



METODOLOGIA DE ANÁLISE DE CONECTIVIDADE - PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA (PAE)

A análise de conectividade consiste no estudo de conectividade dos fragmentos remanescentes, aquáticos e terrestres, e suas implicações para a conservação da biodiversidade. Sua execução está prevista nos termos de referência para fins de caracterização da linha de base e avaliação de impacto ambiental em caso de desastre de que tratam, respectivamente, o inciso II do artigo 20 e o artigo 17 da Resolução Conjunta Semad/Feam/IEF/Igam 3.181 de 11 de novembro de 2022.

I. NO QUE SE REFERE À ANÁLISE DE CONECTIVIDADE HÍDRICA

A abordagem utilizará a metodologia de análise de rios livres (free flowing rivers) desenvolvida por Grill et al. (2019) com as adaptações necessárias à escala de estudo e realidade ecológica e socioeconômica de Minas Gerais, conforme disposto neste documento.

O método usa dados de fluviogeomorfologia e uso da terra e recursos hídricos para sintetizar um Índice de Status de Conectividade – CSI, indicador composto de conectividade que retrata suas dimensões longitudinal (conexão de montante a jusante), lateral (conexão ente canal e ambientes marginais ou planície de inundação), vertical (conexão entre águas superficiais e subterrâneas) e temporal (conexão relativa a variações sazonais de fluxo e ao pulso de inundação) num determinado trecho de rio ou de bacia.

1. Devem ser avaliados os seguintes fatores de pressão na composição do CSI:
 - 1.1 Grau de fragmentação do trecho por barramentos – DOF: indica a extensão isolada a montante dos disruptores de conectividade, como barramentos, representando perdas de conectividade longitudinal;
 - 1.2 Grau de fragmentação do trecho por regulação de vazão – DOR: indica a redução da vazão do trecho em comparação à vazão natural, causada por disruptores de conectividade, como barramentos, representando perdas de conectividade lateral e sazonal pela supressão dos pulsos de inundação;
 - 1.3 Grau de fragmentação do trecho por urbanização – URB: indica o desenvolvimento de infraestrutura em áreas ripárias e na planície de inundação, servindo como proxy de modificações físicas do canal e lançamento de efluentes que comprometem a conectividade lateral pela alteração de pulsos de inundação e supressão ou degradação de habitats marginais, a conectividade longitudinal pela degradação da qualidade da água e a conectividade vertical pela associação a retificações e canalizações.
 - 1.4 Grau de fragmentação do trecho pela supressão, fragmentação e degradação de vegetação ripária – ARP: indica o nível de impacto nas áreas ripárias, que promovem a desconexão



lateral e temporal do rio com áreas de várzeas, a desconexão vertical pela intensificação de processos de assoreamento e a desconexão longitudinal pela degradação da qualidade da água. Esse fator de pressão é uma adaptação da metodologia de Grill et al. (2019) à escala mais detalhada do estudo em questão. Seu valor será incorporado ao cálculo do CSI como um indicador adicional, observadas as fórmulas prescritas por Grill et al. (2019).

