

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 31/03/2022.



CAMPUS DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

Escala espacial e histórico do desmatamento: respostas do índice de integridade biótica da ictiofauna em riachos amazônicos

MESTRADO

PÓS GRADUAÇÃO
EM BIOLOGIA ANIMAL





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Campus de São José do Rio Preto

Camila Ortigossa

**Escala espacial e histórico do desmatamento: respostas do índice de
integridade biótica da ictiofauna em riachos amazônicos**

São José do Rio Preto
2020

Camila Ortigossa

Escala espacial e histórico do desmatamento: respostas do índice de integridade biótica da ictiofauna em riachos amazônicos

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES, CNPq e FAPESP – Proc.16/01535-3

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lilian Casatti

São José do Rio Preto
2020

O77e	Ortigossa, Camila Escala espacial e histórico do desmatamento: respostas do índice de integridade biótica da ictiofauna em riachos amazônicos / Camila Ortigossa. -- São José do Rio Preto, 2020 87 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto Orientadora: Lilian Casatti 1. Monitoramento biológico. 2. Desmatamento. 3. Ictiofauna. 4. Degradação ambiental. 5. Ecologia de água doce. I. Título.
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Camila Ortigossa

Escala espacial e histórico do desmatamento: respostas do índice de integridade biótica da ictiofauna em riachos amazônicos

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES, CNPq e FAPESP – Proc.16/01535-3

Comissão Avaliadora

Prof^a. Dr^a Lilian Casatti

UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu

Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag

Universidade Federal do Pará – Instituto de Ciências Biológicas

São José do Rio Preto
31 de março de 2020

Dedico esse trabalho aos meus pais, minha irmã, e meus avós.

Pois só o amor faz florescer,
e deixa permanecer,
ainda que todo resto seja passageiro.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Valéria e Ideraldo, por me amarem incondicionalmente e me apoiarem diariamente. Vocês são meu exemplo de vida. Obrigada por valorizarem quem eu sou e o caminho que escolhi, por lutarem por isso e estarem comigo a cada passo. Vocês são a minha força, meu lar e tudo que tenho de bom hoje é reflexo de tudo que vocês são e do que me ensinaram. Admiro e amo vocês de todo coração.

A minha irmã, que sempre vai ser minha parceira pra tudo nesse mundo, agradeço por me amar de longe e de perto, me cuidar como se fosse uma mãe, e rir comigo como se fôssemos crianças. Obrigada por estar comigo nessa trajetória. Eu e você, sempre.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para essa jornada e fizeram de mim uma profissional (e um ser humano) melhor, capaz de desenvolver este trabalho. Agradeço especialmente a professora Lilian Casatti, minha orientadora, por ter sido minha mentora e confiado em mim, e por ter estado me apoiando durante esses anos. Agradeço imensamente pela oportunidade que me deu em 2017 e por ter me ensinado tanto, esse período me trouxe vivências únicas e realizações que nem pensava conseguir atingir.

Aos meus colegas de laboratório, agradeço muito pela parceria, pelas conversas, pelos churrascos, pelas risadas e os surtos. Foi muito significativo estar perto de pessoas e pesquisadores incríveis, obrigada por todas as dicas e trocas de experiência.

Agradeço aos meus amigos, Guilherme Isadora e Luiz Fernando, por estarem sempre por perto e por compartilharmos tudo o que já compartilhamos. Também agradeço a Patrícia e a Carol, que permaneceram ao meu lado por todos esses anos, nos altos e baixos, ainda que de longe. O apoio de cada um fez toda a diferença nesse período. Amo todos vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à qual agradeço. Por último, agradeço as agências de fomento FAPESP, pela concessão da bolsa de pesquisa, sob processo nº 2016/01535-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, por viabilizarem a coleta do material biológico utilizado nesse estudo.

Resumo

O índice de integridade biótica (IBI) é um índice multimétrico, vastamente utilizado para avaliações de qualidade de corpos d'água, construído a partir das condições de comunidades-alvo de biomonitoramento, sobretudo a ictiofauna. No Brasil, o IBI vem sendo comum em estudos que relacionam a perda de diversidade taxonômica em assembleias aquáticas com as taxas de desmatamento e/ou uso atual do solo. Nesses estudos, a forma mais comum de abordar o desmatamento se restringe ao cenário atual, sem que a trajetória das transformações da paisagem seja considerada, ainda que a escala temporal tenha mostrado grande poder de explicação sobre as condições físicas locais dos riachos e na estrutura das comunidades. Na presente pesquisa, testamos o desempenho do índice de integridade biótica em riachos amazônicos recentemente desmatados. Três índices foram desenvolvidos para o mesmo conjunto de riachos, a partir das escalas local, de paisagem e temporal e seus resultados foram comparados. 77% dos riachos foram categorizados de forma igual nos três IBIs. Esse resultado deve-se principalmente pelo fato de os três IBIs terem selecionado, em sua maioria, as mesmas métricas. A variável temporal (calculada através do índice de intensidade do uso do solo - LUI) não foi capaz de explicar a grande variação de valores de integridade no conjunto de riachos degradados dentro dos três IBIs. A combinação das escalas local e temporal forneceu maior contextualização para os resultados do IBI desenvolvido a partir de LUI. Tais resultados indicam que uma única escala não é suficiente para explicar certos padrões encontrados em condições de desmatamento recente. Indica também que o LUI não é a melhor forma de incorporar a escala temporal no IBI, sendo necessário explorar outras formas de associar a trajetória do uso do solo com as avaliações do IBI.

