

Peixes frugívoros e os impactos climáticos na distribuição nativa do Tambaqui

Frugivorous fish and climatic impacts on the native distribution of Tambaqui

RESUMO

Bruno de Lima Torquato de Andrade
brunoandrade@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Edivando Vitor do Couto
edivandocouto@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Visando estimar as consequências das mudanças climáticas à distribuição espacial de espécies aquáticas, uma abordagem de modelagem de nicho ecológico (MNE) foi utilizada para o peixe *Colossoma macropomum*, nativo da Bacia Amazônica. As ocorrências foram obtidas através da base de dados *AmazonFish*, a qual aliada a dados climático-ambientais permitiu a MNE conjunta de 7 modelos diferentes por técnica de projeção combinada para o tempo presente, bem como 2050 e 2080. Além da modelagem, foi realizada uma revisão bibliográfica para catalogar as espécies frugívoras com base no percentual volumétrico estomacal de frutos ou sementes, identificando 28 espécies frugívoras amazônicas. A adequabilidade climática da MNE para o presente apontou condições inadequáveis nas regiões sudeste e noroeste da bacia para a sobrevivência da espécie. Em todos os cenários futuros, os refúgios climáticos tendem a se concentrar nas porções ao extremo oeste, noroeste e sudoeste, demonstrado por mudanças drásticas de contração na distribuição do *C. macropomum*. Medidas conservacionistas e métodos que abordem o desmatamento como um agente na distribuição de peixes frugívoros podem ser necessários.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia. Bacia Hidrográfica. Dispersão. Inventário. Rios.

ABSTRACT

Aiming to estimate the consequences of climate change on the spatial distribution of aquatic species, an ecological niche modeling (ENM) approach was used for the fish *Colossoma macropomum*, native to the Amazon Basin. The occurrences were obtained through the *AmazonFish* database, which combined with climatic-environmental data allowed the joint ENM of 7 different models by Ensemble Forecast Technique for the present time, as well as 2050 and 2080. In addition to the modeling, a bibliographic review was carried out to catalog frugivorous species based on the stomach percentage of fruits or seeds, identifying 28 frugivorous Amazonian species. The climatic suitability of the ENM for the present pointed to inadequate conditions in the southeast and northwest regions of the basin for the fish survival. In all future scenarios, climate refuges tend to be concentrated in far west, northwest and southwest portions, demonstrated by drastic contraction changes in the distribution of *C. macropomum*. Conservationist measures and methods that address deforestation as an agent in the distribution of frugivorous fish may be necessary.

KEYWORDS: Amazon. Dispersal. Inventory. Rivers. Watershed.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A perda de biodiversidade é um dos problemas ambientais mais críticos da atualidade, ameaçando serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano (CEBALLOS et al., 2015; MACE; NORRIS; FITTER, 2012), estando diretamente relacionada a ações antrópicas, como: alterações no uso da terra, crescimento urbano, desmatamento e mudanças climáticas (ISBELL, 2010). Tais ações desencadeiam impactos – muitas vezes irreversíveis – que modificam a paisagem, as dividindo em pequenos fragmentos ou destruindo completamente habitats naturais (FERREIRA et al., 2019; LADLE; WHITTAKER, 2011; RIBEIRO, 2009; TOMADON, 2019).

Ambientes aquáticos, principalmente os de água doce, podem ser um dos ecossistemas mais ameaçados em todo o mundo (DUDGEON et al., 2006). A conservação destes ecossistemas é fundamental, já que através deles é possível encontrar recursos vitais para os seres humanos, além de serem habitats com biota extraordinariamente rica, endêmica e sensível (STRAYER; DUDGEON, 2010). Porém, estes ambientes sofrem diferentes consequências quando submetidos a atividades humanas, como o ocasionado pelas mudanças climáticas (FICKE; MYRICK; HANSEN, 2007; VAN VLIET; LUDWIG; KABAT, 2013; DÖLL; ZHANG, 2010).

Além do meio aquático, também é possível averiguar impactos acentuados por outras influências, como as mudanças no uso da terra, um caso pertinente para a Floresta Amazônica, a qual vêm sendo deteriorada devido negligência de sua conservação, com altos picos na taxa de desmatamento e constante aumento no número de incêndios (AMIGO, 2020; BRANDO et al., 2020; INPE, 2020).

