

Índices espaciais para a detecção de áreas prioritárias para restauração em zonas ripárias



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 363

**Índices espaciais para a detecção de áreas prioritárias
para restauração em zonas ripárias**

*Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazu
Luziane Franciscon
Jéssica Caroline Maran
Yeda Maria Malheiros de Oliveira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva
Neide Makiko Furukawa

Membros
Annete Bonnet
Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Elenice Fritzsons
Krisle da Silva
Marcelo Francia Arco Verde
Marilice Cordeiro Garrastazu
Susete do Rocio Chiarello Penteado
Valderês Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

Imagem capa
Maria Augusta Doetzer Rosot

1ª edição
Versão digital (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Índices espaciais para a detecção de áreas prioritárias para restauração
em zonas ripárias. [recurso eletrônico] / Maria Augusta Doetzer
Rosot ... [et al.]. - Colombo : Embrapa Florestas, 2021.
PDF (25 p.) - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ;
363)

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Monitoramento ambiental. 2. Paisagem. 3. Florestas ripárias.
4. Cobertura vegetal. 5. Sistemas de informação geográfica. I. Rosot,
Maria Augusta Doetzer. II. Garrastazu, Marilice Cordeiro. III. Franciscon,
Luziane. IV. Maran, Jéssica Caroline. V. Oliveira, Yeda Maria Malheiros
de. VI. Série.

CDD (21. ed.) 621.3678

Autores

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazu

Engenheira Florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luziane Franciscon

Estatística, mestre em Estatística e Experimentação Agronômica, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Jéssica Caroline Maran

Engenheira Florestal, mestre em Ciências Florestais, proprietária da empresa JCM Serviços de Mapeamento Remoto Ltda., Curitiba, PR

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Além de amostrar dados biofísicos em parcelas de campo, o Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR) possui uma componente dedicada ao estudo das paisagens rurais brasileiras, empregando métodos inovadores que vêm sendo desenvolvidos, aplicados e adaptados pela equipe do Laboratório de Monitoramento Ambiental (Labmon) da Embrapa Florestas. As Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs) são áreas quadradas de 100 km², estabelecidas sobre uma grade regular de 40 km x 40 km sobre todo o território nacional, onde a qualidade e a estrutura espacial dos habitats são caracterizadas e avaliadas. Entre as múltiplas métricas calculadas para as UAPs encontram-se a fragmentação e a conectividade dos fragmentos florestais, bem como a configuração espacial das zonas ripárias. Como parte dessas análises, propõe-se o cálculo de índices integrados baseados na conectividade estrutural dos ambientes ripários que funcionam como corredores florestais, o grau de pressão antrópica atuando sobre eles e uma ponderação entre os dois. Tais índices permitem gerar um ranqueamento, possibilitando a identificação de áreas ripárias prioritárias para a conservação e restauração da paisagem. A metodologia aqui apresentada estabelece critérios objetivos e quantificáveis de avaliação e de priorização, facilitando o planejamento da gestão da paisagem de modo a subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas e o cumprimento da legislação.

Marcílio José Thomazini

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução.....	9
Metodologia.....	11
Área de estudo e dados auxiliares	11
Mapeamento de corredores estruturais.....	13
Cálculo de índices	14
Resultados e discussão.....	17
Índices ripários em unidades amostrais de paisagem individuais	17
Classificação das unidades amostrais de paisagem segundo o Índice de Corredores Estruturais Ponderado	19
Conclusões.....	23
Referências	24

Introdução

De acordo com o Conselho Nacional Americano de Pesquisa (NRC, 2002), as zonas ripárias podem ser definidas como “ecossistemas que ocorrem ao longo de cursos e corpos d’água, diferenciando-se das áreas adjacentes devido às suas características únicas de solo e vegetação, fortemente influenciadas pela água circulante no solo”. Em termos mais gerais, pode-se dizer que os sistemas ripários ocupam a área de transição entre ecossistemas aquáticos e terrestres, tais como planícies inundáveis, margens de rios e lagos (NRC, 2002). As florestas ripárias – definidas como os ecossistemas que ocorrem imediatamente adjacentes a ambos os lados das margens de rios, incluindo terraços de inundação, e que interagem com o rio durante períodos de cheia (Olson et al., 2007) – estão entre os ecossistemas mais degradados ao redor do mundo (Nilsson; Berggren, 2000). Embora a vegetação ripária também contenha, tipicamente, elementos herbáceos (Lyons et al., 2000), nas estreitas faixas de florestas – em que a razão borda:área é alta – as alterações biofísicas relacionadas ao microclima da floresta, à composição de espécies e à dinâmica ecológica podem ser muito pronunciadas (Nagy et al., 2015). Algumas das maiores ameaças aos ecossistemas ripários incluem a alteração dos regimes hidrológicos, devido à retificação dos rios e aproveitamento da água, à remoção da vegetação para projetos agrícolas e outras atividades, ao pastoreio, à ampliação da infraestrutura urbana, à poluição e à mineração (Tockner; Stanford, 2002; Naiman et al., 2005). O desmatamento e a expansão da agricultura, principalmente, aumentam a erosão do solo e o transporte de sedimentos, carbono e nutrientes por meio dos sistemas fluviais (Seitzinger et al., 2010). A subsequente degradação é, em grande parte, responsável pela redução do estoque de carbono na biomassa aérea, necromassa e solos nas florestas ripárias tropicais (Zelarayán et al., 2015).

Os seres humanos – tendo sido atraídos e tendo vivido próximo a cursos de água desde os tempos ancestrais – podem ser considerados criaturas ripárias (Meyer, 1984). Assim, qualquer abordagem de avaliação e gestão de sistemas ripários deve, necessariamente, considerar a influência antrópica sobre as zonas ripárias (Rosot et al., 2018). As regulamentações que afetam a proteção dessas áreas variam significativamente de país para país. No Brasil, a Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Brasil, 2012) – também conhecida como Código Florestal – aborda o conceito de florestas de proteção sob as denominadas Áreas de Preservação Permanente (APPs). Dependendo da largura do curso d’água, zonas ripárias inteiras podem ser consideradas como APPs. Tomadores de decisão, proprietários rurais e a sociedade em geral ainda discutem a adequação e mesmo a necessidade de se estabelecer faixas com floresta ao longo de rios (Rosot et al., 2018). Entretanto, dados cartográficos e numéricos referentes à extensão e distribuição das florestas ripárias já foram disponibilizados em uma base (Embrapa, 2017) denominada Cadastro Ambiental Rural (CAR), coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB), e consiste em declarações fornecidas pelos proprietários rurais, em sua maior parte ainda não validadas e sujeitas a inaccurácias posicionais.

As florestas ripárias também possuem uma importante função como corredores ecológicos, ligando fragmentos isolados e aumentando a conectividade geral da paisagem (Steidl et al., 2009). Entretanto, fatores naturais e de natureza antrópica afetam sua composição de espécies e sua estrutura, causando perturbações. Portanto, estudos que quantifiquem a extensão ocupada por tais florestas, bem como sua condição (Treviño et al., 2001) são oportunos, servindo como subsídio à elaboração de planos para a restauração da conectividade de habitats na paisagem (NRC, 2002).

No planejamento da restauração, o uso de métodos quantitativos e espacialmente explícitos na fase diagnóstica apresenta a vantagem de eliminar subjetividades e permitir a identificação de áreas prioritárias para a execução de determinadas ações, tais como a implementação de planos

de restauração. Nesse sentido, o presente estudo descreve e demonstra a aplicação da metodologia proposta por Clerici e Vogt (2013), já empregada em um estudo-piloto no estado do Paraná (Rosot et al., 2018), porém modificando os índices calculados e aplicando-os na geração de mapas e na classificação de unidades amostrais de paisagem nos biomas Pampa, Mata Atlântica e Caatinga.