Palavras chave: Biomonitoramento. Uso do solo. Pastagem. IBI. Índice multimétrico. Desmatamento.

Abstract

The Index of Biotic Integrity (IBI) is a multimetric index widely used for assessments of water bodies based on the conditions of target biomonitoring communities, especially ichthyofauna. In Brazil, IBI has been used mainly to relate the loss of taxonomic diversity of aquatic assemblages with the deforestation rates and/or land use. In these studies, the most common way of approach deforestation is restricted to the current scenario, without considering the landscape transformations trajectory, even though the time scale has shown high power of explanation on the local physical conditions of the streams and their communities. In this study, we tested the performance of the Index of Biotic Integrity in recently deforested Amazonian streams. Three indexes were developed for the same set of streams, based in local, landscape and temporal scales and their results were compared. 77% of the streams were equally categorized into these three IBIs. This result is mainly due to the fact that the three IBIs selected almost the same metrics. The temporal variable (calculated using the Land Use Intensity Index - LUI) was not able to explain the large variation in integrity values in the group of degraded streams in all three IBIs. The combination of local and temporal scales provided better contextualization for the IBI results developed from LUI. Those results indicates that one single scale is not sufficient to explain certain patterns found in recent deforestation scenarios. It also indicates that LUI is not the best way to incorporate the time scale into the IBI, and other ways to associate the land use trajectory with IBI assessments need to be explored.

Keywords: Biomonitoring. Land use. Pasture. IBI. Multimetric index. Deforestation.



(Alexandre Beck, 2019)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 ÁREA DE ESTUDO	14
2.2 COLETA DA ICTIOFAUNA.....	15
2.3 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS PARA DEFINIÇÃO DOS GRUPOS DE RIACHOS	16
2.3.1 Avaliação do uso do solo atual na microbacia	16
2.3.2 Avaliação das condições locais do hábitat	17
2.3.3 Avaliação da trajetória da mudança do uso do solo.....	17
2.4 DEFINIÇÃO DA CONDIÇÃO DE INTEGRIDADE DOS RIACHOS USANDO AS ESCALAS LOCAL, DE PAISAGEM E TEMPORAL	18
2.5 CONSTRUÇÃO DO IBI.....	23
2.5.1 Seleção das métricas	23
2.5.2 Teste de sensibilidade e direção.....	25
2.6 TESTAGEM DOS IBIs	29
2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
3. RESULTADOS	32
3.1 MÉTRICAS SELECIONADAS PELOS IBIs.....	32
3.2 DESEMPENHO DOS IBIs	33
3.3 RESULTADOS DOS IBIs	36
4. DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A – LISTA DE MÉTRICAS DO IBI COMPILADAS DA LITERATURA	55
APÊNDICE B – LISTA DE ESPÉCIES COLETADAS NAS BACIAS DO ARIPUANÃ E JURUENA E CARACTERIZAÇÃO DE ACORDO COM TRAÇOS SELECIONADOS	60
APÊNDICE C – “BOX-PLOTS” CONSTRUÍDOS PARA AS 39 MÉTRICAS TESTADAS INICIALMENTE NO PROTOCOLO PAISAGEM.....	67
APÊNDICE D – “BOX-PLOTS” CONSTRUÍDOS PARA AS 39 MÉTRICAS TESTADAS INICIALMENTE NO PROTOCOLO PHI	74
APÊNDICE E – “BOX-PLOTS” CONSTRUÍDOS PARA AS 39 MÉTRICAS TESTADAS INICIALMENTE NO PROTOCOLO LUI	81

1. INTRODUÇÃO

O Índice de Integridade Biótica (IBI) é um índice multimétrico desenvolvido por Karr (1981), que usa atributos da ictiofauna em seus diversos níveis – indivíduos, populações e suas relações com o ambiente – para avaliar e quantificar a integridade biótica de ecossistemas aquáticos inseridos num gradiente de degradação, quando comparados com uma condição referência. Essa integridade se refere a condições onde há mínima influência antrópica, reflete os processos naturais ecossistêmicos e está associado com a capacidade do ambiente de sustentação e automanutenção de uma comunidade integrada, adaptada e diversa (Karr & Dudley, 1981; Angermeier & Karr, 1994). Assim, o IBI, ao acessar a situação atual da comunidade e elementos chave de sua condição, oferece uma visão holística e fiel das condições do riacho (Fausch et al., 1990; Barbour et al., 1999; Buss et al., 2008).

