

TIPOLOGIA ECOLÓGICA DE RIOS

Márlon de Castro Vasconcelos
Albano Schwarzbald

Programas ambientais que visam recuperar sistemas fluviais degradados podem ser bastante eficazes se tomarem áreas de referência com as mesmas características da área em estudo. Daí a utilidade da classificação de rios em diferentes tipos, de acordo com padrões observados em sua rede de drenagem. Além de aspectos gerais e históricos sobre a questão, são apresentadas aqui tipologias de rios citadas na literatura, metodologias para se estabelecer tipologias e também um exemplo numérico a partir de rios do Rio Grande do Sul, o que pode auxiliar na compreensão do texto.

Tipologia de rios

¹ MUNNÉ, A. & PRAT, N. Defining river types in a Mediterranean area: A methodology for the implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Management*, 34(5):711-729, 2004.

SKOULIKIDIS, N. Th.; AMAXIDIS, Y.; BERTAHAS, I.; LASCHOU, S. & GRITZALIS, K. Analysis of factors driving stream water composition and synthesis of management tools – A case study on small/medium Greek catchment. *Science of the Total Environment*, 362:205-241, 2006.

MORENO, J. L.; NAVARRO, C. & DE LAS HERAS, J. Abiotic ecotypes in south-central Spanish rivers: Reference conditions and pollutions. *Environmental Pollution*, 143:388-396, 2006.

² RICKEFS, R. E. *Economia da Natureza*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 542 p.

³ ALLAN, J. D. & CASTILLO, M. M. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. London: Chapman & Hall, 1995. 388 p.

⁴ CARVALHO, N. O. *Hidro sedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994. 372 p.

⁵ OMERNIK, J. M. & BAILEY, R. G. Distinguishing between watersheds and ecoregions. *Journal of the American Water Resources Association (formerly Water Resources Bulletin)*, 33(5):935-949, 1997.

⁶ ROSGEN, D. L. A classification of natural rivers. *Catena*, 22:169-199, 1994.

⁷ THORNBURY, W. D. *Principles of Geomorphology*. 2. ed. New York: Wiley, 1969. 594 p.

ROSGEN, D. L. *Op. cit.*
SCHUNN, S. A. *The fluvial System*. New York: Wiley-Interscience, 1977. 338 p.

A necessidade de gerir adequadamente os recursos hídricos, seja em âmbito municipal, estadual, nacional ou internacional, torna indispensável o uso de mecanismos de caracterização dos cursos d'água, a fim de organizar as políticas públicas voltadas para tal fim. Programas ambientais que visam recuperar sistemas fluviais degradados podem ser menos eficientes do que poderiam de fato ser, se possuísem áreas de referências com as mesmas características da área em foco. Nesse sentido, uma ferramenta que vem sendo utilizada é a classificação de rios em diferentes tipos, de acordo com padrões observados em suas redes de drenagem.¹

O clima, a geologia, a geomorfologia, dentre outros fatores, mudam entre os diferentes locais e criam diferentes paisagens.² Os cursos d'água também sofrem diferenciações com base nessas condicionantes.³ Além disso, diferenças em nível local, como presença e extensão de corredeiras e deposição de sedimento, modificam as formas dos rios.⁴ Estas e outras métricas de paisagem que variam entre os cursos d'água, podem ser utilizadas para agrupá-los em ecorregiões. As ecorregiões (regiões com relativa homogeneidade ambiental) delimitam grandes áreas em que cada nível local do ecossistema representa mais ou menos uma região com um padrão previsível. Assim, é possível prever o mesmo padrão em locais não observados, desde que possuam condições semelhantes àquelas encontradas nos locais amostrados.⁵ Segundo Rosgen⁶, Willian Davis, em 1899, foi o primeiro a realizar uma classificação de rios. Baseado na idade, ele dividiu rios em três categorias: jovens, maduros e velhos.

Classificações adicionais têm sido relatadas seguindo critérios diversos, como aqueles relacionados ao transporte de material, estabilidade do canal, tipo de vale e características geológicas.⁷ Além de uma tipologia morfológica (rios de regiões montanhosas e de planícies), Schäfer⁸ utiliza uma divisão climática e uma hidrológica. Segundo esse autor, na divisão climática encontram-se rios *dirreicos*, caracterizados como nascentes e foz em zonas úmidas, com curso médio em zonas áridas; *endorreicos*, nascente em zona úmida e foz em zonas áridas; *arreicos*, nascente e foz em zonas áridas, e *eurreicos*, nascente e foz em zonas úmidas. A divisão hidrológica observa alguns elementos contidos no balanço hídrico da rede de drenagem, sendo a precipitação fator importante. As condições para o balanço hídrico dependerão da homogeneidade da rede de drenagem em relação ao macro-

⁸ SCHÄFER, A. *Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS, 1985. 532 p.

clima, diferenciando-se em: *regime glacial*, em que 15 a 20% da bacia é coberta por geleiras; *regime pluvial*, em que a vazão está relacionada à periodicidade das precipitações, que, por sua vez, podem ser classificadas como *regime oceânico* (precipitação dependente das massas vindas do oceano) ou *regime tropical* (precipitação dependente da distribuição de épocas chuvosas).

Criando tipologias

⁹ GERRITSEN, J. & BARBOUR, M. T. Apples, oranges, and ecoregions: on determining pattern in aquatic assemblages. *Journal of North American Benthological Society*, 19(3):487-496, 2000.

Gerritsen e Barbour⁹ mencionam três passos analíticos na criação de ferramentas para a avaliação biológica de áreas: 1) determinar classes naturais de sistemas não impactados, 2) desenvolver e testar mensurações biológicas que separem essas áreas e 3) estabelecer critérios de decisões que separem os locais avaliados. Em suma, o que os autores sugerem é uma classificação *a priori* dos corpos d'água que não necessariamente confirmam as estratificações geográficas.

¹⁰ FERRÉOL, M.; DOHET, A.; CAUCHIE, H. & HOFFMANN, L. A top-down approach for the development of a stream typology based on abiotic variables. *Hydrobiologia*, 551:193-208, 2005.

De forma geral, essas classificações podem ser obtidas a partir de duas abordagens: uma denominada *top-down* e outra denominada *bottom-up*.¹⁰

¹¹ MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*
FINN, D. S. & POFF, N. L. Variability and convergence in benthic communities along the longitudinal gradients of four physically similar rocky mountain streams. *Freshwater Biology*, 50:243-261, 2005.