Metodologia

Área de estudo e dados auxiliares

As análises foram efetuadas sobre Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs), que consistem em áreas quadradas de 100 km², integrantes da componente de paisagem do Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR). As UAPs se distribuem sistematicamente sobre uma grade nacional de 40 km x 40 km e, para esse estudo, foi selecionada uma subamostra de 27 UAPs no Pampa, 260 na Mata Atlântica e 135 na Caatinga (Figura 1), o que representa cerca de 2% da área de cada bioma, porém distribuídos em todas as regiões. A área ocupada pelas 422 UAPs é igual a 42.200 km².

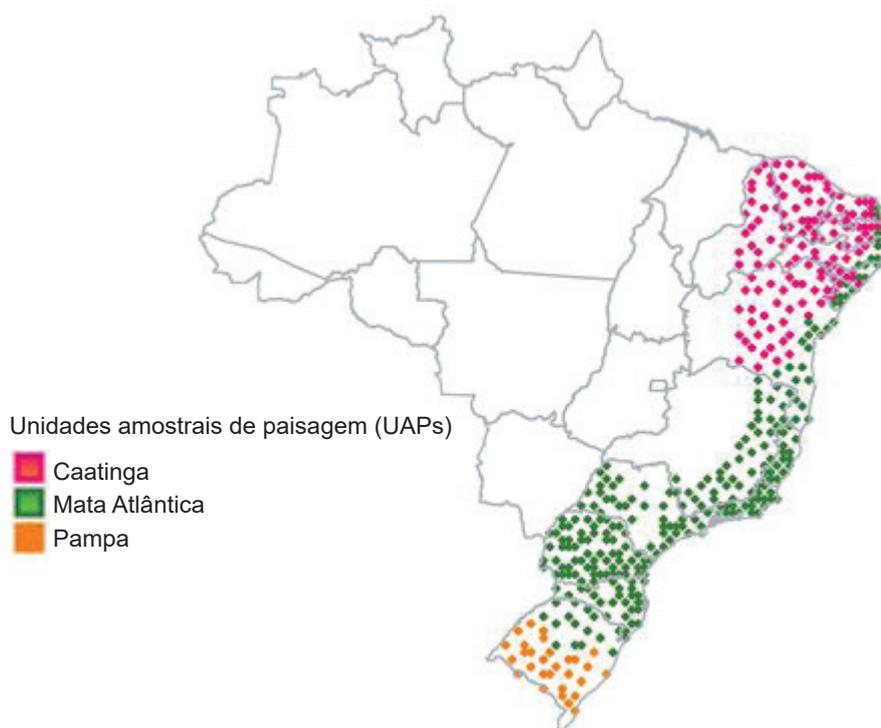


Figura 1. Subamostra do conjunto de unidades amostrais de paisagem (UAPs) do Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR) usadas no estudo, distribuídas por bioma.

Como *inputs* iniciais foram empregados arquivos vetoriais relativos à hidrografia e massas d'água disponíveis em bases e repositórios públicos. Dada a inexistência de mapas com os limites de zonas ripárias em nível nacional, para efeitos de aplicação da metodologia optou-se pela utilização de uma distância fixa de 500 m a partir de cada margem de rio e outras massas d'água (Ivits et al., 2009), empregando o software QGIS para a criação dos *buffers*. O Sistema Geodésico de Referência utilizado foi o SIRGAS2000 e o sistema de projeção foi o da cônica equivalente de Albers.

Também foram empregados mapas de uso e cobertura da terra disponíveis para as 422 UAPs, gerados com base em imagens do satélite RapidEye com 5 m de resolução para 2014, conforme metodologia descrita em Luz et al. (2018a). A Tabela 1 mostra as classes de mapeamento e suas respectivas descrições, que serviram de base para as diferentes análises efetuadas sobre as unidades amostrais de paisagem (UAPs) do Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR).

Tabela 1. Descrição e codificação das classes de uso e cobertura da terra presentes nas UAPs.

Classe	Símbolo/ código	Descrição
Floresta natural	F 01	Áreas estendendo-se por mais de 0,5 ha, ocupadas por árvores de mais de 5 m de altura, com uma cobertura de copa maior que 10%, ou árvores capazes de atingir estes limiares in situ, de origem natural. Não incluem áreas de uso predominantemente agrícola ou urbano (FAO, 2018). São definidas tanto pela presença de árvores quanto pela ausência de outros usos da terra predominantes.
Outras terras com vegetação lenhosa	VL 02	Áreas não classificadas como florestas, que se estendem por mais de 0,5 ha, com árvores maiores que 5 m e cobertura de copas variando entre 5% e 10%; ou árvores capazes de atingir estes limiares in situ; ou com uma combinação de indivíduos arbóreos, arbustivos e de árvores com mais de 10% de cobertura do dossel. Não incluem áreas de uso predominantemente agrícola ou urbano (FAO, 2018).
Outras terras com árvores	OTA 03	Subitem da categoria “outras terras”, contempla áreas com árvores isoladas, ou agrupadas, que não se enquadram na definição de floresta ou de outras terras com vegetação lenhosa, ocorrendo associadas a outros usos, como áreas de agricultura e pastagem, ou influência urbana (FAO, 2018). Correspondem a áreas que tenham abrangência superior a 0,05 ha (500 m ²) e inferior a 0,5 ha (5.000 m ²).
Gramíneas e herbáceas	C 04	Áreas naturais, caracterizadas por um estrato predominantemente herbáceo, com eventual ocorrência de elementos arbóreo/arbustivo, desde que esparsamente distribuídos, sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias, com diversos graus de antropização (IBGE, 2013).
Floresta plantada	R 05	Florestas predominantemente compostas por árvores estabelecidas por plantio ou por semeadura direta e deliberada (FAO, 2018). Classe relativa aos plantios ou formações de maciços com espécies florestais nativas ou exóticas, puros ou consorciados. Nesta definição não se considera se o plantio foi realizado em áreas anteriormente povoadas com espécies florestais ou não; consideram-se como floresta plantada todas as áreas povoadas com essências florestais, independentemente do ambiente. Incluem as estradas florestais, barreiras de proteção contra incêndios e quebra-ventos.
Solo exposto	S 06	Áreas sem cobertura vegetal, devido à influência antrópica, podendo estar ocupadas por atividades de mineração, exploração de jazidas, lavras ou extração de areia.
Agricultura e pastagem	A 07	Áreas utilizadas para a produção de alimentos, fibras e <i>commodities</i> do agronegócio, incluindo todas as terras cultivadas, ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas (IBGE, 2013) que sejam utilizadas para essa mesma finalidade. Classe constituída por culturas temporárias, cíclicas e permanentes. Inclui, ainda, as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte. Inclui lavouras semipermanentes e plantios lenhosos perenes classificados pela FAO (2018) como agricultura, como os de frutíferas (pomares).
Influência urbana	U 08	A essa nomenclatura estão associados os tipos de uso da terra de natureza antrópica intensiva, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, bem como edificações presentes no meio rural (casas, galpões, estábulos, entre outras).
Superfície com água	H 09	Áreas compostas pelo oceano, rios, lagos, lagoas, barragens, represas, canais naturais ou artificiais, tanques d'água, com área igual ou superior a um hectare.
Dunas e afloramentos rochosos	D 10	Áreas referentes a ambientes naturais, sem cobertura vegetal, como afloramentos rochosos, praias, dunas e extensões de areia ou seixos (IBGE, 2013).
Área não observada	NO 00	Área de desinformação, não observada por impedimentos tais como erro no sistema de imageamento, obstruções como nuvens e sombra de nuvens e demais condições de observação desfavoráveis.

