

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE BIÓTICA DE RIACHOS A PARTIR DA ICTIOFAUNA

*Lilian Casatti*¹ & Camila Ortigossa¹*

¹ Universidade Estadual Paulista, Campus de São José do Rio Preto, R. Cristóvão Colombo, 2265 - Jardim Nazareth, Cep 15054-000.

São José do Rio Preto, SP, Brasil.

E-mails: licasatti@gmail.com (*autor correspondente); cortigossa@gmail.com.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1. Lista de métricas candidatas já utilizadas na construção de índices de integridade biótica em rios e riachos, compiladas da literatura. Quando uma mesma métrica é citada por diferentes autores, optamos por manter a que foi primeiramente publicada.

Table S1. List of candidate metrics already used in the construction of biotic integrity indexes in rivers and streams, compiled from the literature. When the same metric is cited by different authors, we kept the one that was first published.

Métricas	Autores
Composição da comunidade	
Abundância de <i>Astyanax altiparane</i>	Esteves & Alexandre 2011
Abundância de nativos por metro quadrado	Casatti et al. 2009
Abundância por metro quadrado	Casatti et al. 2009
Abundância total de peixes (abundante/comum/raro)	Moyle et al. 1986
Biomassa de peixes nativos por metro quadrado	Casatti et al. 2009
Biomassa total de peixes	Hughes & Gammon 1987
Captura por minuto de amostragem	Oberdorff & Hughes 1992
Densidade total de indivíduos	Oberdorff et al. 2002
Diversidade de Shannon-Wiener	Esteves & Alexandre 2011
Dominância de Berger-Parker	Casatti et al. 2009
Dominância de Simpson	Ferreira & Casatti 2006
Equitabilidade	Lyons 2006
Espécies indicadoras	Kesminas & Virbickas 2000
Indivíduos por amostra, excluindo espécies tolerantes	EPA 1987
Número total de espécies	Karr 1981

Métricas	Autores
Número total de espécies em razão da ordem dos riachos	Moyle et al. 1986
Número de espécies necessário para atingir 90% de indivíduos na amostra	Thompson & Fitzhugh 1986
Número de espécies de vida longa	Bozzetti & Schulz 2004
Número de espécies nativas	Saylor & Scott 1987
Número de espécies introduzidas	Crumby et al. 1990
Número de espécies não nativas	Smogor & Angermeier 1999
Número de espécies de Siluriformes	Araújo 1998
Número de espécies Characiformes	Araújo 1998
Número de espécies Perciformes	Araújo 1998
Número de espécies nativas de Cyprinidae excluindo as tolerantes	McCormick et al. 2001
Número de espécies de Curimatidae	Ferreira & Casatti 2006
Número de espécies intolerantes	Fausch et al. 1984
Número de espécies nativas intolerantes	Trebitz et al. 2003
Número de espécies tolerantes	Oberdorff et al. 2002
Número de espécies com respiração facultativa de ar atmosférico	Bozzetti & Schulz 2004
Número de espécies sensíveis	Lyons et al. 1995
Número de indivíduos com respiração facultativa de ar atmosférico	Bozzetti & Schulz 2004
Número de indivíduos intolerantes	Oberdorff et al. 2002
Número de indivíduos na amostra	Karr 1981
Número de famílias nativas	Hughes et al. 1998
Número de peixes por 30 minutos de amostragem	Lyons et al. 1995
Percentual de indivíduos tolerantes a hipóxia	Ferreira & Casatti 2006
Percentual de espécies Characiformes e Siluriformes	Ferreira & Casatti 2006
Percentual de abundância de <i>Poecilia reticulata</i>	Ferreira & Casatti 2006
Percentual de riqueza de Characiformes	Prudente et al. 2018
Percentual de riqueza de Siluriformes	Prudente et al. 2018
Percentual de riqueza de Gymnotiformes	Prudente et al. 2018
Percentual de riqueza de Perciformes	Prudente et al. 2018
Porcentagem de indivíduos de espécies pioneiras	EPA 1987
Porcentagem de espécies sensíveis	Gammon & Simon 2000
Porcentagem de indivíduos de Cyprinodontiformes	Araújo et al. 2003
Porcentagem de abundância de Characiformes e Siluriformes	Casatti et al. 2009
Porcentagem de abundância de Characidae	Prudente et al. 2018
Porcentagem de biomassa de Characidae	Prudente et al. 2018
Porcentagem de abundância de Lebiasinidae	Prudente et al. 2018
Porcentagem de biomassa de Lebiasinidae	Prudente et al. 2018
Porcentagem de <i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	Prudente et al. 2018
Porcentagem de <i>Helogenes marmoratus</i>	Prudente et al. 2018
Porcentagem de indivíduos de espécies tolerantes	Saylor & Scott 1987
Porcentagem de espécies muito tolerantes	Araújo 1998
Porcentagem de espécies tolerantes	Toham & Teugels 1999
Porcentagem de peixes nativos	Moyle et al. 1986
Porcentagem de espécies nativas	Moyle et al. 1986
Porcentagem de espécies nativas com indivíduos adultos	Hughes et al. 1998
Porcentagem de indivíduos de espécies exóticas	Lyons et al. 1995
Porcentagem de indivíduos não nativos	Hughes et al. 1998
Presença de espécies intolerantes	Karr 1981