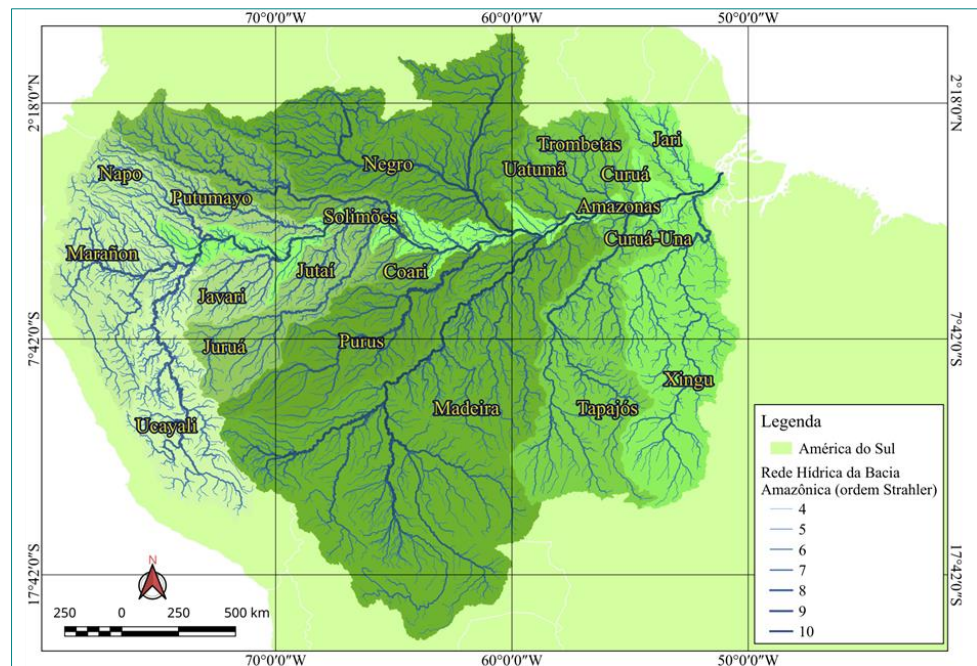
Com os rios e as florestas afetadas, surgem efeitos complexos na distribuição potencial dos peixes de água doce, alterando as condições ambientais onde os mesmos encontram os requisitos necessários para seu ciclo de vida (LOPES et al., 2017; STEEL et al., 2017). Vale salientar que espécies de peixes frugívoros e herbívoros consumidores de vegetais superiores, como o *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) – ou de nome popular Tambaqui, um peixe de água doce e quente – (ISAAC; MILSTEIN; RUFFINO, 1996), são particularmente vulneráveis frente ao impacto de perda florestal (HORN et al., 2011; TOMADON et al., 2019), pois desempenham uma interação planta-animal fundamental que contribui para a manutenção da diversidade biológica e funcional em comunidades de plantas e peixes (HORN et al., 2011; ANDERSON; SALDAÑA; FLECKER, 2009; CORREA et al., 2016). Entretanto, diante do crescente desflorestamento, este mutualismo encontra-se ameaçado (CORREA et al., 2016; GALETTI et al., 2008).

Portanto, aplicamos uma modelagem de nicho ecológico (MNE), visando estimar para a espécie *Colossoma macropomum* as consequências dos impactos de mudanças climáticas aliado às mudanças do uso da terra frente ao desmatamento na Floresta Amazônica, identificando possíveis refúgios climáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica Amazônica (Figura 1) é uma região hidrográfica que representa cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do país, além de ser a maior bacia do mundo (IBAMA, 2005), drenando mais de 6 milhões de km² e descarregando aproximadamente 15% de toda água doce que chega nos oceanos (MARENGO, 2005).

Figura 1 – Bacia Amazônica identificada com suas principais sub-bacias.



Fonte: Autoria própria.