Fonte: Modificado de Luz et al. (2018b).

Adicionalmente, para cada UAP foi gerada uma grade regular, no QGIS, coincidente com a área total da unidade amostral (100 km²), com células de 100 m x 100 m.

Mapeamento de corredores estruturais

Os corredores ecológicos podem ser vistos como regiões da paisagem que facilitam o fluxo ou movimento de indivíduos, genes e processos ecológicos (Chetkiewicz et al., 2006), sendo responsáveis tanto por aspectos funcionais como estruturais da conectividade entre habitats (Rosot et al., 2018). No presente estudo a análise de conectividade estrutural foi realizada aplicando-se a Análise Morfológica de Padrões Espaciais (MSPA – *Morphological Spatial Pattern Analysis*) (Soille; Vogt, 2009), uma técnica de segmentação implementada no software livre GuidosToolbox (Vogt; Riitters, 2017). A partir do mapa de uso e cobertura da terra de cada UAP foram selecionadas as classes *floresta natural*, *outras terras com vegetação lenhosa* e *outras terras com árvores*, compondo as denominadas classes florestais ou cobertura arbórea/arbustiva. Essa seleção foi recortada apenas para a área das zonas ripárias, constituindo os pixels de primeiro plano, ou *foreground*, sobre os quais foi executada a análise MSPA (Figura 2A). As demais classes (não naturais ou não florestais), representadas pelos códigos 00 e de 04 a 09 (Tabela 1), constituem o chamado plano de fundo ou *background*.

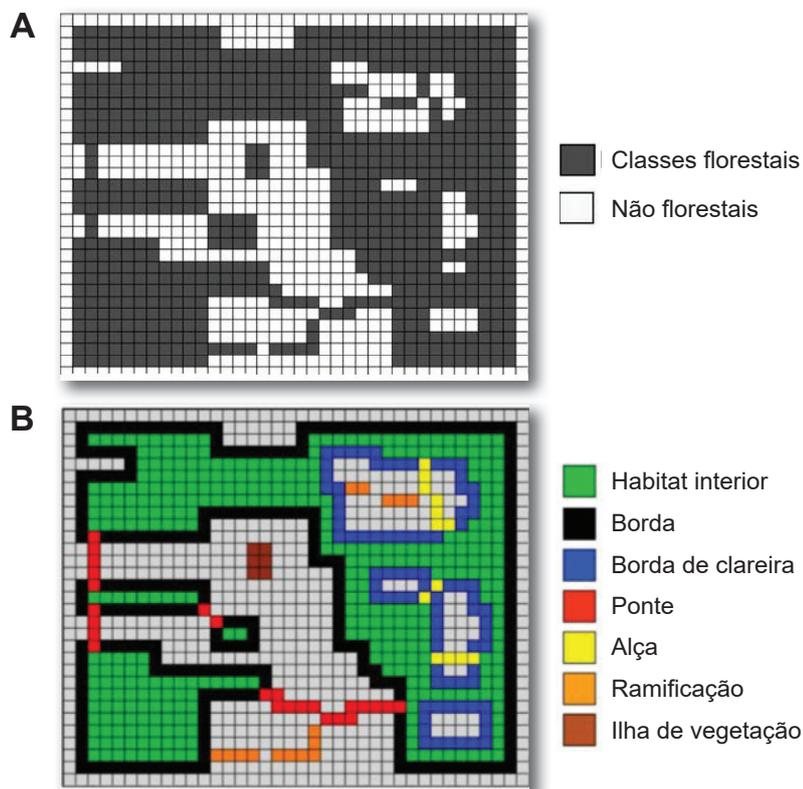


Figura 2. Representação de *inputs* e resultados da Análise Morfológica de Padrões Espaciais (MSPA) mostrando: (A) máscara de classes florestais (cobertura arbórea/arbustiva) que constituem o primeiro plano (*foreground*) e classes não naturais ou não florestais (*background*) e; (B) resultado da segmentação em sete classes de padrão morfológico mutuamente exclusivas.

Fonte: Modificado de Vogt (2021).

A análise MSPA segmenta a máscara florestal em sete classes mutuamente exclusivas (Figura 2B):

- **Habitat interior (Core):** são as áreas da classe de cobertura arbórea/arbustiva, localizadas além de uma distância de 30 m (borda) em relação às demais classes (*background*).
- **Borda (Edge):** são bordas da floresta natural (limite externo) fixadas em um raio de 30 m ao redor de uma área *core*. São áreas mais vulneráveis à penetração de espécies invasoras e provavelmente abrigam habitat característico de bordas que, por sua vez, podem afetar os habitats interiores.

- **Borda de clareira** (*Perforation*): são as bordas dos habitats interiores (limite interno) fixadas em um raio de 30 m no interior de áreas *core*. São áreas mais vulneráveis à penetração de espécies invasoras e provavelmente abrigam habitat característico de bordas que, por sua vez, podem afetar os habitats interiores.
- **Ponte** (*Bridge*): são as áreas da cobertura arbórea/arbustiva que não possuem *core* e que conectam, no mínimo, duas diferentes áreas *core*. Representam conexões estruturais entre as partes interiores de um fragmento e atuam potencialmente como corredores de biodiversidade.
- **Alça** (*Loop*): são as áreas da cobertura arbórea/arbustiva que não possuem *core* e que conectam duas partes da mesma área *core*. Representam conexões estruturais entre as partes interiores de um fragmento e atuam potencialmente como corredores de biodiversidade.
- **Ramificação** (*Branch*): são as áreas de cobertura arbórea/arbustiva que não possuem *core* e que são ligadas apenas a uma extremidade de conectores (*bridge* ou *loop*) ou uma borda (*edge*).
- **Ilha de vegetação** (*Islet*): são áreas da cobertura arbórea/arbustiva que não contêm nenhuma área *core*, geralmente pequenas e, ou alongadas e finas e isoladas. São potencialmente vulneráveis ao desaparecimento devido à sua forma e tamanho, mas podem funcionar como *stepping stones* para polinização e dispersão de espécies entre as áreas *core* dos fragmentos.

Procedimentos detalhados sobre a execução da análise MSPA podem ser encontrados em Luz et al. (2018a).

Cálculo de índices

Índices agregados foram calculados com o objetivo de se avaliar as zonas ripárias de cada UAP com base: a) na conectividade estrutural desses ambientes enquanto corredores de vegetação; b) no grau de pressão antrópica atuando sobre eles; e c) na ponderação entre as duas variáveis (conectividade e pressão antrópica).

Na grade de 100 m x 100 m gerada para cada UAP foram calculados índices para todas as células de 1 hectare que contivessem qualquer superfície ocupada pelas classes habitat interior (*Core*) e ponte (*Bridge*), oriundas da análise MSPA, dentro da zona ripária. Por analogia com a teoria de redes, apenas essas classes podem funcionar como corredores e conectores em zonas ripárias (Clerici; Vogt, 2013).

A primeira etapa consistiu, portanto, em selecionar as células da grade que intersectavam os polígonos das classes habitat interior e ponte (Figura 3), denominadas células *c*. Para cada célula *c* calculou-se o Índice de Corredores Estruturais (ICE_c), que revela a proporção da área da célula ocupada pelas classes habitat interior e ponte (Equação 1). Regiões com redes de drenagem densas e áreas naturais extensas geralmente apresentam altos valores para o ICE_c .