Métricas	Autores
Presença/ausência de Cyprinodontidae	Toham & Teugels 1999
Proporção de indivíduos de vida longa	McCormick et al. 2001
Proporção de espécies pioneiras	Schleiger 2000
Proporção de indivíduos jovens	Thompson & Fitzhugh 1986
Riqueza e composição de Darters (Percidae)	Karr 1981
Riqueza e composição de Suckers (Catostomidae)	Karr 1981
Riqueza e composição de Sunfish (Centrarchidae)	Karr 1981
Riqueza e composição de Green Sunfish (<i>Lepomis cyanellus</i>)	Karr 1981
Uso do hábitat	
Número de espécies de cabeceiras	Lyons 2006
Número de espécies reofílicas	Toham & Teugels 1999
Número de espécies reofílicas excluindo tolerantes	Oberdorff et al. 2002
Número de espécies pelágico-reofílicas	Hocutt et al. 1994
Número de espécies “hidres” (que se ocultam)	Hughes et al. 1998
Número de espécies nativas de coluna d’água	Hughes et al. 1998
Número de espécies Characiformes de coluna d’água	Araújo et al. 2003
Número de espécies pelágicas de poço	Harris 1995
Número de espécies bentônicas	Langdon 1989
Número de espécies bentônicas de corredeiras	Harris 1995
Número de espécies bentônicas de poços	Harris 1995
Número de espécies bentônicas nativas	Hughes et al. 1998
Número de Siluriformes bentônicos	Toham & Teugels 1999
Número de espécies bentônicas excluindo espécies tolerantes	McCormick et al. 2001
Número de indivíduos bentônicos excluindo tolerantes	Oberdorff et al. 2002
Número de indivíduos reofílicos excluindo tolerantes	Oberdorff et al. 2002
Porcentagem de biomassa de bentônicos	Prudente et al. 2018
Porcentagem de biomassa de nectobentônicos	Prudente et al. 2018
Porcentagem de biomassa de nectônicos	Prudente et al. 2018
Porcentagem de indivíduos nectônicos	Ferreira & Casatti 2006
Porcentagem de indivíduos nectobentônicos	Prudente et al. 2018
Porcentagem de indivíduos bentônicos nativos	Langdon 1989
Porcentagem de indivíduos bentônicos	Lyons et al. 1995
Porcentagem de indivíduos de superfície	Ruaro 2018
Porcentagem de indivíduos reofílicos	Hay et al. 1996
Porcentagens de indivíduos de espécies de cabeceiras	Lyons 2006
Porcentagem de indivíduos que se abrigam na vegetação marginal	Hay et al. 1996
Proporção de indivíduos de coluna d’água	McCormick et al. 2001
Riqueza de espécies nectônicas	Ferreira & Casatti 2006
Composição trófica	
Biomassa de insetívoros	Lyons 2006
Biomassa de onívoros	Lyons 2006
Frequência de larvas de Trichoptera na dieta de Characidae nectônicos	Casatti et al. 2009
Frequência de ocorrência de detritos na dieta de Characidae nectônicos	Casatti et al. 2009
Número de categorias alimentares na dieta de Characidae nectônicos	Casatti et al. 2009
Número de espécies carnívoras	Esteves & Alexandre 2011
Número de espécies 3etrítivoro-algívoras	Esteves & Alexandre 2011
Número de espécies invertívoras	Lyons 2006

