



# MÉTODOS DE DEFINIÇÃO DE CONECTIVIDADE EM LAGOAS COSTEIRAS TENDO PEIXES COMO ORGANISMO FOCAL

T. F. R. Guimarães

F. G. Becker

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Avenida Bento Gonçalves, nº 9500, Bloco 4, Prédio 43411, Campus do Vale, 90509 - 900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil Phone number: 55 51 3308 6782-taisfrg@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

A conectividade de ambientes fragmentados tem sido vista como um ponto chave para o entendimento de muitos processos ecológicos como fluxo gênico, dispersão, invasão de espécies exóticas (Medina & Vieira, 2007). Ela pode ser descrita como grau de hostilidade do habitat entre duas manchas da paisagem (Farina, 1998), e só pode ser determinada no contexto da capacidade do organismo de se mover entre as manchas-conectividade funcional (Medina & Vieira, 2007).

Muitos trabalhos têm sido focados a identificar métodos de medir a conectividade (Tischendorf & Fahrig, 2000; Code *et al.*, 2009; Urbam & Keitt, 2001; McRae *et al.*, 2008). No entanto, poucos trabalhos têm considerado o ambiente aquático como um elemento da paisagem. A conectividade de paisagens terrestres é freqüentemente vista em duas dimensões, onde os animais podem se locomover de um fragmento a outro usando mais de um caminho alternativo. Já em ambientes aquáticos, o movimento é longitudinal, ou seja, ao longo de um rio ou córrego (Code *et al.*, 2009). A conectividade hidrológica também pode atuar em outras três dimensões: lateral (planícies de inundações), vertical (entre águas superficiais e subterrâneas) e temporal (Amoros & Bornette, 2002; Roach *et al.*, 2008; Code *et al.*, 2009).

O efeito do isolamento espacial entre manchas de habitats aquáticos (rios, riachos e lagos) pode ter consideráveis implicações no entendimento de muitos fatores de mudança na população de peixes e dinâmica da comunidade, e para o gerenciamento e conservação dos recursos hídricos (Olden *et al.*, 2001). Por exemplo, o grau de isolamento e conectividade das lagoas pode conduzir a mudanças na viabilidade de populações e na composição de espécies (Olden *et al.*, 2001). Desse modo, a mensuração da conectividade das lagoas torna - se uma ferramenta útil para análise de fenômenos relacionados às características das comunidades de peixes, incluindo sua recuperação frente a distúrbios ambientais que causem extinções locais de espécies ou redução

populacional.

Assim como acontece em paisagens terrestres, os sistemas fluviais também estão sujeitos a inúmeros eventos de fragmentação de origens naturais e antropogênicas (Fagan, 2002) e essas alterações podem reduzir a biodiversidade destes ambientes (Zeug *et al.*, 2005). No sistema fluvio - lacustre as lavouras de irrigação, por exemplo, causam impacto alterando o fluxo d'água com colocação barragens ou até mesmo aumentando a conectividade de ambientes naturalmente isolados.

Em mosaico flúvio - lacustre, há um gradiente de conectividade caracterizando a ligação de um corpo d'água com o sistema. Pode - se esperar que em função deste gradiente existam padrões diferenciados de riqueza, composição e diversidade  $\beta$ . Entretanto, ainda não há disponível uma medida de conectividade e isolamento de habitat que possa ser obtida facilmente para todos os corpos d'água de um sistema lacustre.

## OBJETIVOS

Neste trabalho, desenvolvemos formas de mensurar conectividade num sistema flúvio - lacustre visando gerar dados para analisar relações entre conectividade e comunidades de peixes (riqueza, composição e diversidade  $\beta$ ). Para tanto, utilizamos de sistemas de informação geográfica e conceitos de ecologia de paisagem (permeabilidade, conectividade, isolamento).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar este estudo, utilizamos o sistema hidrográfico do rio Tramandaí para um estudo de caso. O sistema localiza - se no litoral norte do Rio Grande do Sul, abrange uma área de 2700 km<sup>2</sup> e sua faixa costeira é de aproximadamente 115 km (50,14oO; 29,98oS). Possui um complexo de

38 lagoas com diferentes graus de interconexão, o qual comunica - se com o mar unicamente através do estuário de Tramandaí. A ictiofauna das lagoas é composta por cerca de 80 espécies de água - doce, além de diversas espécies estuarinas e diádromas (Reis *et al.*, 2003).