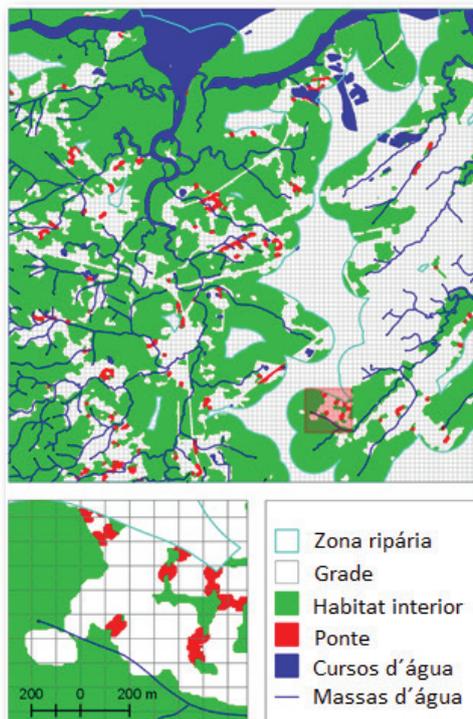
$$ICE_c = \frac{C_c}{S_c} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

C_c = área (ha) ocupada pelas classes habitat interior e ponte da análise MSPA na célula *c*

S_c = área (ha) da célula *c* (pode ser menor que 1 ha quando a célula está no limite da zona ripária)

Figura 3. Exemplo de uma unidade amostral de paisagem com as classes habitat interior e ponte resultantes da análise morfológica de padrões espaciais, inseridas no buffer de 500 m que constitui a zona ripária em ambas as margens dos cursos d'água.



O cálculo do Índice de Corredores Estruturais sob Pressão Antrópica ($ICEA_c$) consiste em uma etapa intermediária no cálculo dos índices agregados. Representa um fator de ponderação entre a proporção de corredores estruturais e a proporção de áreas ocupadas por usos antrópicos que os pressionam. As classes de uso antrópico correspondem aos códigos 05 a 08 na Tabela 1. Sua interpretação direta não fornece informações conclusivas, pois, para um mesmo valor do $ICEA_c$ é possível ter-se uma grande proporção de área ocupada por corredores estruturais na célula c , associada a pouca presença de pressão antrópica ou vice-versa. Para calculá-lo é necessário sobrepor o mapa de uso e cobertura da terra às células c (Equação 2).

$$ICEA_c = ICE_c * A_c \quad \text{Equação 2}$$

onde:

ICE_c = índice de Corredores Estruturais para a célula c

A_c = proporção da superfície da célula c ocupada por classes de uso não naturais (artificiais e agrícolas)

Finalmente, subtraindo $ICEA_c$ de ICE_c obtém-se o Índice de Corredores Estruturais Ponderado (ICE_{POND}) proporcionando uma medida balanceada entre a proporção de habitat interior e conectores e a proporção da zona ripária ocupada por atividades antrópicas (Equação 3).

$$ICE_{POND} = ICE_c - ICEA_c \quad \text{Equação 3}$$

Na Figura 4 é mostrado um fluxograma das etapas de cálculo dos índices para as unidades amostrais de paisagem.

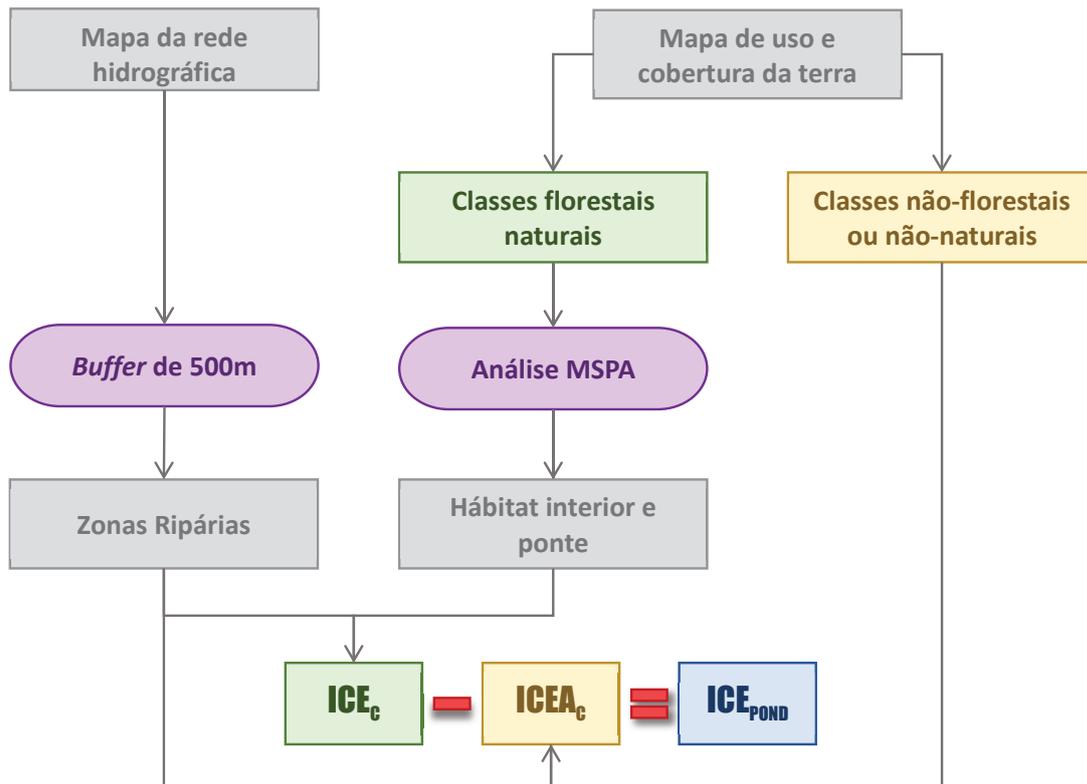


Figura 4. Fluxograma de representação da metodologia para cálculo dos índices ripários.

MSPA = análise morfológica de padrões espaciais; ICE_c = índice de corredores estruturais; $ICEA_c$ = índice de corredores estruturais sob pressão antrópica; ICE_{POND} = índice de corredores estruturais ponderado.

Em seguida, para cada UAP, foi calculado o ICE_{POND} médio, correspondente à média dos valores individuais de todas as células c da unidade amostral. Com base nesse valor médio foi possível comparar a condição do habitat interior e conectores ripários entre as unidades amostrais de paisagem para toda a área de estudo e sua análise dentro dos respectivos biomas.

Resultados e discussão

Índices ripários em unidades amostrais de paisagem individuais

Em cada unidade amostral de paisagem (UAP) individualmente, os maiores valores do Índice de Corredores Estruturais Ripários (ICE_C) foram observados nas regiões que combinam uma densa rede de drenagem e paisagens naturais extensas, representadas por variados tipos de cobertura florestal (Figura 5). Nesses casos, as condições predominantemente naturais e seminaturais determinam o delineamento de zonas ripárias maiores e mais densas, consequentemente aumentando a probabilidade de existência de corredores estruturais (Clerici; Vogt, 2013). Na Figura 5A é mostrada uma imagem satelitária correspondente à área de uma UAP na região sul do Paraná, bioma Mata Atlântica, caracterizada por extensa cobertura florestal. Na Figura 5B, além da rede hidrográfica, são apresentados os valores do ICE_C divididos em cinco classes de igual amplitude (0,2), variando de 0 a 1. Os valores mais próximos de 1 indicam células com presença maciça de corredores estruturais e os mais próximos de zero indicam células com pouca ou nenhuma presença de corredores estruturais na zona ripária. Estes últimos representam locais onde fragmentos florestais são constituídos, em sua maior parte, apenas pelas classes de borda, borda de clareira, ramos e alças – segundo a análise morfológica de padrões espaciais –, possuindo pouca ou nenhuma área de habitat interior ou de ponte para conectá-los a fragmentos adjacentes.