Métricas	Autores
Número de espécies insetívoras	Bozzetti & Schulz 2004
Número de espécies piscívoras	Bozzetti & Schulz 2004
Número de espécies onívoras	Esteves & Alexandre 2011
Número de guildas tróficas	McCormick et al. 2001
Número de indivíduos menos onívoros	Araújo et al. 2003
Número de indivíduos onívoros	Bozzetti & Schulz 2004
Número de indivíduos de espécies invertívoras excluindo tolerantes	Oberdorff et al. 2002
Percentual de indivíduos perifívoros	Ferreira & Casatti 2006
Porcentagem de biomassa de onívoros	Goldstein et al. 1994
Porcentagem de biomassa de piscívoros	Prudente et al. 2018
Porcentagem de biomassa de carnívoros de topo de cadeia	Goldstein et al. 1994
Porcentagem de indivíduos macro-onívoros	Trebitz et al. 2003
Porcentagem de indivíduos insetívoros generalistas	Ferreira & Casatti 2006
Porcentagem de indivíduos insetívoros especialistas	Leonard & Orth 1986
Porcentagem de indivíduos bentônicos insetívoros	Dionne & Karr 1992
Porcentagem de indivíduos nativos carnívoros topo de cadeia	Hughes et al. 1998
Porcentagem de indivíduos carnívoros	Toham & Teugels 1999
Porcentagem de indivíduos filtradores	Hughes et al. 1998
Porcentagem de indivíduos herbívoros	Ganasan & Hughes 1999
Porcentagem de indivíduos macrofágicos	Gammon & Simon 2000
Porcentagem de indivíduos piscívoros	Prudente et al. 2018
Porcentagem da riqueza de piscívoros	Prudente et al. 2018
Presença/ausência de espécies carnívoras generalistas	Kesminas & Virbickas 2000
Presença/ausência de predadores	Kesminas & Virbickas 2000
Proporção de carnívoros especialistas	Smogor & Angermeier 1999
Proporção de carnívoros de topo	Karr 1981
Proporção de espécies piscívoras	Schleiger 2000
Proporção de indivíduos carnívoros micrófagos	Harris 1995
Proporção de indivíduos carnívoros macrófagos	Harris 1995
Proporção de indivíduos piscívoros	Karr et al. 1986
Proporção de indivíduos invertívoros especialistas	Fausch & Schrader 1987
Proporção de indivíduos bentônicos generalistas	Thompson & Fitzhugh 1986
Proporção de invertívoros especialistas bentônicos	Smogor & Angermeier 1999
Proporção de indivíduos bentônicos invertívoros	McCormick et al. 2001
Proporção de invertívoros de coluna d'água	McCormick et al. 2001
Proporção de indivíduos bentófagos em relação ao total de indivíduos	Kesminas & Virbickas 2000
Proporção de indivíduos de alimentação generalista	Leonard & Orth 1986
Proporção de indivíduos que se alimentam de plâncton	Thompson & Fitzhugh 1986
Proporção de indivíduos onívoros micrófagos	Harris 1995
Proporção de onívoros macrofágicos	McCormick et al. 2001
Proporção de indivíduos onívoros	Karr 1981
Proporção de indivíduos insetívoros	Hughes & Gammon 1987
Proporção de ciprinídeos insetívoros	Karr 1981
Proporção de invertívoros	Lyons 1992
Riqueza de espécies reofílicas e que são insetívoras aquáticas	Ferreira & Casatti 2006
Riqueza de espécies de Characiformes frugívoros/herbívoros	Ferreira & Casatti 2006

Reprodução

Métricas	Autores
Número de espécies litofílicas (excluindo espécies tolerantes)	Oberdorff et al. 2002
Número de espécies de maturação tardia (>2 anos)	Smogor & Angermeier 1999
Número de espécies nativas reofílicas que não guardam o ninho	Hughes et al. 1998
Número de espécies nativas litófilas que não guardam ninho	Hughes et al. 1998
Número de guildas reprodutivas	McCormick et al. 2001
Número de indivíduos litofílicos (excluindo tolerantes)	Oberdorff et al. 2002
Porcentagem de indivíduos litófilos simples	EPA 1987
Porcentagem de indivíduos que desovam em substratos com planta e pedra	Dionne & Karr 1992
Porcentagem de indivíduos de espécies vivíparas nativas	Lyons et al. 1995
Proporção de indivíduos que desovam em substrato pedregoso/cascalho	Oberdorff & Hughes 1992
Proporção de indivíduos que desovam em vários substratos	Smogor & Angermeier 1999
Proporção de indivíduos com estratégias reprodutivas tolerantes	McCormick et al. 2001
Proporção de peixes de piracema	Araújo 1998
Saúde individual	
Presença de indivíduos com doenças ou anomalias	Kesminas & Virbickas 2000
Presença de indivíduos híbridos	Kesminas & Virbickas 2000
Proporção de DELT - deformidades, nadadeiras não inteiras, lesões e tumores	Schleiger 2000
Proporção de indivíduos híbridos	Karr 1981
Proporção de indivíduos com doenças e outras anomalias	Karr 1981