Por conta dessas características, desde a sua criação, o IBI vem sendo usado e adaptado com sucesso a outros grupos, tais como invertebrados (Uzarski et al. 2010), anfíbios (Hughes et al. 2011) e aves (Glennon & Porter, 2005), bem como para diversas regiões e ecossistemas, em estudos ao redor do mundo. Tem-se como exemplo Oberdorff & Hughes (1992) e Kesminas & Virbickas (2000) na Europa, Lyons e colaboradores (1995) na América Central, Ganasan & Hughes (1998) na Ásia, Toham & Teugels (1999) na África, e Araújo e colaboradores (2003), Ferreira & Casatti (2006) e Petesse e colaboradores (2016) na América do Sul. No Brasil, o índice foi usado principalmente para avaliar as consequências das mudanças de uso do solo nas comunidades aquáticas (Casatti et al., 2009; Santos & Esteves, 2015; Polaz et al., 2017; Chen et al., 2017; Prudente et al., 2018), sobretudo como forma de entender os efeitos da grande supressão de floresta observada ao longo do tempo no país. De acordo com o Projeto MapBiomass (2019), 75 milhões de hectares de florestas foram transformados em áreas de pastagem no decorrer dos últimos 33 anos. A magnitude dessas mudanças tem encorajado o desenvolvimento de estudos com o IBI para avaliar o quanto a paisagem atual e/ou condições locais influenciam a saúde dos ecossistemas, refletindo no aumento de estudos científicos com a ferramenta nos últimos anos (Souza & Vianna, 2019).

Um dos aspectos mais evidentes sobre a ausência de saúde dos ecossistemas é a perda da biodiversidade aquática, uma vez que esta é consequência direta da perda de funções ecossistêmicas (Foley et al., 2007), decorrentes das transformações no uso e cobertura do solo. Dentre as perdas de funções ecossistêmicas em microbacias com predominância de pastagens, pode-se citar uma maior compactação da primeira camada do solo, aumento da temperatura,

absorção de 11% menos radiação solar, taxas menores de evapotranspiração, pH do solo alterado (Gash & Nobre, 1997) e maior acúmulo de carbono no solo (Moraes et al., 1999).

As condições da faixa ripária também devem ser levadas em conta para a saúde da comunidade aquática, pois desempenham importante papel ecossistêmico para os corpos d'água e, apesar de serem consideradas como áreas de preservação permanente (APP) pelo código florestal brasileiro (Lei de Proteção da Vegetação Nativa- Lei 12.651/2012), muitas vezes, a conversão de florestas em agrossistemas se estende também para esses locais. Com a perda parcial ou integral de floresta na faixa ripária, esta, além de não desempenhar mais funções como a regulação da temperatura e luminosidade (Lorion & Kennedy, 2009; Sweeney & Newbold, 2014), deixa de funcionar como um filtro entre as atividades na microbacia e o ambiente aquático (Horwitz et al. 2008). Assim, as condições físicas e químicas dos riachos são severamente alteradas (Tambosi et al., 2015), isso porque há entrada de sedimentos e contaminantes (Sweeney et al. 2004; Horwitz et al., 2008), a regulação do fluxo d'água e a condutividade é afetada (Duarte & Araújo, 2001), assim como a quantidade de partículas sólidas suspensas na água (Duarte & Araújo, 2001) advindas de erosão (Holomuzki & Biggs, 2000; Lima et al., 2013). Tais alterações resultam em instabilidade estrutural (Pusey & Arthington, 2003) assoreamento, perda de volume de água (Baron et al., 2002) e diminuição na disponibilidade de habitats e micro-habitats (Sweeney et al., 2004).

O meio abiótico não é o único componente do ecossistema a ser afetado frente a tais transformações. A dinâmica de aporte de materiais alóctones e de entrada de nutrientes e recursos é modificada (Webster et al., 1992). Na ausência de florestas ripárias, a inexistência de galhos e troncos, que habitualmente propiciariam maior diversidade de micro-habitats no canal (Wang et al., 1997; Dudgeon 2008), resulta na homogeneização do habitat aquático (Zeni & Casatti, 2014). Ademais, há registros que a disponibilidade de fontes de alimentos, como insetos terrestres, principalmente formigas, aumenta (Henry & Uieda, 1994) enquanto outras declinam ou desaparecem (Yoshimura, 2012).

