

IMPACTO DA REGENERAÇÃO NATURAL DE ÁREAS MINERADAS EM ASSEMBLEIAS DE BORBOLETAS FRUGÍVORAS

VINICIO DA SILVA MARTINS JUNIOR¹; CRISTIANO AGRA ISERHARD²

¹Universidade Federal de Pelotas – viniciomartins.sec@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – cristianoiserhard@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas degradadas é uma obrigação a todos os empreendimentos minerários. Mas municípios pequenos não possuem estrutura suficiente para fiscalizar e garantir que a legislação seja cumprida. Assim áreas mineradas são abandonadas e, sem métodos de recuperação ativos, a sucessão ecológica depende exclusivamente de um potencial de regeneração natural que foi severamente prejudicado pela remoção da camada superficial do solo (MACHADO et al 2018). Essas manchas degradadas causam modificação na distribuição das espécies na paisagem, prejudicando serviços ecossistêmicos essenciais e a biodiversidade (CARDINALE et al 2012; PINTO, CORONEL 2012).

A diversidade de espécies, chamada de riqueza, refere-se ao número total de espécies em uma localidade. Essa medida é complementada pela equabilidade, que descreve o quão equilibrada é a distribuição do número de indivíduos entre as populações de diferentes espécies. Um ambiente com alta equabilidade é aquele onde não há dominância de poucas espécies, indicando uma comunidade mais estável, o que é esperado em ecossistemas saudáveis ou em estágios mais avançados de regeneração (BEGON, TOWNSED 2023). Prever o resultado de um processo de sucessão ecológica é extremamente difícil, e os graus de sucesso da previsão são baixos, sendo impossível afirmar que uma comunidade clímax de um ambiente degradado, terá a mesma composição de formações nativas não-degradadas (BRUDVIG et al 2017). Entretanto, é possível inferir a saúde de um ecossistema analisando comunidades de organismos sensíveis a mudanças ambientais, como as borboletas frugívoras (CHOWDHURY et al 2023).

As borboletas frugívoras da família Nymphalidae - Biblidinae, Charaxinae, Nymphalinae e Satyrinae – alimentam-se de frutos fermentados, excrementos ou exsudatos de planta (LEGAL 2013). Além disso, são organismos bem compreendidos, ecologicamente e taxonomicamente, respondendo rápido a perturbações ambientais (CHOWDHURY et al 2023). A análise da diversidade de borboletas frugívoras no ambiente, nos permite inferir a saúde de ecossistemas degradados ao comparar com as assembleias de ambiente nativos não-degradados (BEGON, TOWNSED 2023).

O objetivo desse estudo foi avaliar a resposta das assembleias de borboletas frugívoras ao processo de regeneração natural de áreas degradadas por mineração. A partir da comparação de padrões de diversidade taxonômica deste grupo hipotetizamos que a diversidade e equabilidade da assembleia de borboletas frugívoras observada será menor no estágio inicial de regeneração, ao passo que estágios mais avançados possuirão maior diversidade e equabilidade. Além disso, prevê-se que a composição de espécies dos ambientes degradados será cada vez mais similar a formações nativas não-degradadas, conforme o aumento do tempo de regeneração.

2. METODOLOGIA

O estudo ocorreu no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, entre dezembro-2024 e março-2025, sobre um mosaico campo-floresta com perfil antrópico expressivo e forte presença de atividade agrária e silvipastoril. A vegetação é subarbustiva em campos temperados, com fragmentos de Floresta Estacional Semidecídua com influência da Mata Atlântica (IBGE 1986). O clima da região é do tipo “cfa” (clima subtropical).

Foram amostrados três tipos de ambientes. Dois severamente degradados por mineração, classificados de acordo com o tempo de regeneração: (i) regeneração recente (≤ 5 anos) e (ii) regeneração intermediária (≥ 30 anos). Também foi amostrado um ambiente composto por (iii) mata nativa com pouca influência antrópica, usado como referência dos processos de sucessão ecológica local. Os ambientes foram replicados em três áreas, com cerca de cinco hectares cada, totalizando nove áreas de estudo, sendo cada área uma unidade amostral (UA). Em cada UA, foram instaladas cinco armadilhas atrativas do tipo Von Somen-Rydon, com espaçamento mínimo de 30 metros entre si. O atrativo utilizado foi uma mistura de banana e caldo de cana fermentada por 48h logo antes de cada amostragem. O período de amostragem durou quatro dias, com vistorias realizadas a cada 24 horas para a troca das iscas e a coleta das espécies (Freitas et al 2014). As espécies capturadas foram identificadas, marcadas nas asas com caneta permanente e soltas. Espécimens testemunho e de difícil identificação foram coletadas para compor a coleção do Laboratório de Ecologia de Lepidoptera (LELeP) do Instituto de Biologia da UFPel.