2. Para fins de cálculo do CSI, a seguinte adaptação dos pesos utilizados por Grill e colaboradores (2019) deve ser empregada: $DOF = 30\%$; $DOR = 30\%$; $URB = 20\%$; $ARP = 20\%$.
3. Fontes de dados
 - 3.1. A metodologia se encontra detalhadamente descrita em GRILL, G. et al. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, v. 569, p. 215–221, 2019.
 - 3.2. O código, scripts e algoritmos das ferramentas utilizadas, que permitem rodar a análise estão disponíveis em: <https://github.com/ggrill/Free-Flowing-Rivers>
 - 3.3. As bases de dados espaciais, incluindo a rede hidrográfica global e atributos associados, empregada no estudo original estão disponíveis para consulta em <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7688801>, por meio da licença CC-BY-4.0. Entretanto, a adaptação da metodologia ao contexto, muito mais local, dos trechos de bacias e sub-bacias hidrográfica mineiras exige as seguintes substituições de bases de dados:
 - 3.3.1. Hidrografia – Substituir a camada de hidrografia global pela base de Hidrografia otocodificada - IGAM 2021, disponível na plataforma IDE-Sisema, que contém todos os atributos necessários ao cálculo de routing (1ª etapa na modelagem).
 - 3.3.1.1 Os limiares de vazão e extensão para inclusão na análise devem ser ajustados para escala mais fina, permitindo refletir os impactos ambientais descritos abaixo.
 - 3.3.2 DOF – Utilizar mapeamentos de barragens em escala local em substituição às bases globais. No mínimo, as seguintes bases de dados devem ser empregadas no mapeamento dos barramentos de geração de energia, contenção de rejeitos e resíduos, acumulação de água, abastecimento e perenização:
 - 3.3.2.1 Histórico de Empreendimentos Licenciados entre 2013 e 2019 (Semad); Licenças ambientais emitidas pelo Sistema de Licenciamento Ambiental da Semad (Semad) - IDE-Sisema;
 - 3.3.2.2 Usinas Hidrelétricas 2019 (ANEEL) - IDE-Sisema; Pequenas Centrais Hidrelétricas 2019 (ANEEL); Centrais Geradoras Hidrelétricas 2019 (ANEEL) - IDE-Sisema;



**GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS**

- 3.3.2.3 Aproveitamentos Hidrelétricos - AHE - SIGEL/ANEEL;
- 3.3.2.4 Barragens de contenção de rejeitos e resíduo (Feam) - IDE-Sisema;
- 3.3.2.5 Massas d'água (ANA) - IDE-Sisema; Água (lagos) (Mapbiomas).
- 3.3.3 DOR – Utilizar sistemas de gestão de dados de vazão em escala local em substituição às bases globais. Além das bases de dados empregadas no mapeamento da localização de barramentos descritas acima, no mínimo, as seguintes bases devem ser empregadas:
 - 3.3.3.1 Vazão de rios estaduais: Estudo de regionalização de vazão da UFV & IGAM (2012) – disponível na IDE-Sisema
 - 3.3.3.2 Vazão de rios federais: SNIRH – geonetworking:
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/7ac42372-3605-44a4-bae4-4dee7af1a2f8>
 - 3.3.3.3 O volume dos reservatórios deve ser levantado junto aos empreendimentos ou calculado por função de regressão linear a partir da área do espelho d'água.
- 3.3.4 URB – Empregar percentual de ambiente ripário ocupado por manchas urbanas no lugar das bases de dados globais. O mapeamento de manchas urbanas deve usar a união dos mapeamentos Embrapa 2015 e IBGE 2015 ou mapeamento mais acurado e recente.
- 3.3.5 ARP – Empregar inverso da razão da cobertura natural nos ambientes ripários, considerando a coleção mais recente do Projeto Mapbiomas ou classificação de uso e ocupação do solo de resolução (área de pixel) e acurácia (coeficiente Kappa) igual ou superior.
- 3.4 Para fins de cálculo dos indicadores URB e ARP:
 - 3.4.1 O cálculo deve considerar como ambientes ripários as seguintes bases geoespaciais, empregando-se sempre a que for mais ampla como limite:
 - 3.4.1.1 Planícies fluviais e fluviolacustres – Mapa de Geodiversidade do Estado de Minas Gerais – CPRM, 2010 – disponível na IDE-Sisema;
 - 3.4.1.2 Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente Degradadas, Leito Regular dos Cursos D'água, Lagoas Marginais e Geração de Limites de APP Hídrica do Estado de Minas Gerais – IEF, 2018 – disponível mediante solicitação;
 - 3.4.1.3 Buffer de 200 m em torno da malha hidrográfica, conforme Dala-Corte e colaboradores (2020).
- 4 O cálculo deve ser feito por microbacia e o geoprocessamento deve eliminar sobreposições entre as áreas ripárias dos afluentes e as dos rios que os recebem.
- 5 A análise de conectividade aquática deve ser calculada para pelo menos dois cenários: atual e



futuro.

