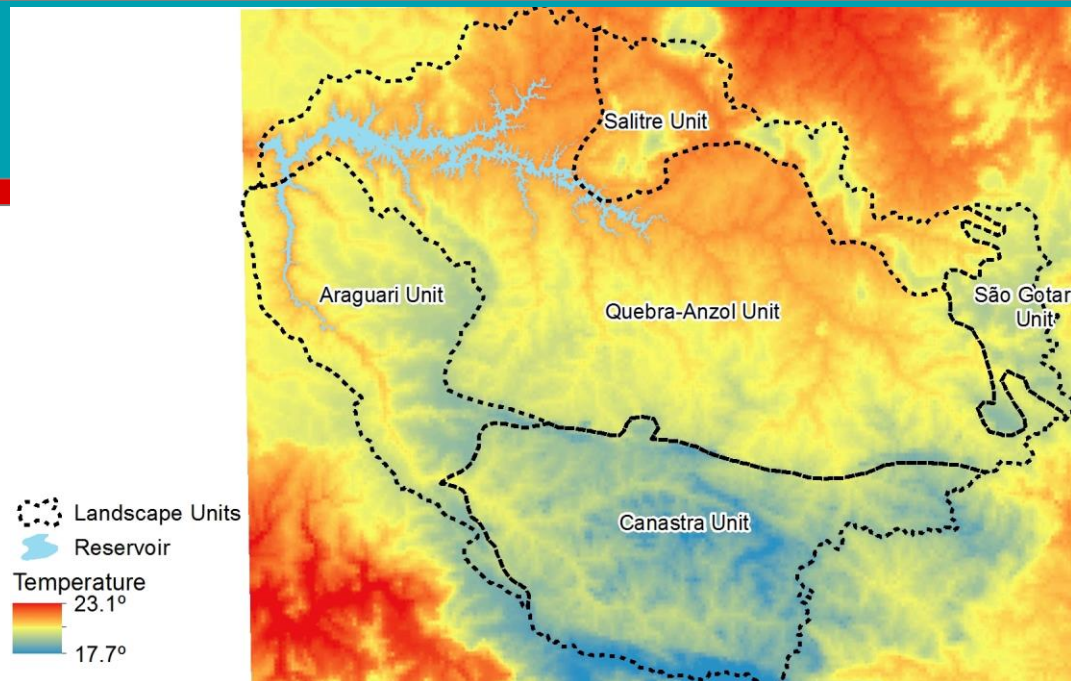
**Regionalization is key to establish reference conditions for neotropical savanna streams**

Isabela Martins<sup>1</sup>, Raphael Ligeiro<sup>2</sup>, Robert Mason Hughes<sup>3</sup>, Diego Rodrigues Macedo<sup>4</sup>,  
Marcos Callisto<sup>1</sup>