Na análise de conectividade, levamos em conta o conjunto de lagoas do sistema do rio Tramandaí, os tipos de conexão entre as lagoas e a extensão dessas conexões. O mapa das lagoas foi obtido a partir do mapa de uso e cobertura baseado em imagem Landsat - TM, ano base 2002 (Hasenack & Cordeiro, 2006). As conexões foram diferenciadas em áreas de banhado (a partir do mapa de uso e cobertura) e ligações lineares (valos, canis e riachos, obtidos a partir das cartas topográficas 1:250000; Hasenack & Weber, 2006). A tipologia das conexões foi verificada a partir de consultas em imagens do Google Earth e de observações de campo.

Uma vez determinado o tipo de conexão entre cada lagoa, cada conexão foi classificada de acordo com uma categoria de custo de deslocamento para peixes: ausência de conexão (custo máximo = 6), conexão por rios (custo = 2), por canais (3), por valos (4) e por banhados (sem canais aparentes, custo = 5).

No programa Idrisi Andes (Eastman, 2006) utilizou - se o algoritmo de distância de custo, calculada em função da distância percorrida (extensão das conexões) e do custo de deslocamento de cada lagoa até o estuário (DC). Esta distância de custo foi considerada como uma medida de conectividade sistêmica (Conectividade Secundária, CS), potencialmente relacionada à composição de espécies diádromas e de água - doce secundárias. A CS nos revela o quão a lagoa está conectada com sistema, assumindo que a distância de custo é inversamente proporcional a permeabilidade que os peixes terão para se locomover. Pode ser descrita como indiretamente proporcional à distância de custo da lagoa (DC) até o estuário de Tramandaí ( $CS = 1/\log_{10}(DC)$ ). Quando maior o valor de CS maior a sua comunicação com o sistema estuarino e maior seria a proporção de espécies diádromas e secundárias de água - doce na comunidade de peixes.

Medimos também a conectividade primária, relacionada ao potencial de recolonização (PR) de uma lagoa a partir do *pool* regional de espécies, levando em conta o tipo de conexão, a área das lagoas, a extensão e o número de conexões de cada uma. Foram calculados dois índices alternativos de conectividade primária  $C_{P1}$  e  $C_{P2}$ . Em ambos os casos, utilizou - se um valor de distância de custo primária ( $dc_{p1}$ ), medida entre cada par de lagoas, sendo os cálculos realizados da seguinte forma:  $C_{P1} = \sum(1/dc_{pij})$  (onde  $i, j =$  par de lagoas entre as quais é medida a distância), e  $C_{P2} = \sum[PR] * [\log_{10}(dc_{ij}) / \log(\text{menor dc sistema})]$ . PR é potencial de recolonização (PR) calculado pelo quociente entre o logaritmo da área da lagoa e o logaritmo da área da maior lagoa do sistema, assumindo que a lagoa com maior área é o maior reservatório do *pool* de espécies sistema.

Os dados de peixes foram obtidos com base em registro de coleções científicas (UFRGS, PUCRS e FZB) e informações bibliográficas. Como não existem dados para todas as 38 lagoas e o esforço amostral de cada coleta varia, consideramos apenas as informações para as lagoas onde o esforço amostral foi considerado suficiente para representar a

riqueza de espécies (Caconde, Cerquinha, Custódia, Emboaba, Fortaleza, Marcelino, Peixoto, Quadros e Simão) (Hartz, 1997, Becker *et al.*, 1997; Fialho, 1998; Bruschi, 1998; Schiffino *et al.*, 2004; Malabarba & Isaia, 1992).