Abordagens *top-down* utilizam informações de conhecimento prévio valendo-se de informações georreferenciadas (SIG). Mapas temáticos são uma forma de estabelecer tipologias com base em variáveis como topologia, geologia, clima, temperatura, precipitação, altitude e outras.¹¹ Diferentes escalas de mapas podem ser utilizadas dependendo da proposta do trabalho: por exemplo, a escala de 1:1.000.000 gera uma quantidade de tipos de rios menor que uma escala de 1:250.000, sendo que diferentes variáveis determinam essas tipologias. A primeira escala é interessante se desejamos comparar rios em diferentes tipos de climas, Rio Grande do Sul e Bahia, por exemplo. A segunda escala seria mais apropriada para uma condição mais "local", como rios dentro do estado do Rio Grande do Sul.¹² A limitação no uso de SIG é a disponibilidade de mapas digitalizados para escalas maiores, como 1:50.000, principalmente quando se tem uma grande área de estudo como um Estado. O Serviço Geográfico do Exército Brasileiro dispõe de um acervo de mapas impressos na escala de 1:50.000 e até maiores; contudo, algumas métricas de paisagem, como conectividade entre rios e habitats por exemplo, são mais rápidas de serem obtidas em mapas digitalizados. Na falta destes, um esforço de digitalização por pessoal especializado é extremamente necessário e parcerias entre laboratórios e instituições de ensino são uma medida para compartilhar conhecimento e baratear custos.

¹² MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*

Estudos *bottom-up* usam dados de comunidades aquáticas sejam invertebrados bentônicos, macrófitas, algas etc para classificar os cursos d'água. Esses dados são compilados e tratados estatisticamente para gerarem as tipologias. Ainda, a utilização de diferentes bases de dados para um mesmo local gera tipos de rios diferentes, por isso é importante avaliar quais medidas melhor representam as variações encontradas para a região e a escala de medida do estudo a ser avaliado.¹³

Dados com diferentes ordens de grandeza e diferentes bases são ditos multivariados e precisam de análises que reflitam sua natureza. Para tal, as mais usadas são análises de agrupamento e de métricas de ordenação. Análises de agrupamento são úteis para separar as amostras de acordo com suas similaridades, e seu resultado dentro desse contínuo espacial é chamado de tipologia, pois cria tipos/grupos diferentes entre si. A proposta do agrupamento em dados ecológicos é justamente identificar esses possíveis grupos.¹⁴ As métricas de ordenação consistem em ordenar e reduzir a informação ecológica, de modo a “simplificar” o padrão ou padrões encontrados na natureza. As duas análises são independentes entre si, contudo podem ser realizadas em conjunto para melhor compreensão dos padrões observados. O agrupamento apenas nos mostra os diferentes grupos formados a partir dos dados utilizados, enquanto na ordenação é possível observar as relações de espécies ou locais amostrados com as variáveis ambientais adotadas. Com os grupos definidos e com as unidades amostrais dispostas no gráfico de ordenação, é possível associar os grupos às variáveis amostradas.¹⁵ O exemplo numérico a seguir é uma representação simplificada de como estudos *bottom-up* são construídos. Para detalhes sobre métodos multivariados, veja Legendre & Legendre¹⁶.

Algumas tipologias

Rosgen¹⁷ chama a atenção para os riscos que um esquema de classificação de rios oferece, pois pode simplificar um sistema complexo, uma vez que se tenta prever o comportamento de um rio pela sua aparência. Contudo, ressalva que, mesmo diante desse dilema, a classificação ainda é vantajosa, pois se justifica no fato de poder desenvolver uma relação entre a hidrologia e o sedimento para um determinado estado ou tipo de rio; provê um mecanismo para extrapolar dados de um determinado rio para aqueles similares a ele e, além disso, provê uma comunicação dos trabalhos de sistemas de rios entre diferentes disciplinas.

¹³ OMERNIK, J. M. & BAILEY, R. G. *Op. cit.*
MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*
MORENO, J. L.; NAVARRO, C. & DE LAS HERAS, J. *Op. cit.*

¹⁴ LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. *Numerical Ecology: Developments in Environmental Modeling 20*. 2ed English. Amsterdam: Elsevier, 1998. 853 p.

¹⁵ JANNERET, Ph.; SCHÜPBACH, B.; PFIFFNER, L. & WALTER, Th. Arthropod reaction to landscape and habitat features in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 18:253-263, 2003.
MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*
FERRÉOL, M.; DOHET, A.; CAUCHIE, H. & HOFFMANN, L. *Op. cit.*

¹⁶ LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. *Op. cit.*

¹⁷ ROSGEN, D. L. *Op. cit.*

A proposta de Rosgen possui dois níveis: Nível 1 – Caracterização Geomorfológica e Nível 2 – Descrição Morfológica. O nível 1 busca delinear uma caracterização geral integrando paisagem, características fluviais e morfologia do vale, dentre outros. Considera ainda a influência do clima, história de deposição, regionalização (deserto, alpes etc) e morfologia do canal (figura 1).