A ictiofauna é sensível a mudanças do ambiente, apresentando mudanças de padrões nas assembleias mesmo com perdas mínimas de habitat (< 20%) (Brejão et al., 2018). O impacto, nesse contexto, age como um filtro para essa comunidade (Casatti et al., 2015), de forma que em locais degradados, as comunidades biológicas são resultado dos impactos sofridos ao longo do tempo e refletem tal histórico. Por exemplo, em locais impactados foi observado perda de biomassa (Ferreira & Casatti, 2006), alteração na composição de espécies com aumento de espécies oportunistas/generalistas (Zeni & Casatti, 2014), diminuição de espécies reofílicas

(Ferreira & Casatti, 2006) e maior número de espécies exóticas e espécies tolerantes (Casatti et al., 2006). Além disso, Ilha et al. (2018) demonstraram que, peixes em riachos desmatados na Amazônia, podem apresentar até 55% de redução no tamanho corporal, devido ao aumento de temperatura. No geral, nesses ambientes nota-se maior dominância (Casatti et al., 2009), redundância funcional (Zeni & Casatti, 2014) e homogeneização da comunidade (Ferreira & Casatti, 2006).

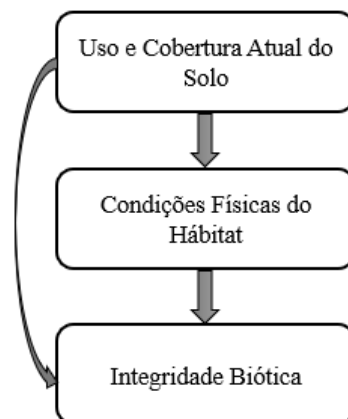
Assim, o uso e cobertura atual do solo influencia a integridade biótica que, por sua vez, também sofre influência direta do hábitat local, que igualmente responde ao uso e cobertura atual do solo (Figura 1). Contudo, todos esses aspectos são reflexo de uma história de transformações da paisagem ao longo do tempo (Figura 2), trazendo então a necessidade de incorporar esse fator histórico – a trajetória do uso do solo – ao IBI para avaliações mais completas das comunidades.

Segundo Leal e colaboradores (2016), as respostas do habitat local à degradação estão relacionadas ao padrão/trajetória do desmatamento local do corpo d'água. Dessa forma, a dimensão histórica pode vir a mudar a relação linear entre condição atual da paisagem e habitat local (paisagem íntegra = alta integridade física do habitat/ paisagem degradada = baixa integridade física do habitat), de forma que riachos inseridos em um local desmatado recentemente poderão apresentar maior integridade física – e possivelmente maior integridade biótica – que um local com desmatamento antigo, mesmo ambos tendo a mesma taxa de perda de floresta. O tempo de estabelecimento de cada uso do solo é importante nessas situações, pois quanto maior o tempo de estabelecimento de um determinado uso do solo no histórico do local, mais influência ele terá no arranjo da comunidade atual (Harding et al., 1998). Isso porque a comunidade não responde de forma linear à degradação (Allan, 2004). Tanto as mudanças no habitat (perda e homogeneização) quanto as mudanças na comunidade não acontecem imediatamente após o impacto. Assim, as espécies mais sensíveis, que apresentam respostas negativas à degradação, em geral entram em declínio apenas duas ou três gerações depois do início do impacto, quando as condições físicas do habitat começam a deteriorar (Brejão et al., 2018). Logo, o histórico do uso do solo pode ter maior influência na comunidade atual e seus padrões do que a conformação vigente da paisagem (Harding et al., 1998; Wang et al., 2001) e, consequentemente, influenciar na integridade biótica de um riacho.

Apesar disso, a maioria dos estudos com o IBI desconsidera essa trajetória de transformações da paisagem, pois quase sempre é um desafio incorporar a dimensão histórica nessas análises visto que muitas regiões vêm sendo alteradas há tanto tempo (p. ex., mais de 200 anos), de

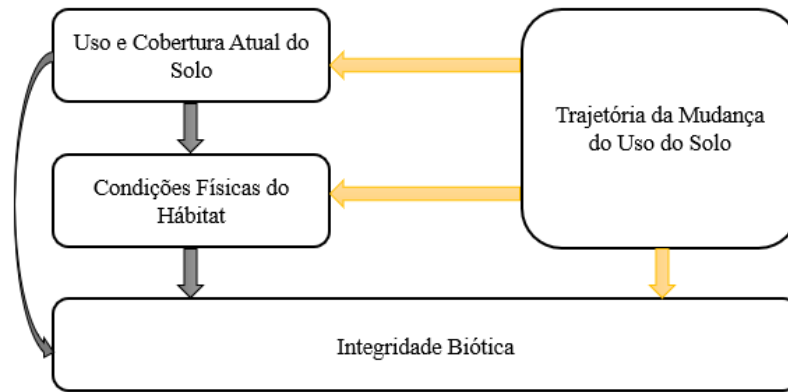
forma que não há como recuperar o gradiente de transformações do passado. Embora algumas áreas nos trópicos já estejam degradadas há bastante tempo, ainda há locais – sobretudo no bioma Amazônico - em que é possível observar bacias totalmente florestadas e outras em processo recente de desmatamento. Essa diversidade de condições gera um gradiente quantificável que possibilita incorporar a dimensão histórica ao IBI. Uma dessas regiões situa-se no norte do estado do Mato Grosso, no arco do desmatamento do bioma Amazônico, e constitui uma importante área modelo para integrar a camada temporal do desmatamento em análises de monitoramento, pois, além do histórico relativamente recente de desmatamento (em torno de 40 anos), essa área ainda possui condições distintas de cobertura florestal, em diferentes microbacias, podendo variar de 0 a 100% quanto à quantidade de cobertura pristina remanescente.