Utilizando apenas espécies de peixes de procedência nativa da Bacia Amazônica – confirmadas a partir do *Eschmeyer's Catalog of Fishes* (DAGOSTA; PINNA, 2019) –, categorizamos e selecionamos espécies que se alimentam de material vegetal terrestre, geralmente ligado à vegetação ripária, como: flores, plantas, frutos e sementes. Esta seleção se deu a partir de artigos científicos e bibliografia especializada (HORN et al., 2011; DAGOSTA; PINNA, 2019; GALVIS et al., 2006; GALVIS et al., 2007a; GALVIS et al., 2007b; VAN DER SLEEN; ALBERT, 2017), suplementada por uma extensa revisão na literatura a partir do *Google Scholar* (<https://scholar.google.com>) e *ScienceDirect* (<https://www.sciencedirect.com>), analisando a descrição biológica ou os conteúdos estomacais com base em percentuais volumétricos, bem como em índices alimentares ou em frequência de ocorrência (HYNES, 1950; HYSLOP, 1980; KAWAKAMI; VAZZOLER, 1980), sempre considerando valores maiores que 50%; desconsiderando os peixes que consomem de forma incidental alimentos pertinentes da dieta frugívora ou herbívora, bem como as espécies que são menores que 15 cm de largura, já que usualmente consomem frutos de gramíneas.

As ocorrências dos peixes frugívoros herbívoros definidos na listagem foram obtidas a partir da base de dados *AmazonFish* (JÉZÉQUEL et al., 2020), uma coletânea de registros georreferenciados de espécies de peixes em toda a Bacia Amazônica. O mapeamento destas ocorrências foi feito em uma malha geográfica de células com 10 km de resolução e EPSG 6933 sobre a rede hídrica da bacia para a produção de uma matriz de presença e pseudo-ausência das espécies.

Utilizamos uma combinação de distintas medidas de temperatura ou precipitação, obtidas para o presente por meio da base de dados *WorldClim* e apresentadas em 19 diferentes categorias (ver <https://worldclim.org>). As mesmas variáveis bioclimáticas (bio1 à bio19) foram consideradas para os cenários dos anos de 2050 e 2080, porém acatando dados de projeções futuras obtidas do *Research*

Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS; <http://ccafs-climate.org/>). Já como variáveis hidrológicas, uma combinação de medidas de altitude dos corpos aquáticos e do fluxo de água das células foram adotadas, obtidas por meio da base de dados *HydroSheds*, sendo elas (ver <https://www.hydrosheds.org/>): *length_*, *dist_dn*, *dist_up*, *catch_s*, *upland_*, *dis_av_*, *ord_str* e *ord_flo*. Estas foram consideradas como temporariamente estacionárias para a modelagem nos tempos futuros. Por fim, a colinearidade das variáveis acima discutidas foi avaliada por meio de análise do fator de inflação de variação (VIF), a fim de se definir as variáveis a serem utilizadas para treino e teste.

As projeções futuras necessitam de Modelos Gerais de Circulação Oceânico-Atmosférica, assim, aplicamos quatro modelos em diferentes cenários de emissão de gases efeito estufa (4.5, cenário moderado; 8.5, cenário pessimista) baseados no *Representative Concentration Pathway* (RCP): *Community Climate System Model* (CCSM; <http://www.cesm.ucar.edu>); *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO; <http://www.csiro.au>); *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC; <http://www.gissclimate.org>); e *Meteorological Research Institute* (MRI; <http://www.mri-jma.go>).

A modelagem de nicho ecológico (MNE) foi adotada para analisar os efeitos das variáveis climático-ambientais sobre a distribuição da espécie frugívora *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816). A fim de evitar incertezas metodológicas pertinentes à cada MNE, a técnica de projeção combinada (Ensemble Forecast Technique; ARAUJO; NEW, 2007) foi aplicada. Os algoritmos de MNE utilizados foram classificados em duas categorias, onde a primeira assume uma projeção a partir de dados de presença, como: Bioclim (*Bioclimatic Analysis*; BUSBY, 1991), bioclim.dismo (*Bioclimatic Analysis*; HIJMANS et al., 2017), domain.dismo (*Euclidean Distance*; CARPENTER; GILLISON; WINTER, 1993), fda (*Flexible Discriminant Analysis*; HASTIE; TIBSHIRANI; BUJA, 1994), e mars (*Multivariate Adaptive Regression Splines*; FRIEDMAN, 1991); e a segunda, que assume dados de presença e de segundo plano (*background*) – com o intuito de considerar como ausência dados que refletem o ambiente em que a espécie é conhecida (PEARSON, 2010) –, como: brt (*Boosted Regression Trees*; ELITH; LEATHWICK; HASTIE, 2008), cart (*Classification and Regression Trees*; BREIMAN et al., 1984), maxent (*Maximum Entropy*; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006), mlp (*Multi Layer Perceptron*; POPESCU et al., 2009), rbf (*Radial Basis Function*; BUHMANN, 2003), rf (*Random Forests*; BREIMAN, 2001), rpart (*Recursive Partitioning for Classification*; BREIMAN et al., 1984), e svm (*Support Vector Machines*; VAPNIK, 1998). Cada um destes algoritmos utilizou 75% das ocorrências para treino e 25% para teste, com agrupamento em 4 conjuntos (4 k-folds) para a avaliação do teste.