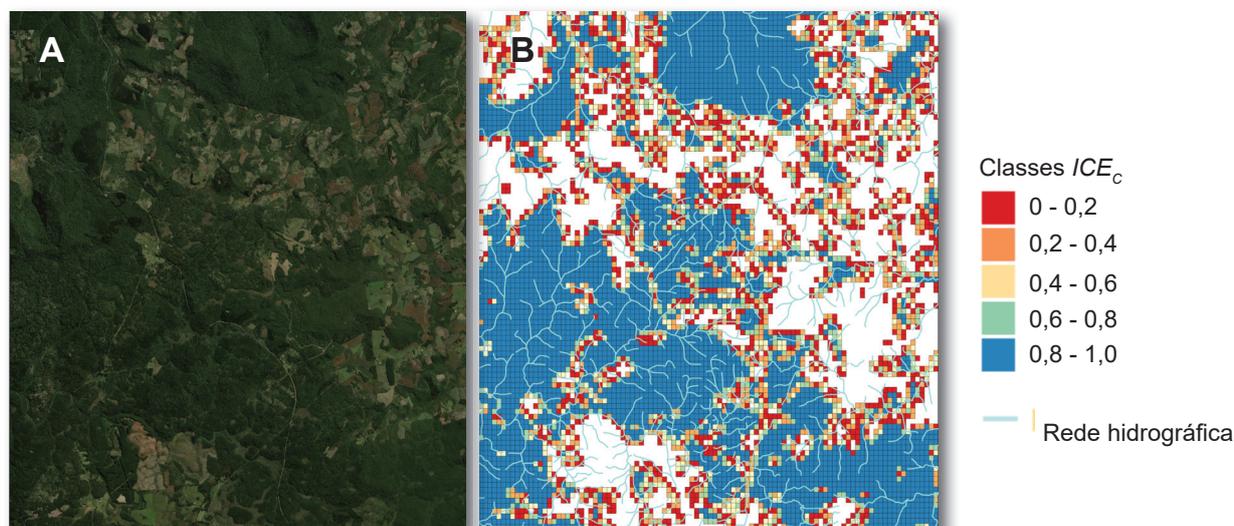


Figura 5. Exemplo de unidade amostral de paisagem no sul do estado do Paraná, mostrando: (A) predominância de classes de uso e cobertura florestais observadas em imagem satelitária; (B) rede hidrográfica e valores do Índice de Corredores Estruturais (ICE_C) para cada célula de 1 hectare dentro da zona ripária.

A presença de muitos cursos d'água nessa UAP faz com que as zonas ripárias coalesçam e, principalmente nas áreas com predominância de cobertura florestal, os valores do ICE_C se encontrem na classe de 0,8 a 1, indicando a existência de corredores e de áreas *core* em grandes superfícies contínuas, o que representa uma situação desejável em termos de conservação de zonas ripárias.

As classes do Índice de Corredores Estruturais Ponderado (ICE_{POND}), não apresentadas na figura, mostram pouca variação em relação àquelas do ICE_C porque o fator de ponderação (pressão antrópica) ocorre majoritariamente em áreas que já possuem baixos valores de ICE_C , ou seja, com baixa proporção de corredores estruturais.

Aplicando-se as mesmas cinco classes de igual amplitude (0,2), variando de 0 a 1, para o ICE_{POND} de uma UAP localizada no estado do Piauí, bioma Caatinga (Figura 6B), verifica-se que as porções mais a jusante da rede hidrográfica são as que apresentam os valores mais baixos para este índice. O caráter intermitente dos cursos d'água nesse bioma também pode ter influência na configuração dos corredores estruturais, fazendo com que as áreas de cultivo agrícola se situem nas regiões ribeirinhas (Figura 6A), o que explicaria a baixa ocorrência de áreas de habitat interior e pontes. Esses locais, portanto, constituem *hotspots* para o estabelecimento de ações de restauração, com a recuperação da cobertura arbórea associada ao controle da pressão antrópica existente na zona ripária. A tipologia savana estépica – observada em áreas mais a montante da rede hidrográfica – pertence à classe Outras Terras com Vegetação Lenhosa, sendo considerada como cobertura arbórea e apresentando a maior parte das células com valores para o Índice de Corredores Estruturais Ponderado próximos de 1.

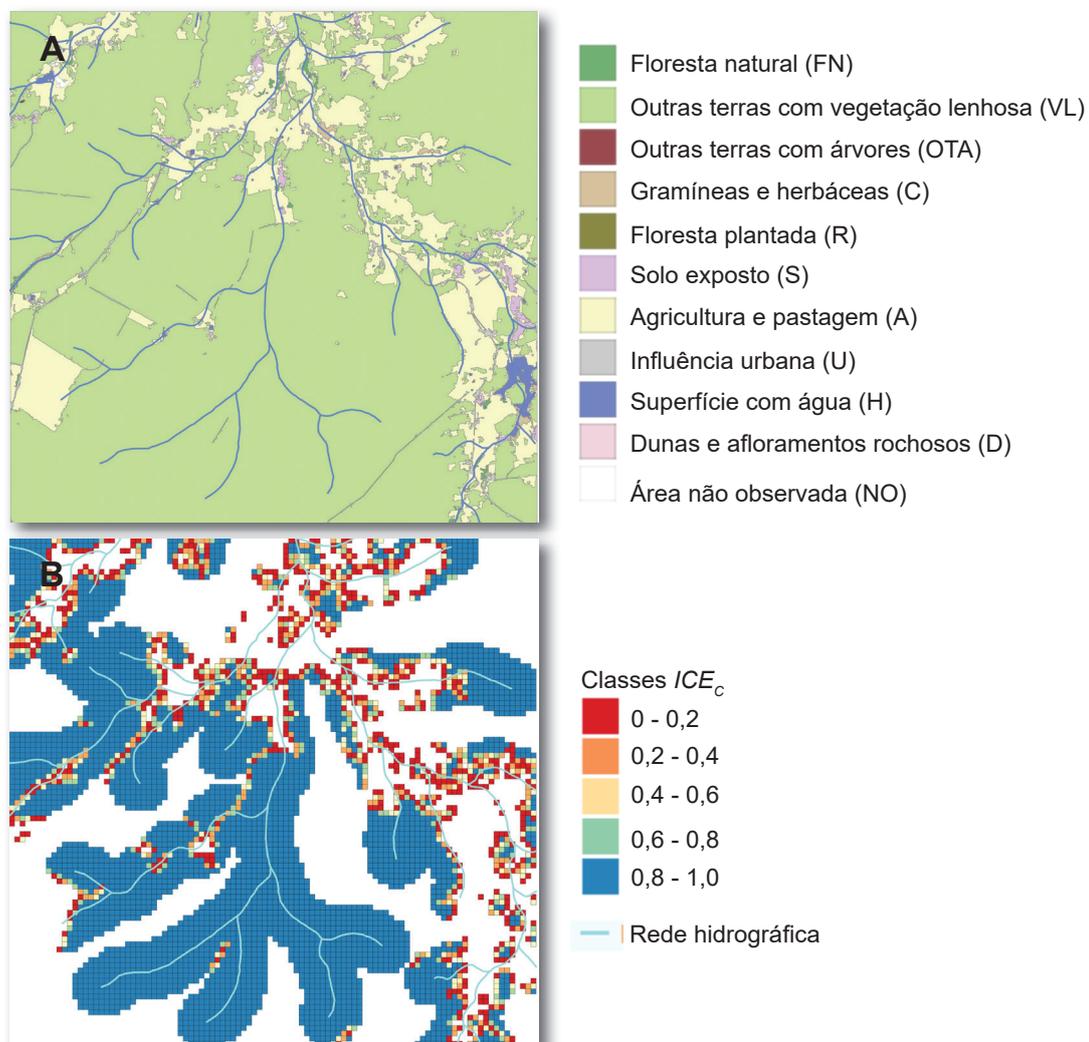


Figura 6. Exemplo de unidade amostral de paisagem na região central do estado do Piauí (bioma Caatinga): (A) classes de uso e cobertura da terra; (B) rede hidrográfica e valores do Índice de Corredores Estruturais (ICE_{POND}) para cada célula de 1 hectare dentro da zona ripária.