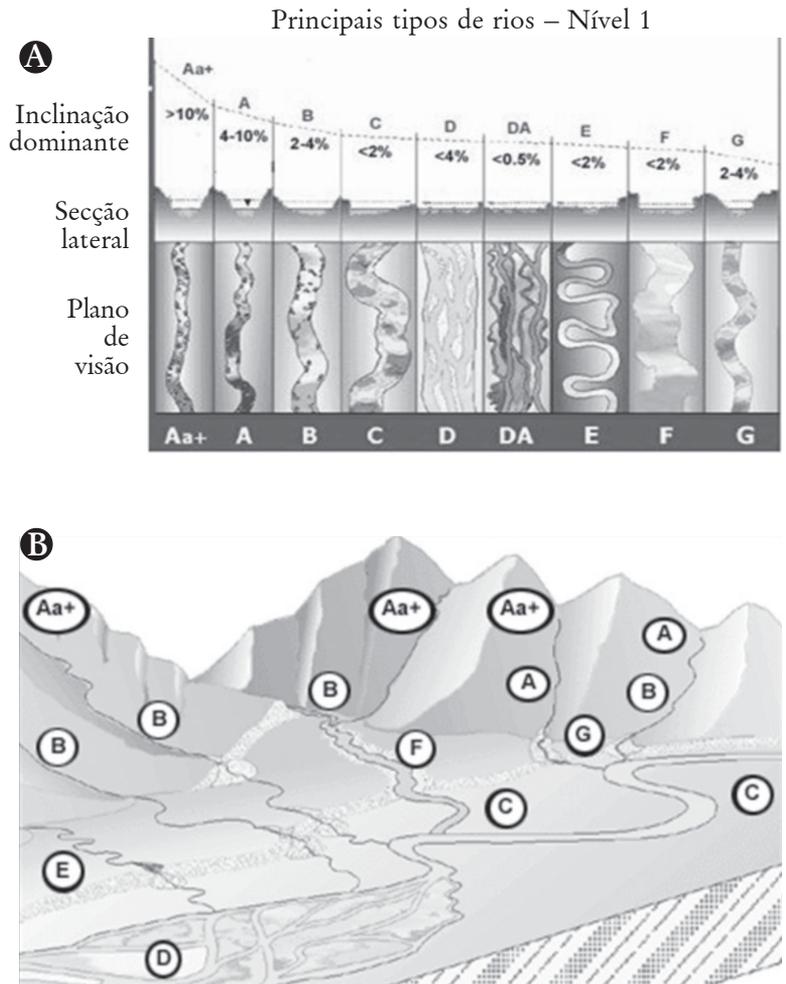


Figura 1: a- Plano de visão dos tipos de rios gerados pelo nível 1 da metodologia proposta por Rosgen. b-Tipos de rios nível 1 na paisagem

Na figura 1a podemos identificar a inclinação dominante do rio, a morfologia da secção lateral, vista “plano de visão” e, por último, os tipos gerados. Por exemplo, o Tipo Aa+ possui uma inclinação > 10%, tende a ser encaixado, com alto índice de transporte de detritos, cachoeiras etc.

O perfil longitudinal pode ser inferido a partir de mapas topográficos e reflete a inclinação do canal. A morfologia da secção lateral indica como o rio está inserido no vale, ou seja, o quão é encaixado. O “plano de visão” indica a sinuosidade do rio, que vai desde rios retilíneos (Tipo A) a rios sinuosos (Tipo E). Pode-se encontrar também diversas configurações entre estes extremos, além de canais múltiplos, que refletem diferentes padrões. Assim, a combinação dessas características determina a tipologia inicial do rio em questão.

O nível 2 complementa as informações obtidas no nível 1 e cria médias que geram os padrões que serão utilizados no estabelecimento da tipologia final do rio em foco. Um desses complementos é o tamanho médio da partícula na calha do rio, e varia de rios com maior quantidade de rochas (Tipo 1) até rios com maior proporção de silte/argila (Tipo 6). A figura 2 mostra como tais informações são sistematizadas para gerar a tipologia final.

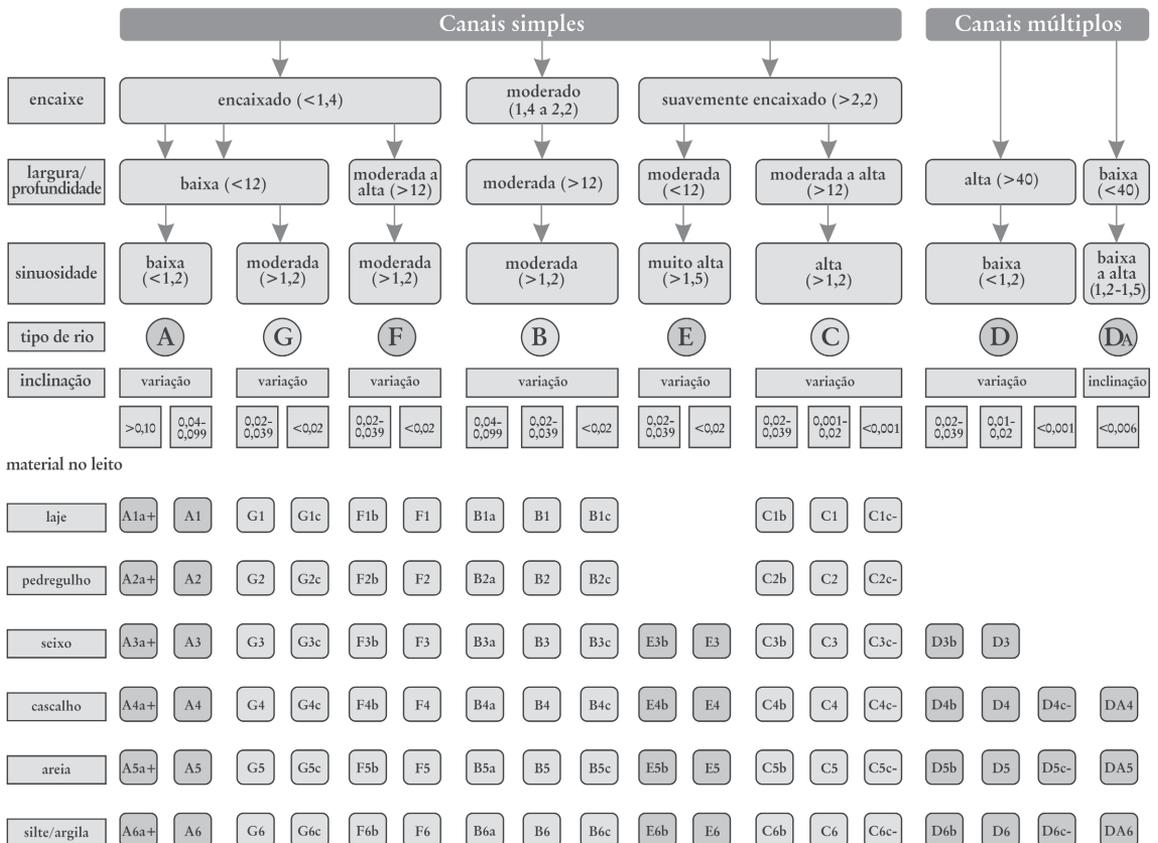


Figura 2: Quadro das informações relevantes para estabelecer a tipologia de rios proposta por Rosgen. Modificado de Rosgen

¹⁸ Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council: Establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. 72 p.

Outra tipologia foi proposta pela União Européia em 2000, por meio do *Water Framework Directive* – WFD¹⁸, que estabeleceu uma série de normativas e guias para definir regiões ecológicas. O documento estabelece classificações dos corpos hídricos com base no “estado ecológico” desses sistemas. As avaliações do estado ecológico consistem em observar a qualidade das águas superficiais e são estabelecidas de “desvios ecológicos” a partir de uma amostra de referência de um corpo d’água semelhante. Assim, é possível estabelecer tipos do corpo d’água a se avaliar.