A partir do conjunto de projeções criadas pelos MNEs, os mesmos foram avaliados pela representação da Área Sob a Curva (AUC) (JIMÉNEZ-VALVERDE, 2012), considerando apenas modelos com valores de AUC iguais ou maiores que 0.8, já que indicam bons modelos (SWETS, 1988). Todas as modelagens para o *C. macropomum* foram feitas com a ajuda do software RStudio (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas na literatura 28 espécies nativas da Bacia Amazônica com hábito frugívoro-herbívoro, distribuídas em 8 famílias e 3 ordens (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista de espécies frugívoras. “CMáx.”: comprimento máximo; “C. E.”: % frutos/sementes no conteúdo estomacal. “Reg.”: Regime do rio na análise estomacal.

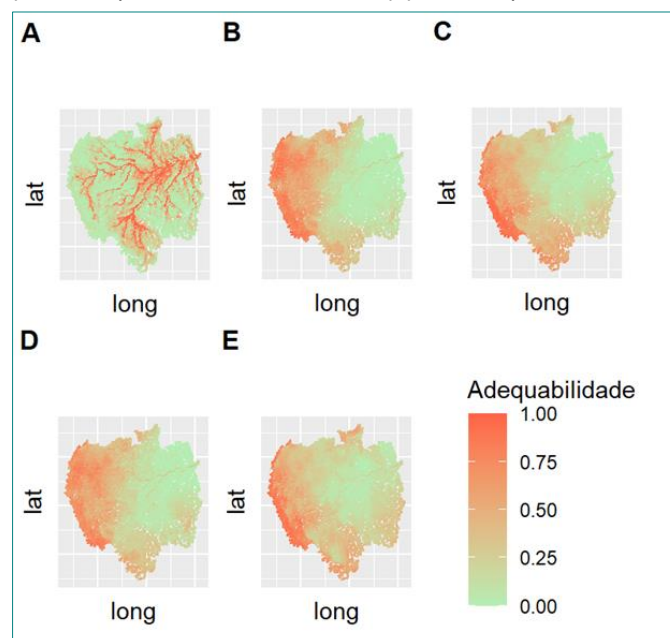
Ordem	Família	Espécie	CMáx	C. E.	Reg.
Characiformes	Anostomidae	<i>Leporinus agassizii</i>	23,4	>70	Cheia
		<i>Leporinus brunneus</i>	25,6	>70	Cheia
		<i>Leporinus fasciatus</i>	37,0	>70	Cheia
		<i>Leporinus friderici</i>	40,0	71	Cheia
		<i>Leporinus klausewitzii</i>	83,1	>70	Cheia
		<i>Megaleporinus trifasciatus</i>	23,8	89	Ambos
	Bryconidae	<i>Brycon amazonicus</i>	46,2	58,3	Cheia
		<i>Brycon falcatus</i>	37,0	>70	Cheia
		<i>Brycon melanopterus</i>	38,0	>70	Cheia
	Erythrinidae	<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	25,0	55	-
	Triportheidae	<i>Triportheus albus</i>	25,7	>70	Cheia
		<i>Triportheus angulatus</i>	23,8	>70	Cheia
	Serrasalminae	<i>Colossoma macropomum</i>	108,0	88	Cheia
		<i>Metynnis hypsauchen</i>	18,0	77,8	-
		<i>Myloplus asterias</i>	25,0	94,3	Ambos
		<i>Myloplus torquatus</i>	26,5	80,2	Ambos
		<i>Myloplus rubripinnis</i>	41,5	86,2	Cheia
		<i>Mylossoma aureum</i>	20,0	81	Seca
		<i>Mylossoma duriventre</i>	25,0	79	-
		<i>Piaractus brachipomus</i>	88,0	100	-
		<i>Pristobrycon calmoni</i>	15,0	>70	Cheia
		<i>Pristobrycon striolatus</i>	20,1	>70	Cheia
Perciformes	Cichlidae	<i>Astronotus ocellatus</i>	45,7	60,0	-
		<i>Geophagus altifrons</i>	26,5	100	-
Siluriformes	Doradidae	<i>Lithodoras dorsalis</i>	100,0	100	Cheia
	Pimelodidae	<i>Pimelodus blochii</i>	35,0	>70	-
		<i>Platynemathichthys notatus</i>	80,0	>70	Cheia
		<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	135,0	100	-