## RESULTADOS

Identificamos quatro atributos de conectividade: distância de custo de cada lagoa até o estuário, distância de custo entre as lagoas, potencial de recolonização de cada lagoa e número de lagoas conectadas. Aplicando os atributos nas 38 lagoas do sistema do rio Tramandaí, observamos que eles não podem ser considerados individualmente como medida de conectividade. A distância de custo entre as lagoas, que nos mostra o grau de isolamento da lagoa, quando aplicada ao sistema não apresenta coerência nos resultados, pois uma lagoa com três conexões teria suas distâncias de custos somadas representando um maior isolamento do que outra lagoa com apenas uma conexão como é o caso das lagoas dos Quadros ( $\sum dc=2,99$ ) e Marcelino ( $\sum dc=1,68$ ) respectivamente.

O potencial de recolonização da lagoa é uma importante medida para estimar a riqueza de espécies. Quanto maior o potencial de recolonização a partir de uma lagoa vizinha maior será chance de uma lagoa ser recolonizada pelas espécies do *pool* regional após um evento local de extinção. Nesse sentido, a área das lagoas vizinhas é importante na determinação da conectividade. Segundo Irz *et al.*, (2007), quanto maior a área do lago, maior será sua conectividade, sua diversidade de habitat, riqueza de espécies e menor será a taxa de extinção.

Muitos trabalhos mostram que existe relação entre a composição da comunidade de peixes e o grau de isolamento do lago (Sheffer & Geest, 2006; Mehner *et al.*, 2005; Petry *et al.*, 2003), mas nenhum quantifica este isolamento. Com o índice de conectividade primária proposto neste trabalho, pudemos quantificar a conectividade de cada lagoa do sistema do Rio Tramandaí e o resultado nos mostra um gradiente de lagoas isoladas ( $CP=0$ ) até uma alta conectividade ( $CP=9,74$ ).

Comparando dados de espécies e a conectividade primária, observou - se que a lagoa dos Quadros, com o maior número de espécies (61) apresentou também o maior valor de conectividade primária (9,74). A lagoa Simão por estar isolada apresentou o menor número de espécies (12) como era esperado. Uma exceção ao padrão foram as lagoas Marcelino e Peixoto, que apresentaram número similar de espécies (33), porém conectividade primária discrepante (1,31 e 3,49, respectivamente). Talvez essa diferença possa ser explicada devido ao fato da lagoa Marcelino só possuir conexão com a lagoa Peixoto. O isolamento reduz a probabilidade de recolonização seguinte a uma extinção local, tendendo a reduzir a riqueza de espécies (Scheffer & Geest, 2008).

A conectividade secundária foi calculada apenas com a distância de custo até o estuário e ainda não pode ser vista como uma medida de conectividade do sistema, necessitando de um maior detalhamento em análises posteriores. Ainda assim, os resultados preliminares mostram que ela é um atributo importante e independente da conectividade primária e a partir dela podemos determinar um gradiente

de lagoas especialmente para identificar lagoas com presença de espécies diádromas.

## CONCLUSÃO

Nossos resultados preliminares sugerem que existe um gradiente de lagoas de acordo com seu grau de conectividade e ele condiz com as variações esperadas na riqueza de espécies, ainda que uma análise estatística definitiva dependa de que hajam estimativas adequadas da riqueza de espécies para um maior número de lagoas.

O sistema de lagoas estudado está sujeito a alterações temporais na rede de conectividade (por exemplo, variações de área das lagoas ou vazão de canais em função de cheias e secas ou a uso antrópico da água). Por essa razão, a análise de conectividade e sua relação com comunidades de peixes deverá levar em conta também estas alterações.