Após o estabelecimento da condição ecológica de referência, os tipos de corpos d’água são diferenciados de acordo com dois sistemas, *A* e *B* (Anexo II, WFD). Os sistemas ficam a critério do pesquisador. No entanto, o sistema *B* deve ser usado quando estabelece um grau de diferenciação no mínimo igual ao sistema *A*. Ambos incluem critérios obrigatórios: altitude, dimensão da área de drenagem e geologia. Sistema *A*: altitude (alta: >800m; média: 200 a 800m; baixa: <200m), área de drenagem (pequena: 10 a 100km²; média: >100 a 1.000km²; grande: >1.000 a 10.000km²; muito grande: >10.000km²), geologia (calcária; sílica; orgânica). O sistema *B*, além dos critérios obrigatórios presentes no sistema *A*, inclui ainda, como critérios obrigatórios, a latitude e a longitude, bem como outros fatores considerados facultativos: distância da nascente, energia do escoamento, largura média, profundidade média, declive médio, configuração do leito do rio principal. Outras variáveis podem ser incorporadas, dependendo da escala avaliada ou de acordo com o bom senso do responsável pelo estudo ou com o intuito do gerenciamento da área focada. Diversos trabalhos publicados lançam mão da metodologia proposta pela WFD.

¹⁹ MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*

Munné & Prat¹⁹, por exemplo, estabeleceram uma tipologia para um conjunto de bacias hidrográficas situadas próximas ao mar Mediterrâneo. Com base no sistema *A*, reconheceram 26 tipos de rios e, com base no sistema *B*, por meio de uma Análise de Componentes Principais (PCA), observaram cinco tipos em um escala de 1:1.000.000, sendo a descarga anual, a temperatura do ar e o coeficiente de enxurrada os principais descritores. Com uma escala 1:250.000, obtiveram 10 tipos de rios; nessa escala, a geologia da rede de drenagem e o fluxo foram os principais descritores. Os autores ressaltam a importância da escala no estabelecimento de descritores para gerar a tipologia a ser adotada (figura 3). Por sua vez, Moreno *et al.*²⁰ observaram quatro diferentes tipos de rios: rios de cabeceira com base

²⁰ MORENO, J. L.; NAVARRO, C. & DE LAS HERAS, *Op. cit.*

em calcário, rios com base em sílica, rios de planície e grandes rios. A classificação física e química resultou também em diferentes tipos de rios.

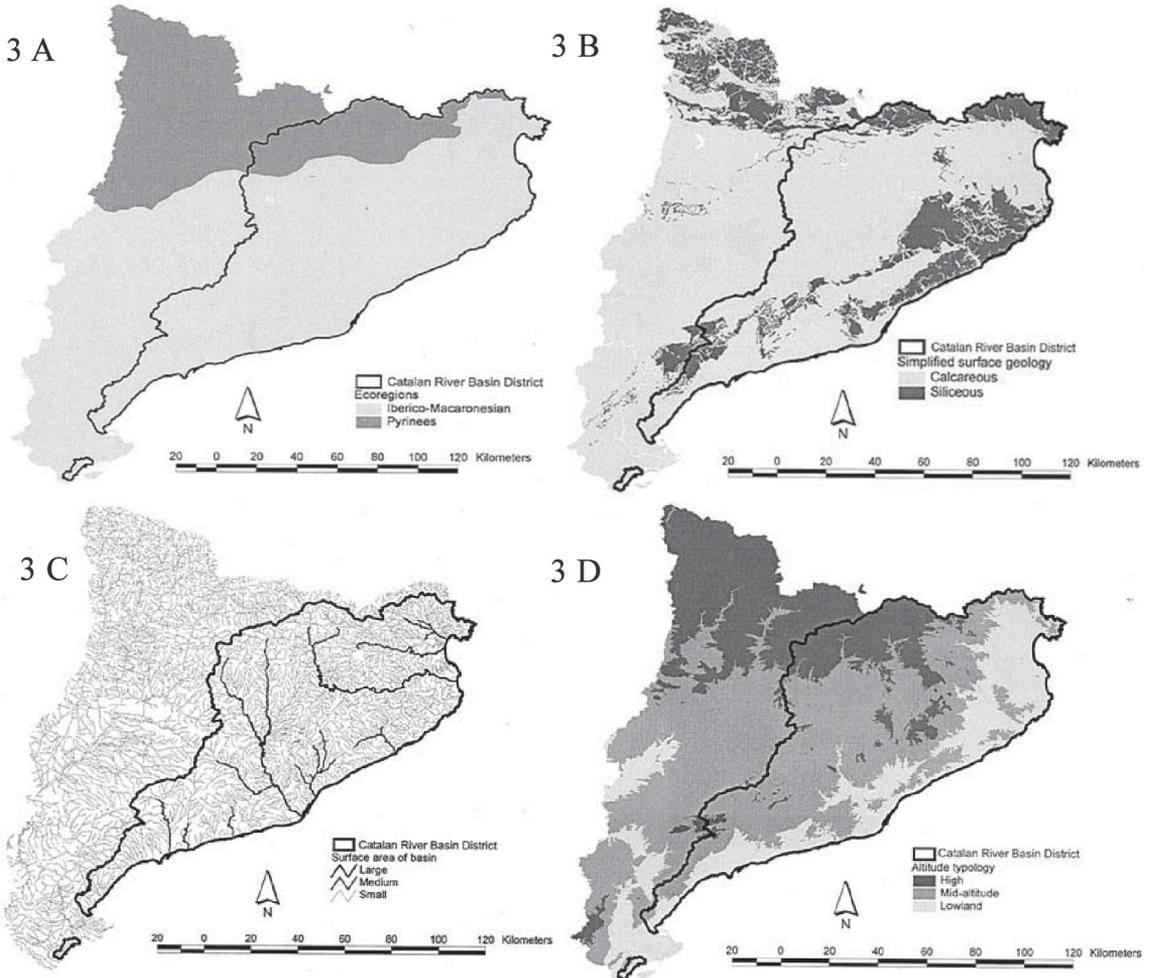


Figura 3: Exemplo de tipologia de rios baseada no sistema A do WFD. A) Divisão da Bacia do Rio Calão (área delimitada) no mar Mediterrâneo em duas regiões ecológicas, a Bacia da esquerda é do rio Elbro; B) Tipologia segundo critérios de geologia; C) Tipologia que usa a área da rede de drenagem e D) Tipologia que usa altitude. Modificado de Munné & Prat, *Op. cit.*

²¹ BALESTRINI, R.; CAZZOLA, M. & BUFFAGNI, A. Characterizing Hydromorphological features of selected Italian rivers: a comparative application of environmental indices. *Hydrobiologia*, 516:365-379, 2004.