Fonte: Blanco-Parra e Bejarano-Rodriguez (2006); Mérona e Rankin-De-Mérona (2004); Silva (2006); Hawlitschek, Yamamoto e Carvalho-Neto (2013); Correa e Winemiller (2014); Röpké (2008); Maia e Chalco (2002); Kubitzki e Ziburski (1994).

As ordens das espécies acima – Characiformes (pacus, piranhas), Perciformes (percas) e Siluriformes (peixe-gatos, bagres) – classificam em geral peixes maiores que realizam uma ingestão de sementes inteiras (HORN et al., 2011), facilitando a dispersão. Os peixes frugívoros aqui listados funcionam como reforço à extensos inventários de espécies frugívoras nativas da Amazônia, como o de Horn (2011).

Ao executar a análise por Fator de Variação de Inflação (VIF) com um threshold de 0.5 e utilizando as variáveis preditoras (bio_01 à bio_19, juntamente das oito variáveis hidrológicas), 19 variáveis foram excluídas devido à problemas de colinearidade, mantendo-se 8, (bio_02, bio_03, bio_13, bio_18, length_, dist_dn, dis_av_, e ord_flow). Com as variáveis definidas, o ajuste e treinamento dos 13 modelos foi possível, selecionando os métodos em que o valor do AUC foi maior ou igual a 0,8, ou seja, os métodos brt, fda, mars, maxent, mlp, rbf, e rf foram selecionados para a aplicação na MNE envolvendo o presente e os cenários de emissão de gases a partir dos modelos RCP nos anos de 2050 e 2080, através do consenso entre os melhores modelos e dos diferentes cenários (CCSM, CSIRO, MIROC, e MRI), gerando o mapa da potencial distribuição do Tambaqui (Figura 2).

Figura 2 – Potencial distribuição do *C. macropomum* a partir do consenso entre melhores modelos. (A) Presente; (B) Cenário moderado 4.5 em 2050; (C) Cenário moderado 4.5 em 2080; (D) Cenário pessimista 8.5 em 2050; (E) Cenário pessimista 8.5 em 2080.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados da adequabilidade climática da modelagem consenso para o presente apontaram condições inadequáveis nas regiões sudeste e noroeste da bacia para a sobrevivência do Tambaqui. Em contrapartida, os rios amazônicos centrais e sulistas apresentaram as melhores condições, sendo visto que a presença do peixe se deu prioritariamente em corpos hídricos de maior ordem na hierarquia Strahler (ver novamente Figura 1), encontradas nas regiões de planície de inundação, estas que oscilam entre fases terrestres e aquáticas, e que evidenciam a presença típica da espécie (VAN DER SLEEN; ALBERT, 2017).

Em geral, nosso estudo revelou possíveis perdas nas áreas adequadas ao *C. macropomum* quando este é colocado frente às mudanças climáticas. A distribuição espacial do peixe demonstrou um refúgio destes indivíduos para as porções ao extremo oeste, noroeste e sudoeste da bacia em ambos os cenários futuros (pessimista e moderado) de 2050 e 2080, tornando a espécie ausente em todas as outras regiões anteriormente abundantes – em principal a central, a sul e a nordeste. Assim como os resultados de Lopes (2017) para a mesma espécie, o

fenômeno de contração do alcance de distribuição e sua consequente mudança espacial com as regiões antes não adequadas também pôde ser encontrado em nossa modelagem, podendo gerar potenciais conflitos na conservação do animal.