REFERÊNCIAS

- Araújo, F. G. 1998. Adaptation of the index of biotic integrity based on fish assemblages in the Paraíba do Sul River, RJ, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 58(4), 547–558. DOI: 10.1590/S0034-71081998000400002
- Araújo, F. G., Fichberg, I., Pinto, B. C. T., & Peixoto, M. G. 2003. A preliminary index of biotic integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, southeast Brazil. *Environmental Management*, 32(4), 516–526. DOI: 10.1007/s00267-003-3003-9
- Bozzetti, M., & Schulz, U. H. 2004. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 529(1-3), 133–144. DOI: 10.1007/s10750-004-5738-6
- Casatti, L., Ferreira, C.P., & Langeani, F. 2009. A fish-based biotic integrity index for assessment of lowland streams in southeastern Brazil. *Hydrobiologia*, 623(1), 173–189. DOI: 10.1007/s10750-008-9656-x

- Crumby, W. D., Webb, M. A., Bulow, F. J., & Cathey, H. J. 1990. Changes in biotic integrity of a river in north-central Tennessee. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119(5), 885–893. DOI: 0.1577/1548-8659
- Dionne, M., & Karr, J. R. 1992. Ecological monitoring of fish assemblages in Tennessee River reservoirs. In: McKenzie D. H., Hyatt D. E. & McDonald V. J. (Eds.). *Ecological indicators*. pp. 259–281. Boston: Springer.
- EPA. 1987. *Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume II. Users' manual for biological field assessment of Ohio surface waters*. Columbus: Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section.
- Esteves, K. E., & Alexandre, C. V. 2011. Development of an index of biotic integrity based on fish communities to assess the effects of rural and urban land use on a stream in southeastern Brazil. *International Review of hydrobiology*, 96(3), 296–317. DOI: 10.1002/iroh.201111297
- Fausch, K. D., Karr, J. R., & Yant, P. R. 1984. Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113(1), 39–55. DOI: 10.1577/1548-8659(1984)113<39:RAOAI0>2.0.CO;2
- Fausch, K. D., & Schrader, L. H. 1987. Use of the index of biotic integrity to evaluate the effects of habitat, flow, and water quality on fish communities in three Colorado Front Range streams. Final Report to Kodak-Colorado Division and the Cities of Fort Collins, Loveland, Greeley, Longmont, and Windsor. Colorado: Department of Fishery and Wildlife Biology: Colorado State University: p. 53.
- Ferreira, C. P., & Casatti, L. 2006. Integridade biótica de um córrego na bacia do Alto Rio Paraná avaliada por meio da comunidade de peixes. *Biota Neotropica*, 6(3), 1–25. DOI: 10.1590/S1676-06032006000300002
- Gammon, J. R., & Simon, T. P. 2000. Variation in a great river index of biotic integrity over a 20-year period. In: Jungwirth, M., Muhar, S. & Schmutz S. (Eds.). *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters. Developments in Hydrobiology*, vol 149. pp. 291–304. Dordrecht: Springer.

- Ganasan, V., & Hughes, R. M. 1998. Application of an index of biological integrity to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra, India. *Freshwater Biology*, 40(2), 367–383. DOI: 10.1046/j.1365-2427.1998.00347.x
- Goldstein, R. M., Simon, T. P., Bailey, P. A., Ell, M., Schmidt, K., & Emblom, J. W. 1994. Proposed metrics for the index of biotic integrity for the streams of the Red River of the North basin. *Proceedings of the North Dakota Water Quality Symposium*, 30, 169–80.
- Harris, J. H. 1995. The use of fish in ecological assessments. *Australian Journal of Ecology*, 20, 65–80. DOI: 10.1111/j.1442-9993.1995.tb00523.x
- Hay, C. J., Van Zyl, B. J., & Steyn, G. J. 1996. A quantitative assessment of the biotic integrity of the Okavango River, Namibia, based on fish. *Water SA*, 22(3), 263–284.
- Hocutt, C. H., Johnson, P. N., Hay, C., & Van Zyl, B. J. 1994. Biological basis of water quality assessment: the Kavango River, Namibia. *Revue Hydrobiologique Tropicale*, 27(4), 361–384.
- Hughes, R. M., & Gammon, J. R. 1987. Longitudinal changes in fish assemblages and water quality in the Willamette River, Oregon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116(2), 196–209. DOI: 10.1577/1548-8659(1987)116<196:LCIFAA>2.0.CO;2
- Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Herlihy, A. T., Kincaid T. M., Reynolds L., & Larsen, D. P. 1998. A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(7), 1618–1631. DOI: 10.1139/cjfas-55-7-1618
- Karr, J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27. DOI: 10.1577/1548-8446(1981)006<0021:AObIUF>2.0.CO;2
- Karr, J. R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R., & Schlosser, I. J. 1986. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. Champaign: Illinois Natural History Survey Special Publication 5. p. 28.
- Kesminas, V., & Virbickas, T. 2000. Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania. *Hydrobiologia*, 422, 257-270.