Outras formas de se reconhecer variados tipos de rios têm sido descritas na literatura. Balestrini *et al*²¹, obtiveram a tipologia dos rios da Itália, por meio de uma avaliação de habitats de rios (RHS: *River Habitat Survey*²²) em que é possível caracterizar o seu estado físico através de diferentes índices. O primeiro é derivado de modificações morfológicas do rio devido a atividades humanas, tais como

²² RAVEN, P. J.; FOX, P. J. A.; EVERARD, M.; HOLMES, N. T. H. & DAWSON, F. D. River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: BOON, P. J. & HOWELL, D. L. (Eds.). *Freshwater Quality: Defining the Indefinable?* Edinburgh: The Stationery Office, 1997. p. 215-234. BALESTRINI, R.; CAZZOLA, M. & BUFFAGNI, A. Characterizing Hydromorphological features of selected Italian rivers. *Op. cit.*

²³ HUTCHINSON, G. E. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals. *American Naturalist*, 93:145-159, 1959. BEAUGER, A.; LAIR, N.; REYNES-MARCHANT, P. & PEIRY, J. L. The distribution of macroinvertebrate assemblages in a reach of the river Allier (France), in relation to riverbed characteristic. *Hydrobiologia*, 571:63-76, 2006. GODOY, B. S. *Estrutura da Assembléia de Gerromorpha (Heteroptera) em Igarapés dos Municípios de Rio Preto das Eva e Manaus, Amazônia*. Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto de Pesquisas da Amazônia – INPA. Dissertação de Mestrado, 2007. 73 p.

pontes. O HMS (*Habitat Modification Score*: Escore de Modificação de Habitat) é determinado em função da extensão e severidade do dano observado, e permite reconhecer cinco tipos de rios (não-impactado; predominantemente não-impactado; modificação óbvia; modificação significativa e modificação severa). O segundo é o HQA (*Habitat Quality Assessment*: Acesso à Qualidade do Habitat), em que características como presença de corredeiras, tipo de substrato e margem sem modificações são avaliadas para compor o índice e definem 4 tipos de rios (excelente; bom; regular e pobre), sendo necessárias algumas centenas de sítios para se ter bons dados. O terceiro é o IFF (*Index of Fluvial Functioning*: Índice de Funcionalidade Fluvial), que expressa basicamente a capacidade do rio de reciclar a matéria orgânica e avalia a vegetação das margens, estrutura física, estrutura do canal e condições biológicas. A partir dessas características, é possível definir cinco tipos e quatro intratipos (I alto; I-II alto-bom; II bom; II-III bom-medíocre; III medíocre; III-IV medíocre-pobre; IV pobre; IV-V pobre-ruim e V ruim). Por fim, outros índices considerados por Balestrini *et al.* são o BSI (*Buffer Strip Index*: Índice de Suavidade) e o WSI (*Wild State Index*: Índice de Estado Natural). O BSI avalia a capacidade do rio de retirar dos sistemas os poluentes e nutrientes que podem atingir áreas próximas, enquanto que o WSI reflete a capacidade do rio de suportar uma alta diversidade mantendo sua integridade natural. Para estes dois últimos índices são atribuídos valores >0, 0 e <0. A partir desses escores são estabelecidos os resultados dos índices. O BSI e o WSI resultam em cinco tipos (bom; médio; intermediário; moderado e pobre). Para se chegar à classificação final, os escores de cada índice foram dispostos em uma PCA para se verificar as relações entre eles.

Uso de comunidades aquáticas

As relações dos organismos aquáticos com a estrutura física do ambiente – condições ambientais – se dão pelo ajustamento desses organismos em seu meio físico, interação com outras espécies etc.²³ Para mais detalhes sobre os fatores que estruturam comunidades aquáticas, veja o artigo de Schneck e Hepp, neste volume.

De certa forma, as propostas de classificação para sistemas lóticos utilizam fatores que ajudam a explicar a ocorrência de espécies em um dado local. A ligação entre tipologia de rios e a distribuição de espécies pode ser estabelecida relacionando-se a comunidade com as características

- ²⁴ PALMER, M. A.; SWAN, C. M.; NELSON, K.; SILVER, P. & ALVESTAD, R. Streambed landscape: Evidence that stream invertebrates respond to the type and spatial arrangement of patches. *Landscape Ecology*, 15:563-576, 2000.
- PAAVOLA, R.; MUOTKA, T.; VIRTANEN, R.; HEINO, J. & KREIVI, P. Are biological classifications of headwater streams concordant across multiple taxonomic groups?. *Freshwater Biology*, 48:1912-1923, 2003.
- KARAOUZAS, I. & GRITZALIS, K. C. Local and regional factors determining aquatic and semi-aquatic bug (Heteroptera) assemblages in rivers and streams of Greece. *Hydrobiologia*, 573:199-212, 2006.
- VERDONSCHOT, P. F. M. Data composition and taxonomic resolution in macroinvertebrate stream typology. *Hydrobiologia*, 566:59-74, 2006.
- ²⁵ VERDONSCHOT, P. F. M. & NIJBOER, R. C. Testing the European stream typology of the Water Framework Directive for macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 516: 35-54, 2004.
- ²⁶ KARAOUZAS, I. & GRITZALIS, K. C. *Op. cit.*
- ²⁷ VERDONSCHOT, P. F. M. *Op. cit.*
- ²⁸ VERDONSCHOT, P. F. M. *Op. cit.*
- ²⁹ PALMER, M. A.; SWAN, C. M.; NELSON, K.; SILVER, P. & ALVESTAD, R. *Op. cit.*
- ³⁰ PALMER, M. A.; SWAN, C. M.; NELSON, K.; SILVER, P. & ALVESTAD, R. *Op. cit.*
- PAAVOLA, R.; MUOTKA, T.; VIRTANEN, R.; HEINO, J. & KREIVI, P. *Op. cit.*
- KARAOUZAS, I. & GRITZALIS, K. C. *Op. cit.*
- VERDONSCHOT, P. F. M. *Op. cit.*
- ³¹ BARBOSA, F. A. R.; CALLISTO, M. & GALDEAN, N. The diversity of benthic