- 5.1 O cenário atual deve considerar apenas barramentos instalados ou com licença prévia ambiental emitida.
- 5.2 O cenário futuro deve empregar os empreendimentos do cenário presente e os empreendimentos pretendidos.

II. NO QUE SE REFERE À ANÁLISE DE CONECTIVIDADE TERRESTRE

A abordagem do estudo de conectividade terrestre deverá utilizar como base as métricas que buscam representar a heterogeneidade do uso e ocupação da terra por atividades socioeconômicas, produzidas em uma determinada escala (espacial e temporal), e para um determinado observador (espécie) (Metzger, 2001). O presente estudo tem como objetivo compreender os efeitos dos processos de perda, fragmentação e degradação de habitat sobre a biodiversidade, bem como subsidiar ações de mitigação de danos ambientais e planejamento territorial de regiões agricultáveis.

Entre as métricas existentes, destacam-se as que tem se mostrado mais importantes para compreender a relação de causa e efeito dos processos de perda e fragmentação de habitat na diversidade biológica:

- A. Quantidade de habitat, ou seja, proporção da área de habitat disponível na paisagem focal para qualquer formação natural (florestal, savânica, campestre, arbustiva, herbácea etc.).
 - B. Conectividade dos fragmentos, que pode ser avaliada em dois aspectos, a conectividade física ou estrutural – união entre áreas de habitat – e a conectividade biológica ou funcional – trânsito de organismos entre manchas de habitat descontínuas (Metzger, 2001).
 - C. Potencial de regeneração natural, ou seja, identificação de lugares que após o abandono da terra têm maiores condições de se regenerarem a partir da dispersão zoocórica (Niebuhr et al., [s.d.]).
1. Para análise de paisagem devem ser obtidos dados da base cartográfica do MapBiomias mais atual com resolução espacial de 30 m. As classes de vegetação natural devem ser divididas em dois grupos: i) formações florestais e ii) formações naturais abertas, que compreendem formações savânicas, campestre e outras formações naturais não-florestais.
 2. Devem ser calculadas as seguintes métricas que caracterizam a composição e configuração da paisagem.
 - 2.1. Quantidade de habitat na paisagem



2.1.1. A definição do status de conservação das paisagens deve ser pautada em limiares ecológicos de percolação e fragmentação consolidados na literatura (Andrén, 1994; Stauffer e Aharony, 1992), que permitam classificar as paisagens em fontes, resilientes e degradadas.

2.1.2. A quantidade de habitat e de regeneração disponível na paisagem devem ser calculadas através de técnicas pertinentes, como por exemplo, a técnica de *Moving Windows* que consiste na quantificação do número de pixels de habitat existentes em uma janela (paisagem) de 2.790 m (raio da Unidade de Planejamento – UP), a fim de contabilizar a proporção de área ocupada por habitat na paisagem (McGarigal e Marks, 1995). Assim, cada pixel ao final do processo apresentará o valor de habitat disponível em cada UP.

2.2. Conectividade funcional

O cálculo da conectividade deverá ser baseado na teoria dos grafos, em que os fragmentos são considerados nós e as distâncias entre eles representam a capacidade de movimentação das espécies pelas áreas de não habitat, sendo consideradas conexões. A partir disso, a métrica identificará agrupamentos de fragmentos que se encontram conectados a uma determinada distância, caracterizando a formação de redes de nós e conexões (grafos), informando a área de habitat disponível para cada fragmento focal (Martensen *et al.*, 2012; Metzger *et al.*, 2009; Ribeiro *et al.*, 2009).