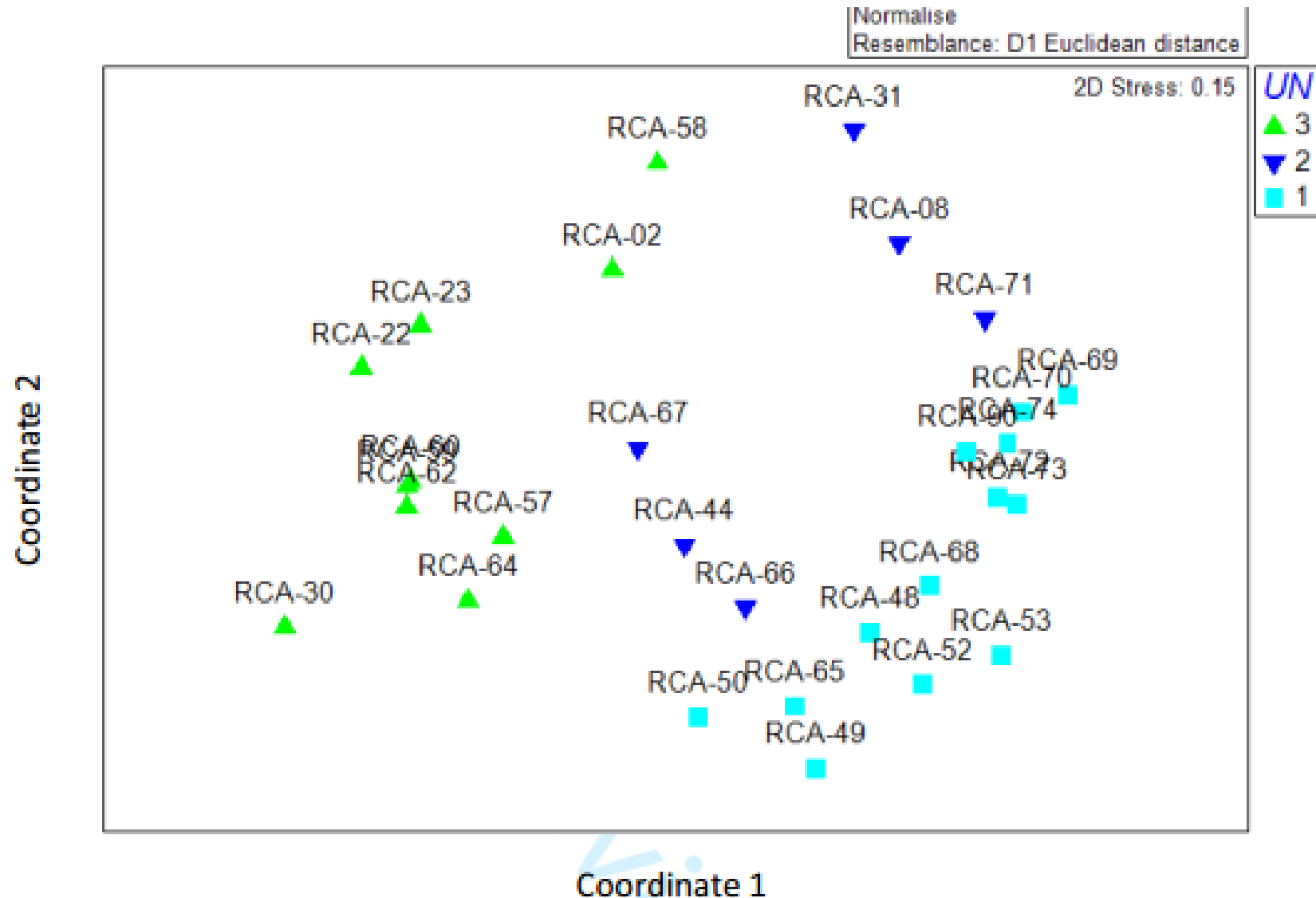
In the absence of anthropic pressures, the geodynamic factors directly influence the metrics of habitat, which is reflected in the structure and composition of the aquatic biota (Adapted from Macedo et al. 2014).