de cada região, previamente determinadas por um sistema de classificação.²⁴ A resposta de organismos bentônicos (organismos associados ao substrato) ao gradiente longitudinal e regional torna-os aptos para avaliar o uso das classificações de rios.²⁵ Karaouzas & Gritzalis²⁶ encontraram para uma comunidade de heterópteros semiaquáticos uma relação positiva com a região (cobertura/uso da terra), a vegetação ripária e aquática, o tamanho do rio, além de características químicas nos locais avaliados. Verdonschot²⁷, por sua vez, observou que a distribuição de invertebrados em relação à tipologia sugerida pelo WFD foi relacionada ao clima (temperatura), à inclinação (velocidade do fluxo) e ao tamanho do riacho, mas que o padrão observado na Europa também foi causado pelos fatores ambientais locais e pelo esforço de amostragem.

Por outro lado, diferentes grupos taxonômicos podem produzir diferentes resultados quanto à tipologia estabelecida²⁸. Os autores observaram que a comunidade de peixes respondeu melhor à profundidade, ao tamanho do substrato e à concentração de oxigênio; briófitas responderam melhor à cor da água, concentração de nutrientes e variabilidade dos habitats dentro do rio; por fim, invertebrados foram os melhores descritores na avaliação do tamanho do rio e do pH. Palmer *et al.*²⁹ examinaram a distribuição e disponibilidade de manchas de habitat. Por meio da observação de invertebrados aquáticos, distinguiram o tipo e a estrutura das manchas em áreas de areia e folhas e concluíram que a distribuição das manchas foi muito mais importante para a comunidade avaliada.

Além disso, o uso de sítios preservados e perturbados diminui as diferenças naturais entre as comunidades; assim, as tipologias devem ser baseadas em condições de referência. O recurso a macroinvertebrados para o auxílio de tipologias é grande, principalmente aquelas centradas em variações regionais como geologia, morfologia e descritores físicos.³⁰

Tipologia de rios no Brasil

No Brasil, estudos têm mostrado propostas de tipologia para algumas bacias hidrográficas, como para o Rio Doce e São Francisco, na região Sudeste. Barbosa *et al.*³¹ estabeleceram para rios da Serra do Cipó três tipologias e utilizaram macroinvertebrados como descritores principais. Os autores dividiram os rios em não-impactados, medianamente impactados e impactados, sendo o critério para a

macroinvertebrates as an indicator of water quality and ecosystem health: A case study for Brazil. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 4:51-59, 2001.

³² GALDEAN, N.; CALLISTO, M. & BARBOSA, F. A. R. Benthic macroinvertebrates of the headwaters of river São Francisco (National Park of Serra da Canastra, Brazil). *Trav. Mus. Nat. Gregori Antipa*, 16:455-464, 1999. GALDEAN, N.; CALLISTO, M. & BARBOSA, F. A. R. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrate. In: GALDEAN, N.; CALLISTO, M. & BARBOSA, F. A. R. *Op. cit.*

³³ CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M. & PETRUCCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensis*, 14(1)91-98, 2002.

³⁴ GATTS, C. N. E.; OVALLE, A. R. C. & SILVA, C. F. Neutral pattern recognition and multivariate data: water typology of the Paraíba do Sul, Brazil. *Environmental Modelling & Software*, 20: 883-889, 2005.

³⁵ SIOLI, H. *Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Petrópolis: Vozes, 1990. 72 p.

classificação a diversidade de macroinvertebrados, medida pelo índice de diversidade de Shannon. Galdean *et al.*³², estabeleceram para a região da Serra da Canastra, nascente do Rio São Francisco, uma tipologia também baseada em macroinvertebrados, que separa os rios dessa região em impactados e não-impactados. Ainda que as águas em geral apresentem boas condições, os autores argumentam que os impactos são resultantes da entrada de fósforo e nitrogênio de queimadas em áreas próximas aos cursos d'água. Callisto *et al.*³³, criaram, por seu turno, um protocolo de avaliação de habitat que pode auxiliar de forma rápida na tipologia de rios. Os autores listaram uma série de características que são facilmente observáveis, como, por exemplo: tipo de ocupação das margens, erosão próxima à margem, alterações antrópicas, extensão de corredeiras, presença de mata ciliar, dentre outras. No entanto, essas características são mais aplicáveis em uma escala de menor abrangência. As informações do protocolo podem ser usadas em diversos afluentes de uma bacia hidrográfica e cruzadas para gerarem uma tipologia em escala de maior abrangência.

Seguindo mais de perto a proposta de tipologia com base na integridade ecológica, Gatts *et al.*³⁴ estabeleceram uma tipologia para o rio Paraíba do Sul (São Paulo) e observaram sete diferentes tipos de rios. Os resultados refletem basicamente a sazonalidade, o período de cheias (tipos 1-4) e o período de seca (tipos 5-7) como principais fatores para o rio Paraíba do Sul, mas tendo matéria orgânica particulada e dissolvida, fósforo e nitrogênio como descritores dos sete tipos encontrados. Esse trabalho aborda de forma interessante a seleção e análise das variáveis consideradas no processo de geração dos diferentes tipos de rios.

Observando as diversas regiões do Brasil, podemos encontrar, por exemplo, a classificação para os rios amazônicos proposta por Sioli³⁵, que os divide em três tipos: águas brancas, pretas e claras. As águas brancas são caracterizadas por um elevado valor de turbidez e baixo teor de matéria orgânica, em rios provenientes da Cordilheira dos Andes. As águas pretas recebem este nome devido à sua coloração resultante de uma grande concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, produto da decomposição parcial da matéria orgânica, além de possuírem baixas concentrações de sedimento em suspensão. Isso se deve ao fato de os rios pertencentes a esta tipologia serem oriundos de solos podzólicos. Por fim, as águas claras são transparentes devido à menor concentração de matéria orgânica e sedimentos em suspensão e têm como origem solos argilosos que tendem

a reter partículas de teor orgânico. Tal classificação, no entanto, só pode ser aplicada em estudos que abranjam grandes escalas, visto que a bacia amazônica apresenta diferentes características como vegetação e tipo de solo.³⁶ Ainda, Toivonen *et al.*³⁷ dividem os rios da região ocidental da Amazônia de acordo com a largura (extensos >1.000m, largos 500-1.000m, médios 200-500m e estreitos <200m) e a morfologia do canal (anastomados, trançados e meandros).