O bioma Pampa, caracteristicamente, possui pouca cobertura florestal, na sua maior parte representada pelos capões que acompanham os cursos d'água nos vales de relevo mais proeminente. A Figura 7 mostra uma UAP situada na região central do Rio Grande do Sul, no limite norte da Campanha Gaúcha, cuja tipologia corresponde à estepe-parque com floresta de galeria (IBGE, 2012).

Observa-se que, efetivamente, a maior parte da vegetação arbórea se concentra nas margens dos rios, porém, por serem faixas estreitas, as classes habitat interior e ponte - que representam os corredores estruturais na análise MSPA (Figura 7A) - sofrem a influência da vizinhança representada por pastagens (em cor cinza), o que gera valores menores para o ICE_{POND} (Figura 7B). Assim, embora a rede hidrográfica seja densa e bem distribuída, praticamente toda a zona ripária dessa UAP representa uma região prioritária para a execução de ações de recomposição dos corredores estruturais.

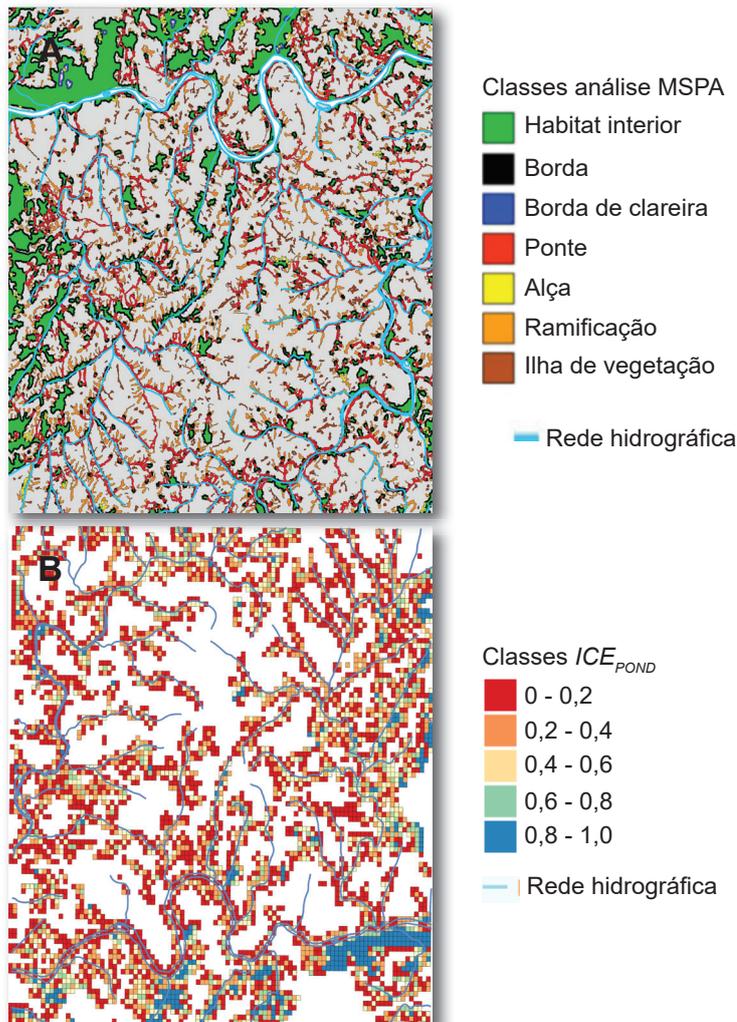


Figura 7. Exemplo de unidade amostral de paisagem na região central do estado do Rio Grande do Sul (bioma Pampa): (A) classes geradas pela análise morfológica de padrões espaciais (MSPA); (B) rede hidrográfica e valores do Índice de Corredores Estruturais (ICE_{POND}) para cada célula de 1 hectare dentro da zona ripária.

Classificação das unidades amostrais de paisagem segundo o Índice de Corredores Estruturais Ponderado

Os valores do ICE_{POND} médio por UAP também foram agrupados em cinco classes de 0,2 de amplitude, variando de 0 a 1, para possibilitar o ranqueamento e a comparação entre as UAPs. As cinco classes podem ser usadas para estabelecer níveis de prioridade com relação às zonas ripárias que requerem programas para a conservação, restauração e manejo. Assim, aquelas UAPs em que o valor do ICE_{POND} se situa entre 0 e 0,2, por exemplo, constituem áreas com prioridade mais alta para ações locais, visando o restabelecimento das funções de conectividade estrutural representada pelos corredores. Por outro lado, valores do ICE_{POND} médio próximos de 1 representariam áreas com baixa prioridade de restauração, em função da predominância de corredores estruturais com reduzida influência antrópica.

Observa-se que a maioria das UAPs do estudo (cerca de 67%) apresentou um ICE_{POND} médio entre 0,2 e 0,6 (Tabela 2), o que significa que os corredores estruturais de suas zonas ripárias demandam atenção no sentido de não estarem cumprindo suas funções de conexão em função da pouca cobertura florestal e, ou da pressão sofrida pela proximidade de atividades antrópicas (prioridades II e III). Situações mais favoráveis são encontradas em 29% das UAPs, com valores do ICE_{POND} médio superiores a 0,6 (prioridades IV e V). Por outro lado, 4% das UAPs constituem áreas de prioridade I para ações imediatas de recuperação e manejo das zonas ripárias, apresentando valores de ICE_{POND} médio inferiores a 0,2.

Tabela 2. Número de UAPs (absoluto e percentual) por classe do Índice de Corredores Estruturais Ponderado, para unidades amostrais de paisagem nos Biomas Pampa, Mata Atlântica e Caatinga.

Níveis de prioridade	Classes ICE_{POND}	Número de UAPs							
		Total		Biomas					
		UAPs	%	Pampa	%	Mata Atlântica	%	Caatinga	%
I	0,0 - 0,2	16	3,79	4	14,81	10	3,85	2	1,48
II	0,2 - 0,4	147	34,83	17	62,96	121	46,54	9	6,67
III	0,4 - 0,6	135	31,99	6	22,22	88	33,85	41	30,37
IV	0,6 - 0,8	85	20,14	0	0,00	30	11,54	55	40,74
V	0,8 - 1,0	39	9,24	0	0,00	11	4,23	28	20,74
Total		422	100,00	27	100,00	260	100,00	135	100,00

ICE_{POND} = Índice de Corredores Estruturais Ponderado; UAP = unidade amostral de paisagem.

Ao se analisar a condição dos corredores estruturais por bioma, encontram-se situações diferenciadas, notadamente em relação ao bioma Caatinga, onde mais de 60% das UAPs amostradas possuem valores de ICE_{POND} médio superiores a 0,6 e apenas 8% com valores abaixo de 0,4 para este índice (prioridades I e II). Na Mata Atlântica essa situação se inverte, com praticamente a metade das UAPs apresentando zonas ripárias onde os corredores estruturais necessitam ser restaurados e apenas 4% se aproximam de condições ideais, com valores de ICE_{POND} médio superiores a 0,8. O Pampa, por suas características de cobertura predominantemente campestre, apresenta valores de ICE_{POND} médio inferiores a 0,4 em quase 80% das UAPs do estudo.