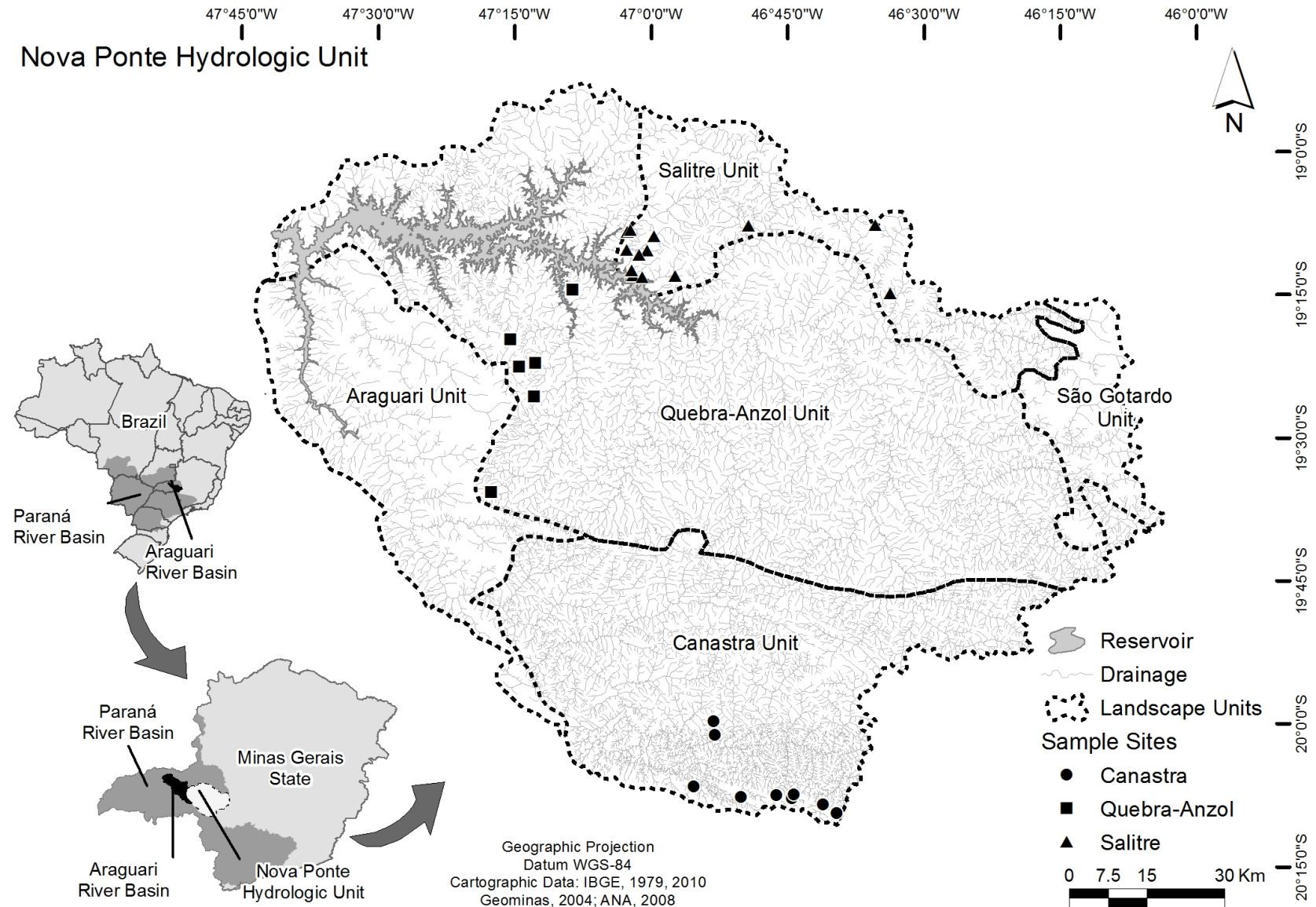




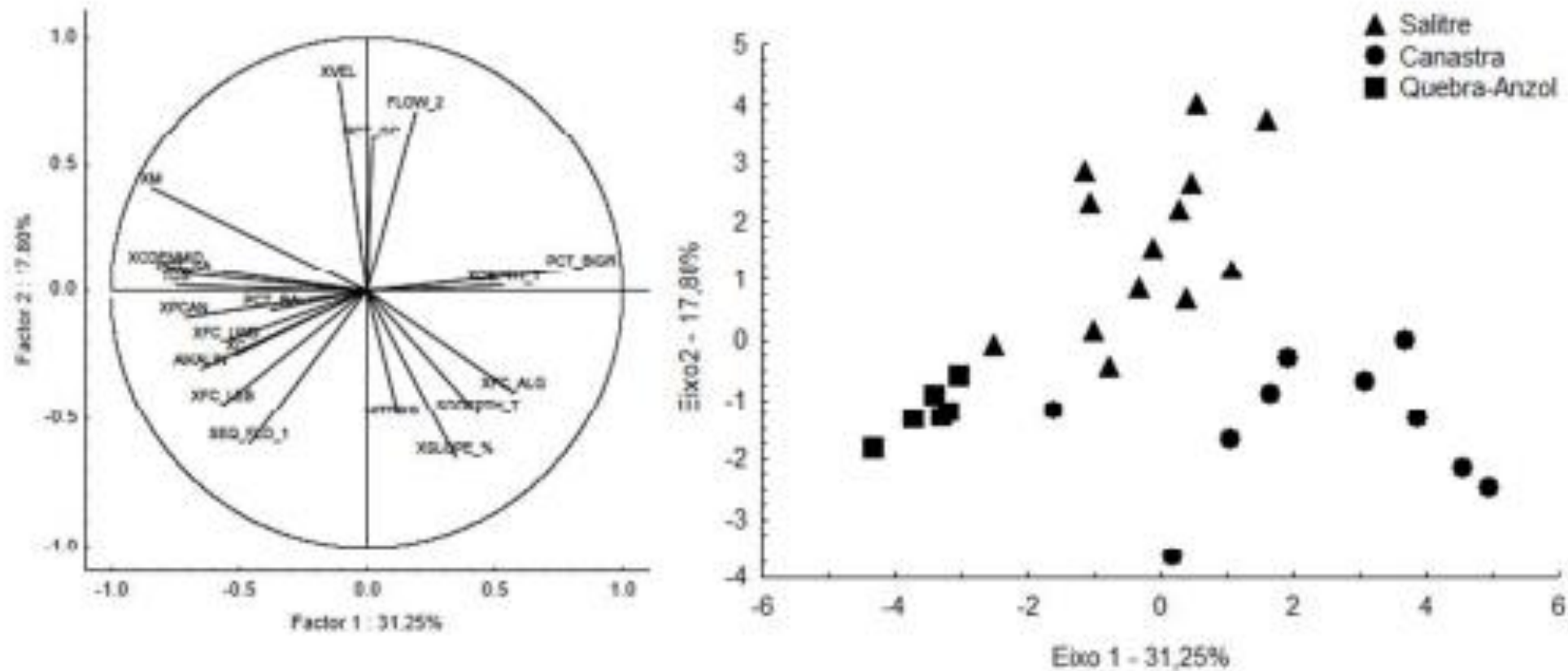
# Abordagem em áreas de referência