Devido à grande extensão do território brasileiro, múltiplos fatores climáticos, geológicos e morfológicos agem sobre as grandes bacias hidrográficas. Assim, uma mesma rede de drenagem pode apresentar diferentes características em seus afluentes, o que resultaria em outra tipologia em escala de menor abrangência. Munné & Prat³⁸ e Omernik & Bailey³⁹ chamam a atenção para essas “peculiaridades” entre as escalas.

Exemplo numérico

Para exemplificar como tipologias de rios podem ser criadas, o ponto de partida foi uma base de dados de 38 riachos de terceira e quarta ordens amostrados no estado do Rio Grande do Sul durante o período de um ano com amostragens únicas, ou seja, sem repetições temporais. Seleccionamos variáveis físicas, químicas e geomorfológicas, além de coletas de invertebrados bentônicos em oito amostras de “surber”, num trecho de cerca de 50 metros em cada riacho. Contudo, para este exemplo utilizamos apenas oito variáveis medidas, separadas em sub-bases, sendo a primeira com pH, fósforo total, alcalinidade e oxigênio dissolvido, a segunda, constituída de altitude, qualidade do habitat, largura do rio e temperatura da água e a terceira, reunindo as duas anteriores numa única matriz. A qualidade do habitat foi obtida obedecendo-se ao protocolo sugerido por Callisto *et al.*⁴⁰, tomando-se como variável categórica, rios impactados, alterados e naturais. A largura do rio foi conseguida no trecho de maior largura dentro dos cerca de 50 metros amostrados. As amostras de invertebrados bentônicos não foram consideradas, pois o material se encontra em fase de triagem e identificação.

As análises estatísticas foram elaboradas no software MULTIV versão beta 2010 (<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/ecoqua/main.html>)⁴¹ e os dados submetidos a três formas de análise: a primeira com o conjunto de variáveis limnológicas, a segunda com as variáveis físicas e uma terceira com

³⁶ NOBREGA, I. W. *Análise espectral de sistemas aquáticos da Amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Dissertação de Mestrado, 2002. 84 p.

³⁷ TOIVONEN, T.; MÄKI, S. & KALLIOLA, R. The river of western Amazonia – a quantitative approach to the fluvial biogeography of the region. *Journal of Biogeography*, 34:1.374-1.387, 2007.

³⁸ MUNNÉ, A. & PRAT, N. *Op. cit.*

³⁹ OMERNIK, J. M. & BAILEY, R. G. *Op. cit.*

⁴⁰ CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M. & PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 14 (1)91-98, 2002.

⁴¹ PILLAR, V. D. *MULTIV: Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling: User's guide v. 2.3*. Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2004. 50 p.

os dois conjuntos em uma mesma matriz. Desse modo, observou-se que as variações nos arranjos espaciais (tipologias) podem ser diferentes, dependendo do conjunto de variáveis. Os dados tiveram que ser centralizados e normalizados, pois possuem escalas de medidas diferentes, seguidas por uma distância euclidiana. O agrupamento com base na soma de quadrados e uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) foram submetidos a testes de aleatorização para avaliar a significância dos grupos formados e a estabilidade dos eixos.⁴² Para fins didáticos, apenas a PCoA com as oito variáveis será apresentada.

⁴² PILLAR, V. D. The bootstrapped ordination re-examined. *Journal of Vegetation Science*, 10:895-902, 1999.

Os valores amostrados para as oito variáveis encontram-se na tabela 1. Com os dois conjuntos de variáveis, identificamos três grupos (tipologias) nos 38 riachos amostrados. Contudo, no exame dos dados em conjunto, percebemos somente um grupo nítido; para fins didáticos, porém, consideramos três grupos nítidos. De modo geral, dos componentes dos grupos formados nas três bases de dados, apenas os locais amostrados na Serra Geral se mantiveram iguais nas bases utilizadas.

Tabela 1: Média, desvio padrão e coeficiente de variação para as oito variáveis utilizadas no exemplo numérico

	média	DP	CV
pH	7.62	0.58	7.59
F total (mg/l)	0.05	0.04	74.96
Alcalinidade (mg/1CaCO ₃)	24.54	15.06	61.34
OD (mg/l)	7.44	1.19	15.98
Altitude (m)	300.11	287.53	95.81
Q. habitat	58.61	12.18	20.78
Largura (m)	8.85	6.57	74.26
Temp. água (C°)	19.07	5.30	27.82

A primeira base separou os riachos em: Grupo 1 – com riachos apresentando maior concentração de fósforo, baixo oxigênio, menor pH e baixa alcalinidade; Grupo 2 – com riachos caracterizados por maior concentração de oxigênio, maior pH, menor alcalinidade e menor concentração de fósforo; Grupo 3 – com riachos oferecendo maiores valores de alcalinidade e valores intermediários para as outras variáveis amostradas. A segunda base separou os riachos em: Grupo 1 – riachos situados em maiores altitudes, com melhor qualidade de habitat, mais largos e baixa tem-

peratura; Grupo 2 – riachos em baixa atitude, boa qualidade de habitat, baixa largura e menor temperatura; Grupo 3 – riachos de baixa altitude, menor qualidade de habitat, menor largura e maior temperatura.

As duas bases juntas obtiveram os seguintes grupos: Grupo 1 – riachos em áreas mais altas, com melhor qualidade de habitat, mais largos, valores intermediários para fósforo, pH, oxigênio, e baixos valores para alcalinidade e temperatura da água; Grupo 2 – formado por rios de médias altitudes, menores e com menor qualidade de habitats, valores intermediários para oxigênio e fósforo total, baixos valores de pH e com alcalinidade e temperatura maiores; Grupo 3 – riachos com altitudes e larguras intermediárias, menores valores de fósforo, alcalinidade, temperatura e qualidade de habitat e maiores valores para pH e oxigênio (figuras 4 e 5).