Figura 1. Esquema indicando as relações de influência do uso atual do solo e condições físicas do habitat na integridade biótica. As setas cinzas indicam a direção das relações.



Fonte: Acervo do Autor.

Figura 2. Esquema indicando as relações de influência de cada escala do desmatamento na integridade biótica com a adição da informação sobre a ‘trajetória da mudança do uso do solo’. As setas cinzas indicam a direção das relações já conhecidas e as setas amarelas indicam a direção das novas relações quando adicionada à dimensão histórica.



Fonte: Acervo do Autor.

Considerando a influência das três escalas (habitat local, uso atual do solo e trajetória do uso do solo) meio biótico e abiótico dos riachos e a necessidade de desenvolver ferramentas robustas e práticas para avaliar a integridade desses ecossistemas, o presente estudo buscou responder as seguintes perguntas: Usar apenas uma escala para agrupar as unidades amostrais é o suficiente para uma avaliação de IBI? IBIs baseados em diferentes escalas – espaciais e temporais - levariam a diferentes classificações de Integridade Biótica em um mesmo riacho? O uso de apenas uma escala espacial consegue refletir as complexas condições de um riacho inserido em desmatamento recente? Para isso, um IBI foi desenvolvido para cada uma das três escalas de influência do desmatamento: condição do habitat local, uso do solo atual em escala de paisagem e trajetória do desmatamento. Uma vez que as escalas do desmatamento aqui discutidas se influenciam mutuamente em diferentes graus, espera-se que haja certa congruência no desempenho dos IBIs e que o uso de uma escala demonstre conter informações suficientes para um resultado robusto. Entretanto, espera-se que para riachos com alto grau de desmatamento num período recente, a escala temporal seja necessária para explicar resultados de integridade biótica alta.

5. CONCLUSÃO

Muito se discute sobre os critérios iniciais para a seleção das métricas a serem testadas para compor o IBI. Para esta etapa, devem ser priorizadas as métricas sensíveis a mais de uma escala do desmatamento. Ademais, encontrar um grupo de métricas que funcione para condições e/ou regiões específicas é um grande passo para entender as condições de conservação em larga escala dos corpos d'água, assim, as métricas encontradas nesse estudo podem ser vistas como um passo inicial para um índice extrapolável a situações comparáveis dentro da mesma ecorregião.

A principal reflexão que emerge desse estudo talvez seja: “Estou englobando a quantidade de informações suficientes quando considero apenas as condições locais do habitat?”, já que avaliar a integridade biótica a partir das condições atuais da paisagem tornou-se o método mais difundido em análises de IBI. Todas as escalas aqui testadas foram capazes de englobar uma grande quantidade de informações do ponto de vista de equivalência entre escalas, de forma que índices baseados em apenas uma escala retornam valores de IBI com bom significado biológico. Na prática isso significa que um riacho considerado ‘íntegro’ pelo índice, é um riacho biologicamente íntegro. Entretanto, quando consideramos a relação entre Integridade Biótica e as demais variáveis do desmatamento, nenhuma escala, sozinha, foi suficiente para contextualizar/explicar todas as condições encontradas em desmatamento recente. Assim, a combinação de mais de uma escala, de preferência a escala temporal e local juntas, demonstra ser um bom caminho para o desenvolvimento de futuros IBIs, visto que a associação dessas escalas foi capaz de abranger e explicar uma maior diversidade de situações criadas por diferentes padrões de desmatamento.

Por fim, a trajetória do uso do solo é importante para o entendimento do contexto das condições de integridade de uma comunidade e os riachos do norte do Mato Grosso são um ótimo exemplo da necessidade de incluir essa escala nos estudos. Assim, é fundamental que comecemos a explorar formas de incluir a dimensão temporal em futuros trabalhos com índices bióticos, seja no aprimoramento da ferramenta oportunizada pelo LUI, seja pela busca de novas ferramentas.