# Abordagem em áreas de referência

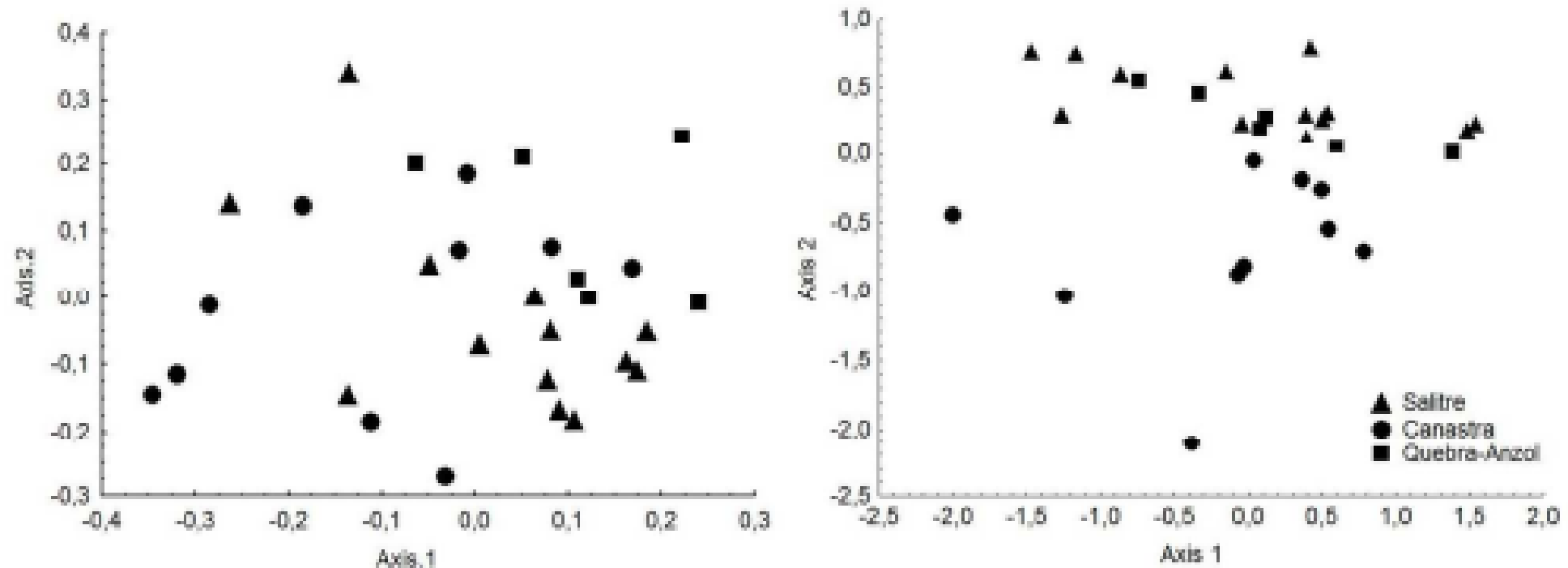


# Abordagem em áreas de referência



A) PCA performed with the physical habitat and water quality metrics. B) The same PCA depicting sites by landscape units.