Na Tabela 3 as classes do ICE_{POND} médio estão ordenadas da mais alta para a mais baixa prioridade (classes I a V, respectivamente) e são mostrados os percentuais do número de UAPs de cada classe, distribuídos pelos três biomas amostrados.

Tabela 3. Percentual do número de unidades amostrais de paisagem nos Biomas Pampa, Mata Atlântica e Caatinga por classe de prioridade para ações de restauração de zonas ripárias, com base no Índice de Corredores Estruturais Ponderado médio.

Bioma	Níveis de prioridade (ICE_{POND} médio)				
	I	II	III	IV	V
	0 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0
Pampa	25,00	11,56	4,44	0,00	0,00
Mata Atlântica	62,50	82,31	65,19	35,29	28,21
Caatinga	12,50	6,12	30,37	64,71	71,79
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

ICE_{pond} médio = Índice de Corredores Estruturais Ponderado médio.

Dessa forma, estima-se que, do total de UAPs cujas zonas ripárias necessitam ações imediatas de recuperação dos corredores estruturais, mais da metade se localiza na Mata Atlântica. Outros 25% se encontram no Pampa e pouco mais que 10% estão na Caatinga. Essa tendência se mantém para a classe de prioridade II, onde mais de 80% das UAPs com zonas ripárias a terem seus corredores estruturais restaurados se localizam na Mata Atlântica. Entre as menores prioridades de restauração estão as UAPs da Caatinga, com mais de 60% e de 70% de suas UAPs nas classes IV e V, respectivamente.

Esses resultados podem ser visualizados na Figura 8 que mostra a classificação do ICE_{POND} médio para as 422 UAPs do estudo. Observa-se que as regiões menos prioritárias para restauração (prioridade V) e, portanto, onde os corredores estruturais se encontram mais preservados, se concentram na Serra do Mar, nos estados do Paraná e São Paulo. No Bioma Caatinga essa classe se concentra nas UAPs ocupadas por savana estépica florestada e arborizada (IBGE, 2012), entre o norte da Bahia, oeste de Pernambuco e sul do Piauí.

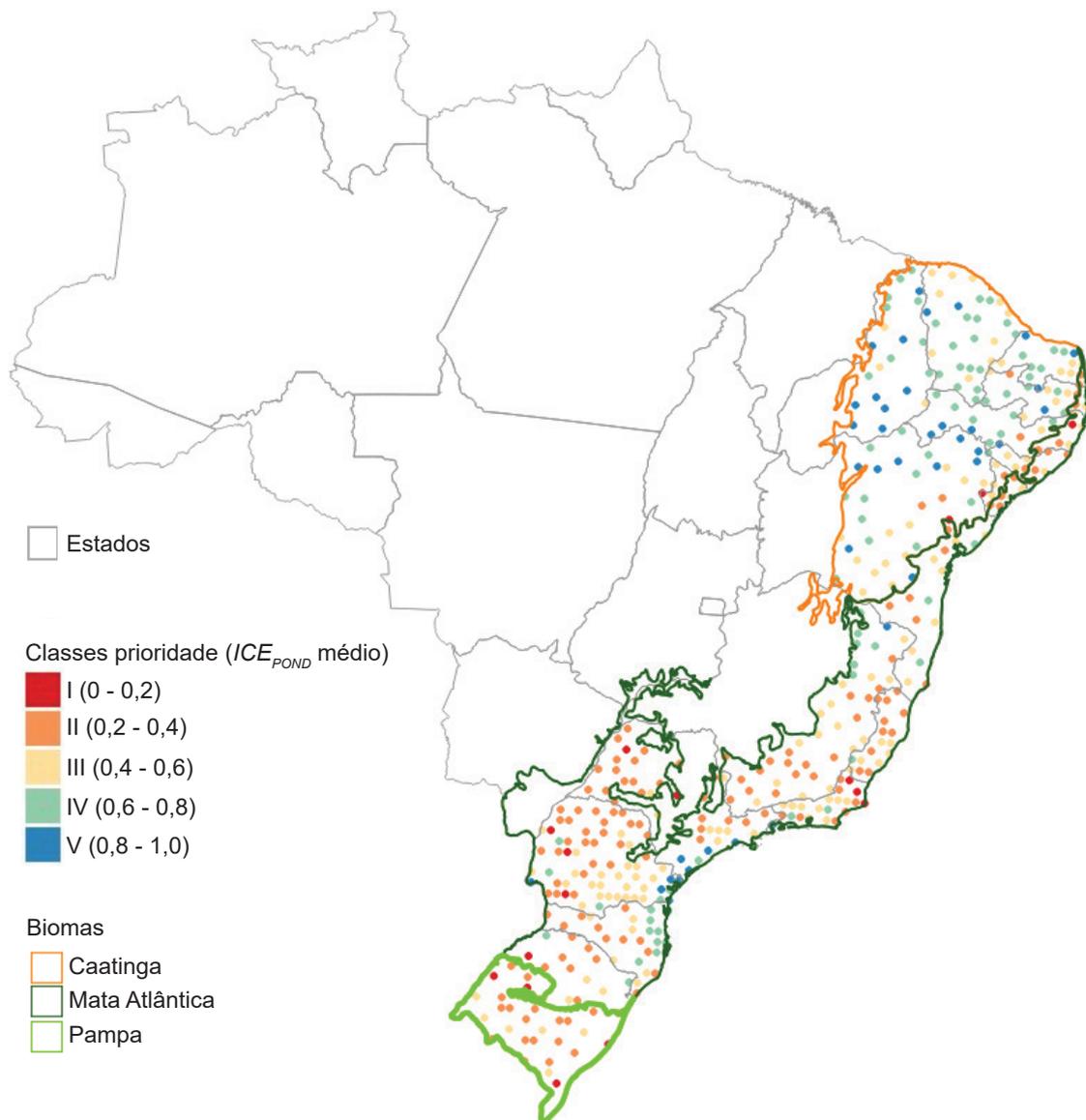


Figura 8. Classificação das unidades amostrais de paisagem segundo o nível de prioridade para ações de restauração de corredores estruturais ripários nos biomas Pampa, Mata Atlântica e Caatinga.

As UAPs representantes das classes de prioridade IV ocorrem também, de forma agrupada, na Serra do Mar e região litorânea de Santa Catarina, bem como na metade norte do bioma Caatinga. Com uma maior proporção, as classes de prioridade III formam grupos mais ou menos contíguos no interior do Rio de Janeiro e na região centro-sul e leste do Paraná, todas em área de Mata Atlântica. O litoral norte do Ceará e o sul da Bahia, no bioma Caatinga, também contêm alguns grupos de UAPs pertencentes à classe III.

A classe de prioridade II inclui o maior número de UAPs da área amostrada, apresentando concentrações no Pampa, na Mata Atlântica, principalmente no norte e noroeste do Paraná, no oeste de São Paulo, em algumas regiões de Minas e Espírito Santo e na região litorânea dos estados do Nordeste.

Os *hotspots* (prioridade I) para ações imediatas de recuperação de corredores de zonas ripárias aparecem na região litorânea do Pampa e no oeste do Rio Grande do Sul (Pampa e Mata Atlântica), no sudoeste e noroeste do Paraná, em alguns pontos no centro e no oeste de São Paulo, no norte do Rio de Janeiro, no interior da Bahia e Sergipe, ambos na Caatinga, e na região costeira de Pernambuco (Mata Atlântica).