- Langdon, R. W. 1989. The development of fish population-based biocriteria in Vermont. In: Simon, T. P., Holst L. L. & Shepard, L. J. (Eds.). Proceedings of the First National Workshop on Biological Criteria. pp. 12–25. Chicago: Environmental Protection Agency & Environmental Sciences Division.
- Leonard, P. M., & Orth, D. J. 1986. Application and testing of an index of biotic integrity in small, coolwater streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115(3), 401–414. DOI: 10.1577/1548-8659(1986)115:2.0.CO;2
- Lyons, J. D. 1992. Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater streams of Wisconsin. US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. p. 48.
- Lyons, J. 2006. A fish-based index of biotic integrity to assess intermittent headwater streams in Wisconsin, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 122(1–3), 239–258. DOI: 10.1007/s10661-005-9178-1
- Lyons, J., Navarro-Perez, S., Cochran, P. A., Santana, E., & Guzmán-Arroyo, M. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in West-Central México. *Conservation Biology*, 9, 569–584.
- McCormick, F. H., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Peck, D. V., Stoddard, J. L., & Herlihy, A. T. 2001. Development of an index of biotic integrity for the Mid-Atlantic Highlands region. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130(5), 857–877. DOI: 10.1577/1548-8659(2001)130<0857:DOAIOB>2.0.CO;2
- Moyle, P. B., Brown, L. R., & Herbold, B. 1986. Final report on development and preliminary tests of indices of biotic integrity for California. Final Project Report to Environmental Protection Agency. Corvallis: Environmental Research Laboratory.
- Oberdorff, T., & Hughes, R. M. 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia*, 228(2), 117–130. DOI: 10.1007/BF00006200

- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., & Porcher, J. P. 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of rivers “health” in France. *Freshwater Biology*, 47(9), 1720–1735. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2002.00884.x
- Prudente, B. S., Pompeu, P. S., & Montag, L. 2018. Using multimetric indices to assess the effect of reduced impact logging on ecological integrity of Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 91, 315–323. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.04.020
- Ruaro, R., Mormul, R. P., Gubiani, É. A., Piana, P. A., Cunico, A. M., & Graça, W. J. 2018. Non-native fish species are related to the loss of ecological integrity in Neotropical streams: a multimetric approach. *Hydrobiologia*, 817(1), 413–430. DOI: 10.1007/s10750-018-3542-y
- Saylor, C., & Scott Jr., E. M. 1987. Application of the index of biotic integrity to existing TVA data. Norris: Office of Natural Resources and Economic Development; Tennessee Valley Authority. p. 25.
- Schleiger, S. L. 2000. Use of an index of biotic integrity to detect effects of land uses on stream fish communities in west-central Georgia. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(5), 1118–1133. DOI: 10.1577/1548-8659(2000)129<1118:UOAI0B>2.0.CO;2
- Smogor, R. A., & Angermeier, P. L. 1999. Relations between fish metrics and measures of anthropogenic disturbance in three IBI regions in Virginia. In: Simon, T. P. (Ed.). *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. pp. 585–610. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Thompson, B. A., & Fitzhugh, G. R. 1986. A use attainability study: an evaluation of fish and macroinvertebrate assemblages of the Lower Calcasieu River, Louisiana. Louisiana: Department of Environmental Quality, Office of Water Resources. p. 143.
- Toham, A. K., & Teugels, G. G. 1999. First data on an index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical west African river system. *Hydrobiologia*, 397, 29–38. DOI: 10.1023/A:1003605801875

Trebitz, A. S., Hill, B. H., & McCormick, F. H. 2003. Sensitivity of indices of biotic integrity to simulated fish assemblage changes. *Environmental Management*, 32(4), 499–515. DOI: 10.1007/s00267-003-0061-y