Ainda em relação à potencial distribuição do *C. macropomum* para os cenários futuros, existe uma tendência de redução drástica de sua distribuição geográfica. Geralmente, estudos suportam que a contração do alcance da distribuição é um fenômeno que ocorre por parte dos peixes de água fria em resposta às mudanças climáticas, enquanto espécies de água quente tendem a expandir seus alcances (COMTE et al., 2013; HEINO; VIRKKALA; TOIVONEN, 2009). Entretanto, as informações disponíveis transparecem uma lacuna científica, justificada por pesquisas enviesadas aos estudos de regiões temperadas (em geral mais geladas e com peixes de águas frias), limitando a generalização do fenômeno de contração do alcance da distribuição geográfica (HEINO; VIRKKALA; TOIVONEN, 2009).

Com a contração da distribuição também ocorrem consequências aos aspectos socioeconômicos da região. Nos futuros cenários, com a possível inadequabilidade de permanência da espécie em sua distribuição atual, é esperado um declínio na taxa intrínseca de crescimento populacional, levando à cenários de extinção ao decorrer do tempo e prejudicando práticas conservacionistas (LOPES et al., 2017). Ainda, este declínio populacional tende a causar grandes danos econômicos devido à importância na pesca regional (ISAAC; MILSTEIN; RUFFINO, 1996; RUFFINO; ISAAC, 1994; SAINT-PAUL, 1985). O Tambaqui foi explorado comercialmente na Bacia Amazônica ao menos desde o século XIX, tornando-se uma das principais espécies de desembarques pesqueiros (ISAAC; MILSTEIN; RUFFINO, 1996; RUFFINO; ISAAC, 1994) e consumo local (ISAAC; RUFFINO, 1996).

Por mais que nosso modelo tenha demonstrado uma drástica redução na distribuição do Tambaqui baseada em variações de temperatura e dinâmicas de precipitação, é possível que ele e outros peixes nativos da Bacia Amazônica possam ser particularmente vulneráveis frente à perda florestal (HORN et al., 2011; TOMADON et al., 2019), tornando assim necessário uma expansão do estudo para a inclusão de variáveis que digam respeito à mudança do uso da terra.

CONCLUSÃO

A espécie *C. macropomum* demonstrou mudanças drásticas de contração em sua distribuição para os cenários moderados e pessimistas de 2050 e 2080, diminuindo o alcance potencial de sua distribuição futura na Bacia Amazônica, principalmente no pior cenário de 2080, o que já era esperado, corroborando para uma maior necessidade de medidas conservacionistas. Métodos que considerem alterações na cobertura vegetal podem ser aplicados, a fim de abordar o efeito do desmatamento como um agente na distribuição de peixes frugívoros e herbívoros.

Por fim, a MNE deve ser abordada para o restante das espécies nativas, a fim de se estudar um consenso entre elas, definindo melhores áreas de conservação de acordo com refúgios climático-ambientais gerados por ações antrópicas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Araucária FA – Paraná/Brasil. Gratidão especial à Dayani Bailly e Reginaldo Ré pelas orientações.

REFERÊNCIAS

AMIGO, I. When will the Amazon hit a tipping point? **Nature**, p. 3, 27 fev. 2020.

ANDERSON, J. T.; SALDAÑA, R. J.; FLECKER, A. S. High-quality seed dispersal by fruit-eating fishes in Amazonian floodplain habitats. **Oecologia**, v. 161, n. 2, p. 279–290, 2009.

ARAUJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, jan. 2007.

BLANCO-PARRA, M. DEL P.; BEJARANO-RODRIGUEZ, I. Alimentación y reproducción de las principales especies ícticas del río Mesay durante el período de “aguas altas”. **Rev. biol. trop.**, v. 54, n. 3, p. 853–859, 2006.

BRANDO, P. M. et al. The gathering firestorm in southern Amazonia. **Science Advances**, v. 6, n. 2, p. eaay1632, 10 jan. 2020.

BREIMAN, L. et al. **Classification and Regression Trees**. Wadsworth, CA: Belmont, 1984.

BREIMAN, L. Statistical Modeling: The Two Cultures. **Statistical Science**, v. 16, n. 3, p. 199–231, 2001.