Conclusões

A metodologia aqui apresentada possibilita o mapeamento de corredores estruturais de zonas ripárias e o ranqueamento de unidades amostrais ou regiões em relação à prioridade de ações de conservação e restauração.

Crítérios como a proporção de cobertura arbórea/arbustiva, o grau de pressão ambiental e uma ponderação entre eles permite uma primeira detecção de áreas de zonas ripárias críticas para a restauração ambiental.

Toda a análise efetuada se baseia em software livre, permitindo sua replicação em outros estudos e situações.

O estabelecimento de critérios objetivos e quantificáveis de avaliação e de priorização facilita o planejamento da gestão da paisagem, de modo a subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas e o cumprimento da legislação.

O Índice de Corredores Estruturais Ponderado contrabalança a presença de áreas de habitat interior e conectores e a ocorrência de distúrbios de origem antrópica na vizinhança próxima a cada unidade de área (célula) avaliada na zona ripária.

Uma vantagem importante da metodologia apresentada é a possibilidade de identificar e priorizar áreas em diferentes escalas espaciais, com posterior agregação dos índices (ICE_{pond} médio) para divisões territoriais administrativas, como micro ou mesorregiões dentro dos Estados, ou naturais, como, por exemplo, por microbacias.

A análise de prioridade representada pela divisão em classes do Índice de Corredores Estruturais Ponderado médio permite que a necessidade de ações de restauração possa ser identificada ao longo de um ou mais cursos d'água específicos em uma paisagem e em quais locais a conectividade e função dos corredores ripários está mais ameaçada.

Estudos futuros podem avaliar a aplicação dos índices ripários aqui propostos a dados oriundos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e aos respectivos Projetos de Recomposição de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA) sendo executados no âmbito do Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Referências

- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...] e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 23 set. 2021. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, em 28 maio, 2012.
- CHETKIEWICZ, C. L. B.; ST. CLAIR, C. C.; BOYCE, M. S. Corridors for conservation: integrating pattern and process. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 37, p. 317-342, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110050>.
- CLERICI, N.; VOGT, P. Ranking European regions as providers of structural riparian corridors for conservation and management purposes. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 477-483, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.001>.
- EMBRAPA. **Agricultura e preservação ambiental:** uma primeira análise do Cadastro Ambiental Rural, 2017. Disponível em: <https://goo.gl/Zpww38>. Acesso em: 24 set. 2021.
- FAO. **Global forest resources assessment:** terms and definitions FRA 2020. Rome, 2018. 26 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8661EN/i8661en.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. 275 p. (Manuais técnicos em geociências, 1). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- IBGE. **Manual técnico de uso da terra.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 171 p. (Manuais técnicos em geociências, 7). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- IVITS, E.; CHERLET, M.; MEHL, W.; SOMMER, S. Estimating the ecological status and change of riparian zones in Andalusia assessed by multi-temporal AVHRR datasets. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 3, p. 422-431, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.05.013>.
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D.; FRANCISCON, L.; HOLLER, W. A.; GAIAD, N. P.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem:** volume 1: procedimentos para a execução do mapeamento de uso e cobertura da terra. Colombo: Embrapa Florestas, 2018a. 92 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 316). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178077/1/Livro-Doc-316-1527-final.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.
- LUZ, N. B.; MARAN, J. C.; GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M.; FRANCISCON, L.; FREITAS, J. V. **Manual de análise de paisagem:** volume 3: procedimentos para a geração de índices espaciais das unidades amostrais de paisagem. Colombo: Embrapa Florestas, 2018b. 93 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 321). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184330/1/Livro-Doc-321-1542-corrigido-9out18.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.
- LYONS, J.; TIMBLE, S. W.; PAINE, L. K. Grass versus trees: managing riparian areas to benefit some streams of Central North America. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 36, n. 4, p. 919-930, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04317.x>.
- MEYER, P. A. Economic and Social Values in Riparian Systems. In: WARNER, R. E.; HENDRIX, K. M. (ed.). **California riparian systems:** ecology, conservation, and productive management. Berkeley: University of California Press, 1984. p. 216-241.
- NAGY, R. C.; PORDER, S.; NEILL, C.; BRANDO, P.; QUINTINO, R. M.; NASCIMENTO, S. A. Structure and composition of altered riparian forests in an agricultural Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1725-1738, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1890/14-1740.1>.
- NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H.; MCCLAIN, M. E. **Riparia:** ecology, conservation, and management of streamside communities. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 448 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-663315-3.X5000-X>.
- NILSSON, C.; BERGGREN, K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. **BioScience**, v. 50, n. 9, p. 783-792, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0783:AORECB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0783:AORECB]2.0.CO;2).
- NRC. National Research Council. **Riparian areas:** functions and strategies for management. Washington: National Academy Press, 2002. 444 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/10327>.
- OLSON, D. H.; ANDERSON, P. D.; FRISSEL, C. A.; WELSH JUNIOR, H. H.; BRADFORD, D. F. Biodiversity management approaches for stream-riparian areas: perspectives for Pacific Northwest headwater forests, microclimates, and amphibians. **Forest Ecology and Management**, v. 246, p. 81-107, 2007.

- ROSOT, M. A. D.; MARAN, J. C.; DA LUZ, N. B.; GARRASTAZÚ, M. C.; DE OLIVEIRA, Y. M. M.; FRANCISCON, L.; CLERICI, N.; VOGT, P.; DE FREITAS, J. V. Riparian forest corridors: a prioritization analysis to the landscape sample units of the Brazilian national forest inventory. **Ecological Indicators**, v. 93, p. 501–511, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.071>.
- SEITZINGER, S. P.; MAYORGA, E.; BOUWMAN, A. F.; KROEZE, C.; BEUSEN, A. H. W.; BILLEN, G.; VAN DRECHT, G.; DUMONT, E.; FEKETE, B. M.; GARNIER, J.; HARRISON, J.; WISSER, D.; WOLLHEIM, W. M. Global river nutrient export: A scenario analysis of past and future trends. **Global Biogeochem**, v. 24, n. 4, p. 1-16, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GB003587>.
- SOILLE, P.; VOGT, P. Morphological segmentation of binary patterns. **Pattern Recognition Letters**, v. 30, n. 4, p. 456-459, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015>.
- STEIDL, R. J.; SHAW, W. W.; FROMER, P. A science-based approach to regional conservation planning, 217-233. In: ESPARZA, A. X.; MCPHERSON, G. (ed.). **The planner's guide to natural resource conservation: the science of land development beyond the metropolitan fringe**. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 2009. 258 p.
- TOCKNER, K.; STANFORD, J. A. Riverine floodplains: present state and future trend. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 3, p. 308-330, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>.
- TREVIÑO, J. G. E.; CAMACHO, C. C.; CALDERÓN, A. O. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. **Madera y Bosques**, v. 7, p. 13-25, 2001. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770103>. Acesso em: 20 out. 2021.
- VOGT, P.; RIITTERS, K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis. **European Journal of Remote Sensing**, v. 50, n. 1, p. 352-361, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2017.1330650>.
- VOGT, P. **User guide of GuidosToolbox**: release 3.0, revision 3. Ispra: European Commission, Joint Research Centre, 2021. 75 p. Disponível em https://ies-ows.jrc.ec.europa.eu/gtb/GTB/GuidosToolbox_Manual.pdf. Acesso em: 20 out. 2021.
- ZELARAYÁN, M. L. C.; CELENTANO, D.; OLIVEIRA, E. C.; TRIANA, S. P.; SODRÉ, D. N.; MUCHAVISOY, K. H. M.; ROUSSEAU, G. X. Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 3, p. 271-282, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201500432>.

Embrapa

Florestas