REFERÊNCIAS

- Allan, J.D., 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review on Ecology, Evolution and Systematics*, 35: 257-284.
- Angermeier, P.L., Karr, J.R., 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives: protecting biotic resources. *Ecosystem Management*, 264-275.
- Araujo, 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.
- Arima, E.Y., Walker, R.T., Perz S., Souza Jr, C., 2016. Explaining the fragmentation in the Brazilian Amazonian forest. *Journal of Land Use Science*, 11(3): 257-277.
- Baptista, D.F., Buss, D.F., Egler, M., Giovanelli, A., Silveira, M.P., Nessimian, J.L., 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*, 575(1): 83-94.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish (339). Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richer, B.D., Steinman, A.D., 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12: 1247-1260.
- Benone, N.L., Ligeiro, R., Juen, L., Montag, L.F.A., 2018. Role of environmental and spatial processes structuring fish assemblages in streams of the eastern Amazon. *Marine and Freshwater Research*, 69(2): 243-252.
- Brasil. Lei n.º 12.651, 2012. Código Florestal. Através do link: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm
- Brejão, G.L., Gerhard, P., Zuanon, J., 2013. Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 11(2): 361-373.
- Brejão, G.L., Hoeinghaus, D.J., Pérez-Mayorga, M.A., Ferraz, S.F., Casatti, L., 2018. Threshold responses of Amazonian stream fishes to timing and extent of deforestation. *Conservation Biology*, 32(4): 860-871.
- Bozzetti, M., Schulz, U. H. 2004. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 529: 133-144.
- Buckup, P.A. 2003. Family Crenuchidae (South American darters). In: Reis, R.E., Kullander, S.O., Ferraris, C. J. (Eds.). *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*, Porto Alegre, Edipucrs, 729p.

- Buss, D.F., Oliveira, R.B., Baptista, D.F., 2008. Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais. *Oecologia Brasiliensis*, 12(3): 339-345.
- Casatti, L., Langeani, F., Silva, A.M., Castro, R.M.C., 2006. Stream fish, water and habitat quality in a pasture dominated basin, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 66(2B): 681-696.
- 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.
- Casatti, L., Teresa, F.B., Zeni, J.O., Ribeiro, M.D., Brejao, G.L., Ceneviva-Bastos, M., 2015. More of the same: high functional redundancy in stream fish assemblages from tropical agroecosystems. *Environmental Management*, 55(6): 1300-1314.
- Casatti, L., Brejão, G.L., Pérez-Mayorga, M.A., Zeni, J.O. Stream fish assemblages respond differently to the deforestation patterns in Amazon. *Em preparação*.
- Carvalho, L.N., Fidelis, L., Arruda, R., Galuch, A., Zuanon, J., 2013. Second floor, please: the fish fauna of floating litter banks in Amazonian streams and rivers. *Neotropical Ichthyology*, 11(1): 85-94.
- Carvalho, D.R., Leal, C.G, Junqueira, N.T., Castro, M.A., Fagundes, D.C., Alves, C.B.M., Hughes, R.M., Pompeu, P.S., 2017. A fish-based multimetric index for Brazilian savana streams. *Ecological Indicators*, 77: 386-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.032>
- CETESB, 2018. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – Série de Relatórios. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2018.
- Chen, K., Hughes, R.M., Brito, J.G., Leal, C.G., Leitão, R.P., de Oliveira-Júnior, J.M.B., Oliveira, V.C., Dias-Silva, K., Ferraz, S.F.B., Ferreira, J., Hamada, N., Juen, L., Nessimian, J., Pompeu, P.S., Zuanon, J., 2017. A multi-assemblage, multi-metric biological condition index for eastern Amazonia streams. *Ecological Indicators*, 78: 48-61.
- Clinnick, P.F., 1985. Buffer strip management in forest operations: a review. *Australian Forestry*, 48(1) 34-45.
- Costa, R.F.D., Feitosa, J.R.P., Fisch, G., Souza, S.S.D., Nobre, C.A., 1998. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. *Acta amazônica*, 28(4): 395-395.
- Couto, E.G., Oliveira, V.A., 2003. Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do imóvel da Rohden Industria Lignea LTDA, município de Juruena/MT. Cuiabá: UFMT/IBGE: 92.
- Cruz, B.B., Miranda, L.E., Cetra, M., 2013. Links between riparian landcover, instream environment and fish assemblages in headwater streams of south-eastern Brazil. *Ecology of Freshwater Fish*, 22: 607-616.
- Duarte, S., Araújo, F. G., 2001. Abundância relativa e distribuição de *Loricariichthys spixii* (Steindachner) (Siluriformes, Loricariidae) no reservatório de Lajes, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18: 465-477.