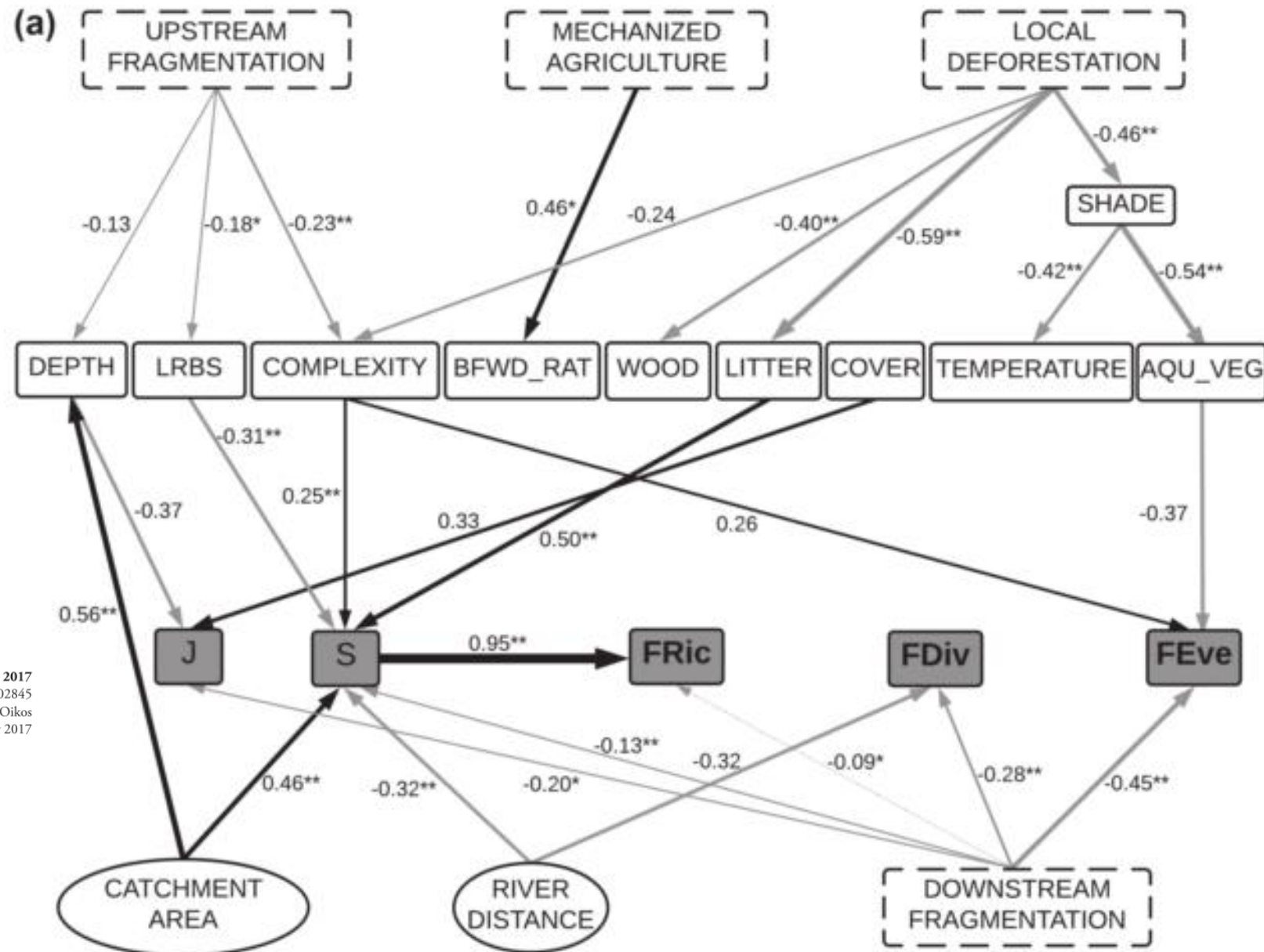
# Abordagem em áreas de referência



PCoA indicating the similarity in taxonomic composition of the macroinvertebrate assemblages among sites in the three landscape units considering A) Jaccard index (taxa presence/absence) and B) Gower distance (taxa relative abundances).

# Próximos Passos...

- Path analysis