## REFERÊNCIAS

- Amoros, C. & Bornette, G. 2002.** Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshw. Biol.* 47:761-776
- Becker, F.G., Hartz, S.M., Bruschi JR, W. & Fialho, C.B. 1997.** Comparison of fish species composition in different waterbodies of the rio Tramandaí drainage, Rio Grande do Sul, Brazil. In: Reis *et al.*, 1997. Proceedings of the International Symposium on Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. EDIPUCRS, Porto Alegre
- Bruschi Jr., W. 1998.** Influência de despejos urbanos sobre a ictiofauna das lagoas costeiras Marcelino e Peixoto, Osório, RS, Brasil. São Carlos: UFSCar, Tese (Doutorado em Recursos Naturais). 111p.
- Code, D., Kehler, D.G., Bourne, C. and Wiersma, Y.F. 2009.** A new measure of longitudinal connectivity for stream Networks. *Landscape Ecol.*, 4:101-113
- Eastman, J. R. 2006.** IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing, Clark University, 328p.
- Fagan, W.F. 2002.** Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology*, 83(12): 3243-3249
- Farina, A. 1998.** Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman & Hall.
- Fialho, C. B. 1998.** Estudo da Ictiofauna da Lagoa das Custódias, Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado (Ecologia e Recursos Naturais), UFSCar, São Carlos.
- Hartz, S.M. 1997.** Alimentação e estrutura da comunidade de peixes da lagoa Caconde, litoral norte do Rio grande do Sul, Brasil. São Carlos: UFSCar. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos. 288p.
- Hasenack, H. & Cordeiro, J.L.P. (org.) 2006.** Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. 30 p. (Relatório técnico Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Biodiversidade e Florestas no âmbito do mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros).
- Hasenack, H. & Weber, E. 2006.** Base Cartográfica Digital do Rio Grande do Sul - escala 1:250000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 15 p
- Irz, P., Michonneau, F., Oberdorff, T., Whittier, T.R., Lamouroux, N., Mouillot, D. & Argillier, C. 2007.** Fish community comparisons along environmental gradients in lakes of France and North - east USA. *Global Ecol. Biogeog.*, 16:350 - 366
- McRae, B.H., Keitt, D.T.H. & Shah, V.B. 2008.** Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10): 2712-2724
- Medina, G.F. & Vieira, M.V. 2007.** Conectividade funcional e a importância da interação organismo - paisagem. *Oecol. Bras.*, 11 (4): 493 - 502
- Mehner, T., Diekmann, M., Brämick, U. & Lemcke, R., 2005.** Composition of fish communities in German lakes as related to lake morphology, trophic state, shore structure and human - use intensity. *Freshw. Biol.*, 50:70-85
- Olden, J.D., Jackson, D.A. & Peres - Neto, P.R. 2001.** Spatial isolation and fish communities in drainage lakes. *Oecology*, 127: 572 - 585
- Petry, A. C., Agostinho, A.A. & Gomes, L.C. 2003.** Fish assemblages of tropical floodplain lagoons: exploring the role of connectivity in a dry year. *Neotrop. Ichthyol.*, 1:111-119.
- Reis, R. E.; Lucena, Z. M. S.; Lucena, C. A. S. & Malabarba, L. R. 2003.** Peixes. In: Fontana, C. S.; Bencke, G. A.; Reis, R. E. orgs. Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EDIPUCRS. p.117 - 146.
- Roach, K.A., Thorp, J.H. & Delong, M.D., 2008.** Influence of lateral gradients of hydrologic connectivity on trophic positions of fishes in the Upper Mississippi River. *Freshw. Biol.* 54: 607 - 620
- Scheffer, M. & Geest, G.J. 2006.** Small habitat size and isolation can promote species richness: second - order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos*, 112: 227-231
- Schifino, L. C.; Fialho, C. B. & Verani, J. R. 2004.** Fish community composition seasonality and abundance in Fortaleza lagoon, Cidreira. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 47 (5): 755 - 763.
- Tischendorf, L. & Fahrig, L. 2000.** How should we measure landscape connectivity? *Landscape Ecology*, 15: 633-641
- Urban, D. & Keitt, T.. 2001.** Landscap connectivity a graph - theoretic perspective. *Ecology*, 82(5): 1205-1218
- Zeug, S.C., Winemiller, K.O. & Tarim, S. 2005.** Response of Brazos River Oxbow Fish Assemblages to Patterns of Hydrologic Connectivity and Environmental Variability. *Trans. Am. Fish. Soc.*,134:1389-1399