- Fausch, K.D., Lyons, J.O.H.N., Karr, J.R., Angermeier, P.L., 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. *American Fisheries Society Symposium* 8(1): 123-144.
- Fearnside, P.M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates and consequences. *Conservation Biology* 19(3): 680-688.
- Fearnside, P.M., 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*, 36(3): 395-400.
- Ferraz, S.F.B., Vettorazzi, C.A., Theobald, D.M., 2009. Using indicators of deforestation and land-use dynamics to support conservation strategies: A case study of central Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 257(7): 1586-1595.
- Ferraz, S.F.B., Cassiano, C., Begotti, R., Tranquilin, A., 2012. Land use change analysis tools (LUCAT). Page II Congresso Brasileiro de Ecologia de Paisagens.
- Ferreira, C.P., Casatti, L. 2006. Integridade biótica de um correço na bacia do Alto Rio Paraná avaliada por meio da comunidade de peixes. *Biota Neotropica*, 6(3): 1-25.
- Figueroa, S.N., Nobre, C.A., 1990. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, 5(6): 36-45.
- Fisch, G., Marengo, J.A., Nobre, C.A., 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28(2): 101-101.
- Foley, J.A., Asner, G.P., Costa, M.H., Coe, M.T., DeFries, R., Gibbs, H.K., Howard, E.A., Olson, S., Patz, J., Ramankutty, N., Snyder, P., 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1): 25-32.
- Gash, J.H.C., Nobre, C.A., 1997. Climatic effects of Amazonian deforestation: Some results from ABRACOS. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(5): 823- 830.
- Ganasan, V., Hughes, R.M., 1998. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. *Freshwater Biology*, 40: 367-83.
- Glennon, M.J., Porter, W.F., 2005. Effects of land use management on biotic integrity: an investigation of bird communities. *Biological Conservation*, 126(4): 499-511.
- Harding, J.S., Benfield, E.F., Bolstad, P.V., Helfman, G.S., Jones, E.B.D., 1998. Stream biodiversity: the ghost of land use past. *Proceedings of the national academy of sciences*, 95(25): 14843-14847.
- 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.
- Heino J., 2013. The importance of metacommunity ecology for environmental assessment research in the freshwater realm. *Biological Reviews*, 88(1): 166-78.

- Henry, R., Uieda, V.S., Afonso, A.A., Kikuchi, R. M., 1994. Input of allochthonous matter and structure of fauna in Brazilian headstream. *SIL Proceedings*, 25(3): 1922-2010.
- Holomuzki, J.R., Biggs, B.J., 2000. Taxon-specific responses to high-flow disturbance in streams: implications for population persistence. *Journal of the North American Benthological Society*, 19(4): 670-679.
- Horwitz, R. J.; Johnson, T. E.; Overbeck, P. F.; O'Donnell T. K.; Hession, W. C., Sweeney, B. W. 2008. Effects of riparian vegetation and watershed urbanization on fishes in streams of the mid-Atlantic Piedmont (USA). *Journal of the American Water Resources Association*, 44: 724-741.
- Hughes, R.M., Howlin, S., Kaufmann, P.R., 2004. A biointegrity index (IBI) for coldwater streams of western Oregon and Washington. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(6): 1497-1515.
- Hynes, H.B.N., 1975. The stream and its valley. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 19: 1-15.
- Ibarra, J.T., Martin, K., 2015. Biotic homogenization: loss of avian functional richness and habitat specialists in disturbed Andean temperate forests. *Biological Conservation*, 192: 418-427.
- Ilha, P., Schiesari, L., Yanagawa, F.I., Jankowski, K., Navas, C.A., 2018. Deforestation and stream warming affect body size of Amazonian fishes. *PloS One*, 13(5): e0196560.
- Iwata, T., Nakano, S., Inoue, M., 2003. Impacts of past riparian deforestation on stream communities in a tropical rain forest in Borneo. *Ecological Applications*, 13(2): 461- 473.
- Karr, J.R., 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6: 21-27.
- Karr, J.R., Dudley, D. R., 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5(1): 55-68.
- Karr, J.R., 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological applications*, 1(1): 66-84.
- Kasyak, P.F., 2001. Maryland biological stream survey: sampling manual. Maryland Department of Natural Resources, Monitoring and Non-tidal Assessment Division, Annapolis.
- Kennard, M.J., Arthington, A.H., Pusey, B.J., Harch, B.D., 2005. Are alien fish a reliable indicator of river health?. *Freshwater Biology*, 50(1): 174-193.
- Kesminas, V., Virbickas, T., 2000. Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania. *Hydrobiologia*, 422: 257-270.
- Leal, C.G., Pompeu, P.S., Gardner, T.A., Leitão, R.P., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Zuanon, J., de Paula, F.R., Ferraz, S.F.B., Thomson, J.R., Nally, R.M., Ferreira, J., Barlow, J., 2016. Multi-scale assessment of human-induced changes to Amazonian instream habitats. *Landscape Ecology*, 31(8), 1725-1745.