2.2.1. Deverá ser considerada a distância de 120 m para ambientes florestais e 320m para áreas abertas, no intuito de se acomodarem diferenças nas características biológicas de percepção da paisagem pelas espécies, pois organismos de áreas abertas possuem, em média, maior habilidade de deslocamento do que espécies florestais. Sugere-se que as métricas sejam calculadas no *software GRASS*, a partir do pacote *LSMetrics* (Niebuhr *et al.*, [s.d.]).

2.3. Potencial de regeneração natural

2.3.1. A avaliação do potencial de regeneração natural deverá ser utilizada a base cartográfica do MapBiomass, considerando as classes para as quais existem modelos descritos do impacto da dispersão de sementes por frugívoros.

2.3.2. A fim de considerar áreas com maior probabilidade de ocorrência de regeneração natural, deve-se analisar as áreas de pastagem degradadas representando terras presentemente abandonadas por meio de mapeamento de pastagens degradadas. Sugere-se o uso do mapeamento realizado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG) (<https://pastagem.org/index.php/pt-br>).



- 2.3.3.** Deve-se assumir que os locais com maior necessidade de ações de restauração são paisagens caracterizadas por uma intermediária ou baixa quantidade de habitat (próxima ao limiar de fragmentação). Quanto maior a área do fragmento, maior a probabilidade de sementes e propágulos vegetais serem dispersos para fora deste em distâncias mais longas, pois fragmentos maiores podem abrigar indivíduos de médio e grande porte, que possuem uma mobilidade mais ampla pela paisagem, ocasionando a deposição de sementes para novas áreas, mais distantes do fragmento fonte.
- 2.3.4.** Para identificação dos locais com maior potencial de regeneração natural deve-se considerar a relação do tamanho e grau de isolamento dos fragmentos, junto com a localização das matrizes abandonadas. Sugere-se como referência o modelo espacial proposto pelo Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus Rio Claro (Niebuhr *et al.*, [s.d.]) (disponível em: https://github.com/LEEClab/seed_dispersal_mapper).
- 2.3.5.** Todos os remanescentes florestais devem ser categorizados em classes de tamanho, com associação de estimativas da capacidade de deslocamento de seus indivíduos em função de sua área. Assim, as distâncias de deslocamento dos indivíduos serão definidas em função direta da área dos fragmentos.
- 2.3.6.** Com base nessa representação do efeito da estrutura da paisagem na dispersão deve-se estimar, por regressão logística, como o tamanho do fragmento e a distância a partir de sua borda influenciam a probabilidade de deposição de sementes (regenerabilidade).
- 3.** Outras métricas que caracterizam a composição e configuração da paisagem poderão ser calculadas, desde que justificadas quanto ao uso e informadas as devidas referências bibliográficas, não isentando a apresentação das métricas dispostas no item 2.

III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrén, H. (1994). Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. *Oikos*, v. 71, n. 3, p. 355–366.

Dala-Corte RB, Melo AS, Siqueira T, et al. (2020). Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *J Appl Ecol.*;00:1–12. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13657>

Grill, G. et al. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, v. 569, p. 215–221.



**GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS**

Martensen, A. C. et al. (2012). Associations of Forest Cover, Fragment Area, and Connectivity with Neotropical Understory Bird Species Richness and Abundance. *Conservation Biology*, v. 26, n. 6, p. 1100–1111.

Mcgarigal, K.; Marks, B. J. (1995). *Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.*, 1995.

Metzger, J. P. (2001). O QUE É ECOLOGIA DE PAISAGENS? *Biotaneotropica*, p. 1–9.

Metzger, J. P. (2009). Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1166–1177.

Niebuhr, B. B. S. et al. *Landscape Metrics (LSMetrics): a spatially explicit tool for calculating connectivity and other ecologically-scaled landscape metrics.* In preparation., [s.d.].

Ribeiro, M. C. et al. (2009). 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.

Stauffer, D.; Aharony, A. (1992). *Introduction To Percolation Theory.* v. 2nd Edition.