BUHMANN, M. D. **Radial Basis Functions**. New York, United States: Cambridge University Press, 2003.

BUSBY, J. R. Bioclim, a Bioclimatic Analysis and Prediction System. In: MARGULES, C. R.; AUSTIN, M. P. (Eds.). **Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis**. Canberra: Intl Specialized Book Services, 1991. p. 64–68.

CARPENTER, G.; GILLISON, A. N.; WINTER, J. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. **Biodiversity and Conservation**, v. 2, p. 667–680, 1993.

CEBALLOS, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, jun. 2015.

COMTE, L. et al. Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. **Freshwater Biology**, v. 58, n. 4, p. 625–639, abr. 2013.

CORREA, S. B.; WINEMILLER, K. O. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. **Ecology**, v. 95, n. 1, p. 210–224, jan. 2014.

CORREA, S. B. et al. Stability and generalization in seed dispersal networks: a case study of frugivorous fish in Neotropical wetlands. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1837, p. 20161267, 2016.

DAGOSTA, F. C. P.; PINNA, M. C. C. DE. The Fishes of the Amazon: Distribution and Biogeographical Patterns, with a Comprehensive List of Species. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 431, p. 163, 2019.

DÖLL, P.; ZHANG, J. Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 5, p. 783–799, 21 maio 2010.

DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v. 81, n. 02, p. 163, 12 maio 2006.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. A working guide to boosted regression trees. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 4, p. 802–813, jul. 2008.

FERREIRA, I. J. M. et al. Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in southern Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 81, n. 2, p. 175–184, 2019.

FICKE, A. D.; MYRICK, C. A.; HANSEN, L. J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 17, n. 4, p. 581–613, 1 nov. 2007.

FRIEDMAN, J. H. **Multivariate adaptive regression splines**. Annals of Statistics 19. Anais...1991

GALETTI, M. et al. Big Fish are the Best: Seed dispersal of *Bactris glaucescens* by the pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*) in the Pantanal, Brazil. **Biotropica**, v. 40, n. 3, p. 386–389, 2008.

GALVIS, G. et al. Peces del medio Amazonas: Región de Leticia. In: EDITORIAL PANAMERICANA, F. E I. (Ed.). **Serie de Guías Tropicales de Campo N° 5**. Bogotá, Colombia: Conservación Internacional, 2006. p. 548.

GALVIS, G. et al. **Peces de la Orinoquía colombiana con énfasis en especies de interés ornamental**. 1. ed. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007a.

GALVIS, G. et al. **Peces de la Amazonía colombiana con énfasis en especies de interés ornamental**. 1. ed. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007b.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; BUJA, A. Flexible Discriminant Analysis by Optimal Scoring. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 428, p. 1255–1270, 27 dez. 1994.

HAWLITSCHKE, O.; YAMAMOTO, K. C.; CARVALHO-NETO, F. G. M. R. Diet Composition of Fish Assemblage of Lake Tupe, Amazonas, Brazil. **Rev. Colombiana cienc. Anim.**, v. 5, n. 2, p. 313–326, 2013.

HEINO, J.; VIRKKALA, R.; TOIVONEN, H. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. **Biological Reviews**, v. 84, n. 1, p. 39–54, fev. 2009.

HIJMANS, R. J. et al. **Species Distribution Modeling: package “dismo”**, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>

HORN, M. H. et al. Seed dispersal by fishes in tropical and temperate fresh waters: The growing evidence. **Acta Oecologica**, v. 37, n. 6, p. 561–577, nov. 2011.

HYNES, H. B. N. The food of fresh water Sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. **Journal of Animal Ecology**, v. 19, n. 1, p. 36–58, 1950.

HYSLOP, E. J. Stomach contents analysis - a review of methods and their application. **Journal of Fish Biology**, v. 17, n. 4, p. 411–429, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica**. 1. ed. Brasília: MMA: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Taxa PRODES Amazônia - 2004 a 2019 (Km²)**. Disponível em:
<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> Acesso em:
20 maio. 2020.

ISAAC, V. J.; MILSTEIN, A.; RUFFINO, M. L. A PESCA ARTESANAL NO BAIXO AMAZONAS: ANÁLISE MULTIVARIADA DA CAPTURA POR ESPÉCIE. **Acta Amazonica**, v. 26, n. 3, p. 185–208, set. 1996.