- Lima, W.P., Ferraz, S.F.B., Ferraz, K.M.P.M. 2013. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. *Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão*, 215-244.
- Lorion, C.M., Kennedy, B.P., 2009. Riparian forest buffers mitigate the effects of deforestation on fish assemblages in tropical headwater streams. *Ecological Applications*, 19(2): 468-479.
- 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.
- Moraes, J.F., Volkoff, B.C.C.C., Cerri, C.C., Bernoux, M., 1996. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70(1): 63-81.
- Oberdorff, T., Hughes, R.M., 1992. Modification of index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiology*, 30: 117-228.
- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., Porcher, J. P., 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. *Freshwater Biology*, 47(9): 1720-1734.
- Ohio, E.P.A., 1987. Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume II. Users' manual for biological field assessment of Ohio surface waters. Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section, Columbus, Ohio.
- Pérez-Mayorga, M.A., Casatti, L., Teresa, F.B., Brejão, G.L., 2017. Shared or distinct responses between intermediate and satellite stream fish species in an altered Amazonian River?. *Environmental biology of fishes*, 100(12): 1527-1541.
- Pettesse, M.L., Siqueira-Souza, F.K., de Carvalho Freitas, C.E., Petrere Jr, M., 2016. Selection of reference lakes and adaptation of a fish multimetric index of biotic integrity to six amazon floodplain lakes. *Ecological Engineering*, 9: 535-544.
- Polaz, C.N., Ferreira, F.C., Petrere Júnior, M., 2017. The protected areas system in Brazil as a baseline condition for wetlands management and fish conservancy: the example of the Pantanal National Park. *Neotropical Ichthyology*, 15(3): e170041. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170041>.
- Portal Brasileiro de Dados Abertos – Rede de monitoramento de qualidade de água: pontos em operação, acessado em 10/2019 através do link: <http://dados.gov.br/dataset/rede-de-monitoramento-de-qualidade-de-agua-pontos-em-operacao>.
- PRODES, 2018. Análise do desmatamento na Amazônia Mato-grossense (Prodes 2018). Acessado em 11/2019 através do link: <https://www.icv.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Prodes-2018-Analise-Desmatamento-Amazonia-MT.pdf>.

Projeto MapBiomias – Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 09/2019 através do link: <http://mapbiomas.org/>.

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.

Pusey, B.J., Arthington, A.H., 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research*, 54(1): 1-16.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., Oliveira, W., 2009. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, 19(1): 41-66.

Roa-Fuentes, C.A., Casatti, L., 2017. Influence of environmental features at multiple scales and spatial structure on stream fish communities in a tropical agricultural region. *Journal of Freshwater Ecology*, 32(1): 281-295.

Ruaro, R., Gubiani, E.A., Hughes, R.M., Mormul, R.P., 2020. Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecological Indicators*, 110: 105862.

Saylor, C., Scott Jr, E.M., 1987. Application of the index of biotic integrity to existing TVA data. Office of Natural Resources and Economic Development; Tennessee Valley Authority, Norris (USA). Div. of Air and Water Resources.

Scott, M.C., Helfman, G.S., 2011. Native invasions, homogenization, and the mismeasure of integrity of fish assemblages. *Fisheries*, 26(11): 6-15.

Soares-Filho, B.S., 2005. Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21.

Souza, G.B.G., Vianna, M., 2019. Fish-based indices for assessing ecological quality and biotic integrity in transitional waters: A systematic review. *Ecological Indicators*, 109(10): 56-65.

Statistica, Statsoft Inc. Data analysis software system. 2004. version 7. www.statsoft.com.

Strahler, A.H., Strahler, A.N. 2005. *Physical Geography: Science and systems of the Human Environment*. Wiley, New York, 794p.

Sweeney, B.W., Bott, T.L., Jackson, J. K., Kaplan, L. A., Newbold, J. D., Standley, L.J., Hession, W.C., Horwitz, R.J., 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 14132-14137.

Sweeney, B.W., Newbold, J.D., 2014. Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(3): 560-584.

Tambosi, L.R., Vidal, M.M., Ferraz, S.F.B., Metzger, J.P., 2015. Funções eco- hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos Avançados*, 29(84): 151-162.

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.

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.

Uzarski, D.G., Burton, T.M., Genet, J.A., 2004. Validation and performance of an invertebrate index of biotic integrity for Lakes Huron and Michigan fringing wetlands during a period of lake level decline. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 7(2): 269-288.

Victor, M.D.M., Cavalli, A.C., Guillaumon, J.R., Serra Filho, R., 2005. Cem anos de devastação: revisitada 30 anos depois. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.

Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., Gatti, R., 1997. Influences of watershed land use on habitat quality and biotic integrity in Wisconsin streams. *Fisheries*, 22(6): 6-12.

Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., Bannerman, R., 2001. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental Management*, 28(2): 255-266.

Wang, L., Lyons, J., Rasmussen, P., Seelbach, P., Simon, T., Wiley, M., Kanehl, P., Baker, E., Niemela, S., Stewart, P.M., 2003. Watershed, reach, and riparian influences on stream fish assemblages in the Northern Lakes and Forest Ecoregion, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(5): 491-505.

Webster J.R., Golladay S.W., Benfield E.F., Meyer J.L., Swank W.T., Wallace J.B., 1992. Catchment disturbance and stream response: an overview of stream research at Coweeta Hydrologic Laboratory. *The Conservation and Management of Rivers*. 231-253.

Wu J., 2013. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well- being in changing landscapes. *Landscape Ecology*. 28: 999-1023.

Yoshimura, M., 2012. Effects of forest disturbances on aquatic insect assemblages. *Entomological Science*, 15(2): 145-154.

Zeni, J.O., Casatti, L., 2014. The influence of habitat homogenization on the trophic structure of fish fauna in tropical streams. *Hydrobiologia*, 726(1): 259-270.