Figura 4: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com os grupos formados com base em todas as variáveis utilizadas no exemplo numérico

Os resultados mostram como a base de dados é extremamente importante para estabelecer as tipologias de rios. Os dados utilizados evidenciam que variáveis como altitude e largura do rio tendem a influenciar na formação dos grupos. Variáveis como fósforo total e alcalinidade sofrem in-

fluência de atividades antrópicas, como agricultura e mineração, portanto, podem não representar variações naturais do ambiente. As variáveis físicas e químicas tiveram correlações altas com os eixos da PCoA, com uma explicação total de 58%, enquanto que as relacionadas a informações morfológicas obtiveram 73,6% de explicação. Ao juntarmos as bases de dados, a explicação total foi de apenas 47,5%, mas com maior participação (correlação) das variáveis morfológicas, que tiveram correlação maior que 0,6, ao passo que entre as variáveis físicas e químicas apenas pH obteve correlação maior que 0,6.

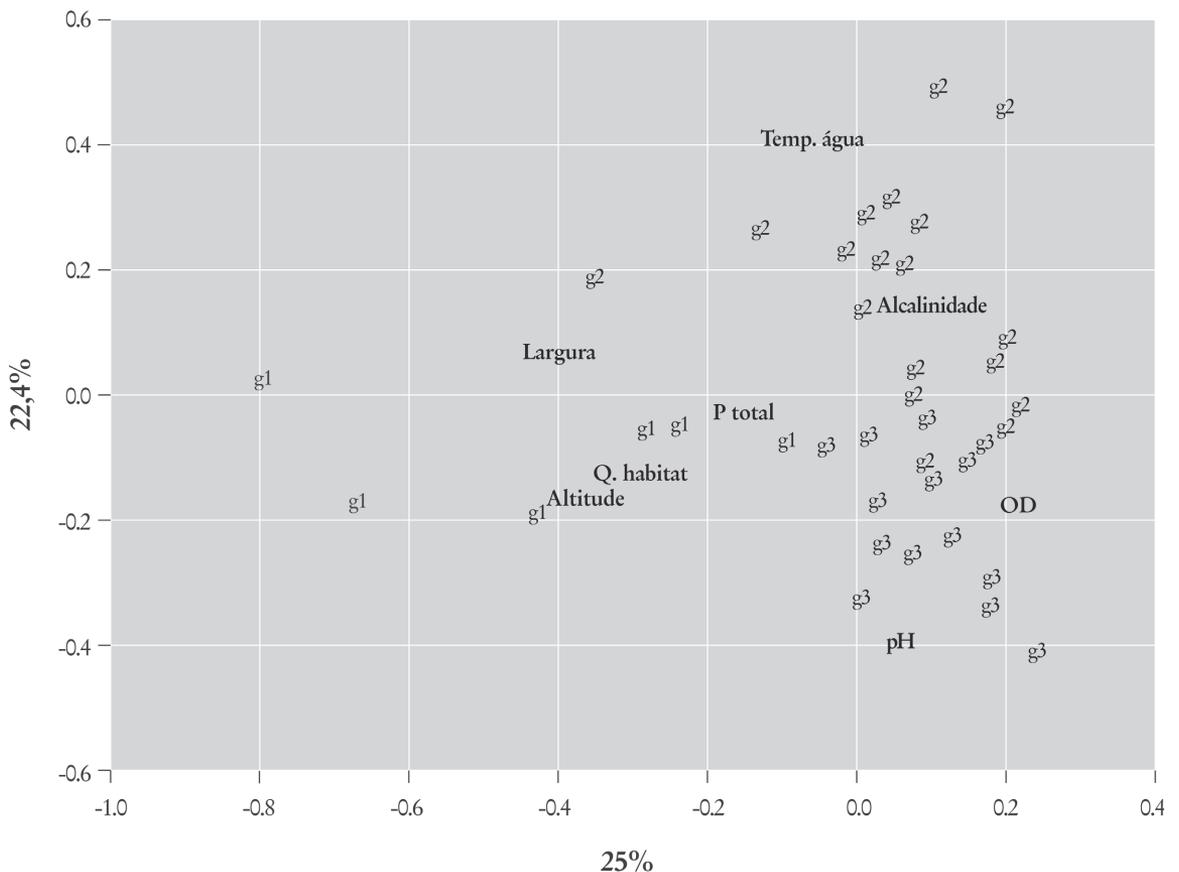


Figura 5: PCoA com base nas oito variáveis utilizadas no exemplo. Não há eixos estáveis com base no teste de aleatorização

Considerações finais

Um problema na geração de tipologias de rios, principalmente na abordagem *top-down*, é a falta de informações sobre determinadas variáveis, como mapas litológicos. O estado do Rio Grande do Sul possui uma base cartográfica

fica em 1:50.000 digitalizada, que permite, por exemplo, calcular o tamanho da rede de drenagem dos cursos d'água amostrados. Dificuldades na utilização da metodologia *bottom-up* provêm do fato de nos depararmos com áreas de difícil amostragem e tempo insuficiente para os levantamentos de campo. O recurso a organismos aquáticos está condicionado ao conhecimento taxonômico do grupo foco, sejam macrófitas, invertebrados aquáticos ou peixes.

Tipologias de rios, além de seu auxílio às políticas públicas, são úteis em estudos de variações geográficas envolvendo populações de organismos aquáticos. Mais especificamente, em pesquisas sobre invertebrados aquáticos, podemos avaliar diferenças nas populações entre diferentes tipos de rios, quanto aos atributos morfológicos ou funcionais nessas populações. Uma ressalva, no entanto, deve ser feita: o estágio de desenvolvimento, principalmente em larvas de insetos, deve ser considerado, seja como uma variável (atributo), seja como forma de padronizar os indivíduos amostrados por estágio de desenvolvimento. Por exemplo, recomenda-se utilizar apenas indivíduos no terceiro estágio de maturação, pois assim as respostas obtidas serão reflexos do ambiente e não se confundirão com as diferenças provindas do desenvolvimento. Estudos envolvendo comunidades, dependendo das informações disponíveis, podem incluir filogenia e verificação de como o ambiente e a filogenia determinam os padrões que observamos de acordo com as variações geográficas impostas pelas ecorregiões/tipologias.

O assunto no Brasil está longe de se esgotar, pelo contrário, há muito o que fazer principalmente na parte inicial do processo, que é justamente elaborar as tipologias e integrar as informações em um banco de dados que possa ser acessado por diferentes grupos de pesquisas. Isso contribuiria sobretudo para o desenvolvimento teórico acerca do assunto.

Márlon de Castro Vasconcelos é graduado em biologia e doutorando em Ecologia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

vascomc@gmail.com

Albano Schwarzbald é licenciado em História Natural, doutor em Ecologia e professor do Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

albano.schwarzbald@ufrgs.br