ISAAC, V. J.; RUFFINO, M. L. Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 3, n. 4, p. 315–333, 30 dez. 1996.

ISBELL, F. Causes and Consequences of Biodiversity Declines. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 54, 2010.

JÉZÉQUEL, C. et al. A database of freshwater fish species of the Amazon Basin. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 96, 19 dez. 2020.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 4, p. 498–507, 2012.

KAWAKAMI, E.; VAZZOLER, G. Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. **Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela**, v. 29, n. 2, p. 205–207, 1980.

KUBITZKI, K.; ZIBURSKI, A. Seed Dispersal in Flood Plain Forests of Amazonia. **Biotropica**, v. 26, n. 1, p. 30, mar. 1994.

LADLE, R. J.; WHITTAKER, R. J. (EDS.). **Conservation Biogeography**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

LOPES, T. M. et al. Two sides of a coin: Effects of climate change on the native and non-native distribution of *Colossoma macropomum* in South America. **PLOS ONE**, v. 12, n. 6, p. e0179684, 27 jun. 2017.

MACE, G. M.; NORRIS, K.; FITTER, A. H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 27, n. 1, p. 19–26, jan. 2012.

MAIA, L. A.; CHALCO, F. P. Produção de frutos de espécies da floresta de Várzea da Amazônia Central importantes na alimentação de Peixes. **Acta Amazonica**, v. 32, n. 1, p. 45–53, mar. 2002.

MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget. **Climate Dynamics**, v. 24, n. 1, p. 11–12, 2005.

MÉRONA, B. DE; RANKIN-DE-MÉRONA, J. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain. **Neotropical Ichthyology**, v. 2, n. 2, p. 75–84, jun. 2004.

PEARSON, R. G. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. **Lessons in Conservation**, v. 3, p. 54–89, 2010.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006.

POPESCU, M.-C. et al. Multilayer perceptron and neural networks. **WSEAS Transactions on Circuits and Systems**, v. 8, n. 7, p. 579–588, 2009.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

RÖPKE, C. P. **Estrutura trófica das assembléias de peixes em biótopo de herbáceas nos rios Araguaia (Tocantins) e Trombetas (Pará), Brasil**. [s.l.] Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 2008.

RUFFINO, M. L.; ISAAC, V. J. The Fisheries of the Lower Amazon: Questions of Management and Development. **Acta Biologica Venezuelica**, v. 15, n. 2, p. 37–46, 1994.

SAINT-PAUL, U. The Neotropical Serrasalmid *Colossoma Macropomum*, a Promising Species for Fish Culture in Amazonia. **Animal Research and Development**, v. 22, p. 7–35, 1985.

SILVA, C. C. DA. **Dieta da comunidade de peixes na área de influência da UHE de Balbina - rio Uatumã, Amazonas, Brasil.** [s.l.] Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas do Amazonas - INPA, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 2006.

STEEL, E. A. et al. Envisioning, Quantifying, and Managing Thermal Regimes on River Networks. **BioScience**, v. 67, n. 6, p. 506–522, jun. 2017.

STRAYER, D. L.; DUDGEON, D. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 344–358, mar. 2010.

SWETS, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285–1293, 1988.

TOMADON, L. DA S. **Impactos das ações antrópicas sobre a distribuição da espécie de peixe *Piaractus mesopotamicus* na bacia hidrográfica Paraná-Paraguai.** [s.l.] Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

TOMADON, L. DA S. et al. Significance of forest fragments for conservation of endangered vascular plant species in southern Brazil hotspots. **Écoscience**, v. 26, n. 3, p. 221–235, 2019.

VAN DER SLEEN, P.; ALBERT, J. S. (EDS.). **Field Guide to the Fishes of the Amazon, Orinoco, and Guianas.** 1. ed. [s.l.] Princeton University Press, 2017.

VAN VLIET, M. T. H.; LUDWIG, F.; KABAT, P. Global streamflow and thermal habitats of freshwater fishes under climate change. **Climatic Change**, v. 121, n. 4, p. 739–754, 25 dez. 2013.

VAPNIK, V. N. SV Machines for Pattern Recognition. In: **Statistical Learning Theory.** New York: John Wiley & Sons, 1998. p. 493–520.