Ecography 40: 001–013, 2017

doi: 10.1111/ecog.02845

© 2017 The Authors. Ecography © 2017 Nordic Society Oikos

Subject Editor: Thierry Oberdorff. Editor-in-Chief: Miguel Araújo. Accepted 28 February 2017

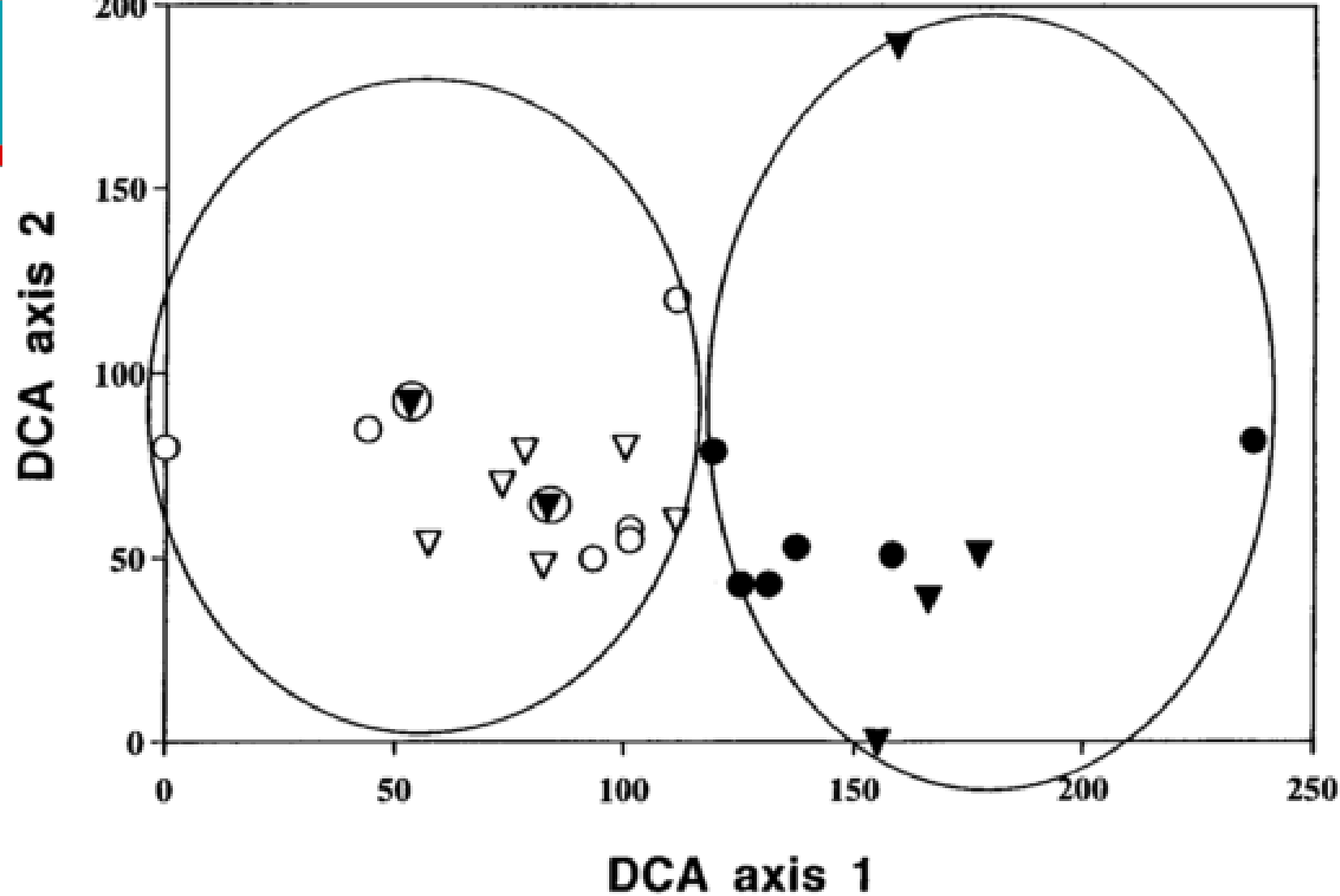
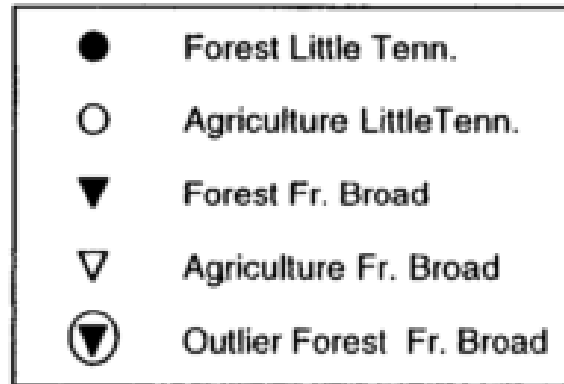
Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams

Rafael P. Leitão, Jansen Zuanon, David Mouillot, Cecília G. Leal, Robert M. Hughes, Philip R. Kaufmann, Sébastien Villéger, Paulo S. Pompeu, Daniele Kasper, Felipe R. de Paula, Silvio E. B. Ferraz and Toby A. Gardner



# Próximos passos

- Legacy Effect

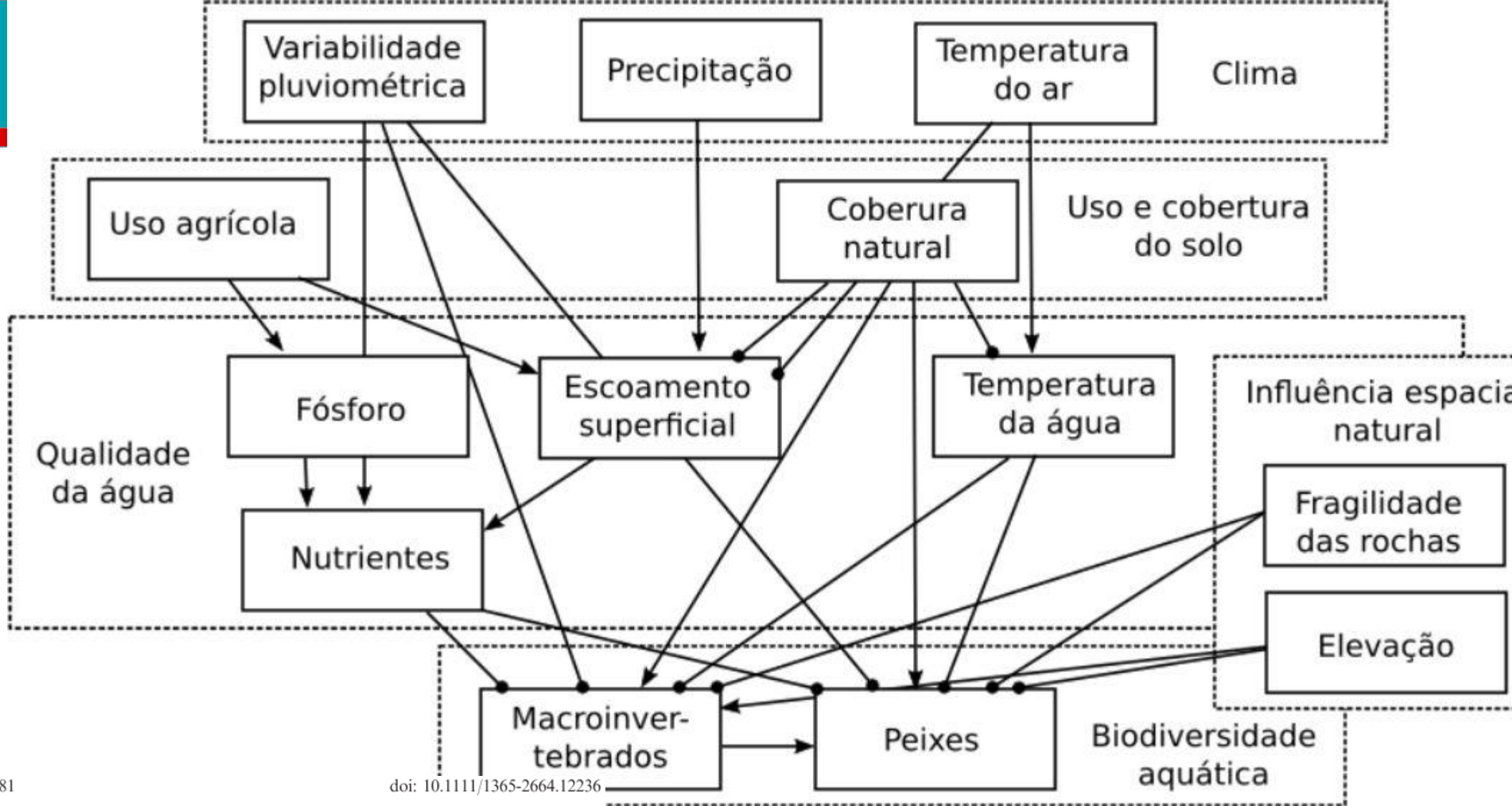


*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*  
Vol. 95, pp. 14843–14847, December 1998  
Ecology

## Stream biodiversity: The ghost of land use past

J. S. HARDING<sup>\*†‡</sup>, E. F. BENFIELD<sup>\*</sup>, P. V. BOLSTAD<sup>§</sup>, G. S. HELFMAN<sup>¶</sup>, AND E. B. D. JONES III<sup>||</sup>

# Próximos passos...



*Journal of Applied Ecology* 2014, **51**, 572–581

doi: 10.1111/1365-2664.12236

**Understanding and predicting the combined effects of climate change and land-use change on freshwater macroinvertebrates and fish**

- Climate and land use change

Chrystal S. Mantyka-Pringle<sup>1,2,3\*</sup>, Tara G. Martin<sup>2,3</sup>, David B. Moffatt<sup>4</sup>, Simon Linke<sup>5</sup> and Jonathan R. Rhodes<sup>1,2</sup>

# Próximos Passos...

- Brazilian Ecoregions

Figure 3.  
Draft  
Level III Ecoregions  
of Central America  
and South America  
First Approximation

## ECOLOGICAL CLASSIFICATION OF THE WESTERN HEMISPHERE

Glenn E. Griffith<sup>1</sup>, James M. Omernik<sup>2</sup>, and Sandra H. Azevedo<sup>3</sup>

May 29, 1998



# Conclusões

- As múltiplas abordagens desenvolvidas neste projeto permitem a avaliação ambiental integrada em várias escalas espaciais nas bacias estudadas, e poderá potencialmente oferecer subsídios para a gestão de bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos, focado na otimização dos serviços ecossistêmicos oferecidos por empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Além disso, os resultados alcançados podem utilizados por Agências de Bacia na gestão de recursos hídricos, permitindo comparações espaciais na escala temporal.