A representatividade das assembleias de borboletas foi calculada pela cobertura amostral baseada na completude das amostras, utilizando a estatística q com dados de abundância e 1000 aleatorizações (Chao et al. 2013). Para caracterizar e comparar a diversidade de espécies entre os três ambientes, foi utilizado o método de rarefação e extrapolação pelos números de Hill, estimando ordens da estatística $q=0$ (riqueza), $q=1$ (exponencial do índice de Shannon) e $q=2$ (índice de Simpson). As curvas foram geradas com intervalos de confiança de 95%, obtidos pelo método de bootstrap, facilitando a comparação de múltiplas comunidades para amostras extrapoladas (Chao et al. 2014).

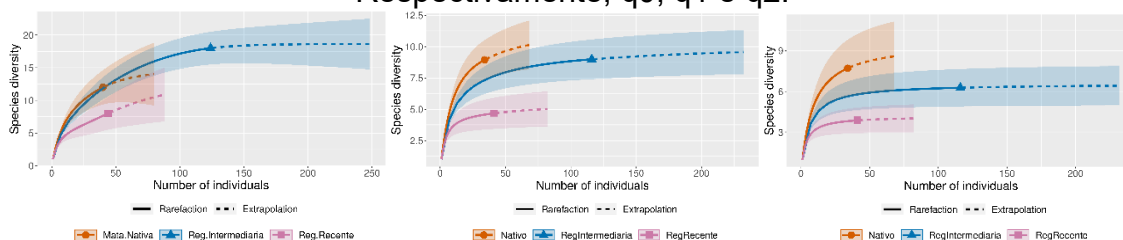
A composição de espécies foi avaliada por meio da Análise de Coordenadas Principais (PCoA), com medida de dissimilaridade de Bray-Curtis. Os agrupamentos formados tiveram sua significância testada com PERMANOVA e 999 aleatorizações, com a mesma medida de dissimilaridade. Todas as análises foram realizadas através dos programas estatísticos iNEXT *online* (Chao et al. 2016) e R (R Development Core Team 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registrados 211 indivíduos pertencentes a três subfamílias – Biblidinae (23), Charaxinae (43) e Satyrinae (145) – e um total de 22 espécies. A área de regeneração intermediária foi a mais rica e abundante - 18 espécies e 127 indivíduos. Os fragmentos de mata nativa apresentaram menor abundância (40) e a segunda maior riqueza (12). Por fim, a área de regeneração recente registrou 44 indivíduos e a menor riqueza (8) dos três ambientes. A análise de cobertura amostral (SC) indicou uma grande representatividade das assembleias amostradas, com mais de 90% da completude amostral nos três ambientes.

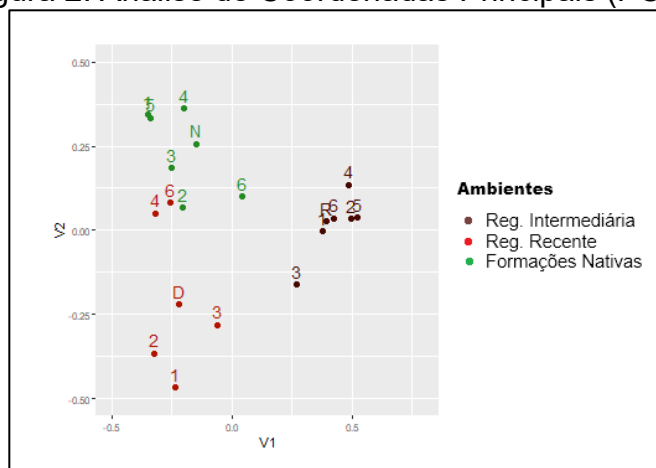
A curvas rarefeitas em q0 indicam que os três ambientes possuem a mesma riqueza de espécies dada a sobreposição dos intervalos de confiança (Figura 1). Entretanto, a diversidade para q1 e q2 apontam que a mata nativa e a regeneração intermediária são mais equitáveis e menos dominantes quando comparadas à regeneração recente. A sensibilidade desses índices à abundância de espécies raras e comuns é o fator de peso para essa diferença, já que ambientes muito degradados tendem a possuir poucas espécies generalistas com muitos indivíduos, indicando esta alta dominância nas assembleias de borboletas frugívoras.

Figura 1: Gráficos do perfil de diversidade pelos números de Hill.
Respectivamente, q0, q1 e q2.



A similaridade entre os dados coletados foi investigada por uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA), que gerou uma coordenada para cada campanha baseada na presença das espécies e suas abundância em cada ambiente. A PCoA indica que as assembleias de borboletas frugívoras formadas nos ambientes com regeneração recente e intermediária possuem composições semelhantes (PERMANOVA $p = 0,068$), e que as matas nativas possuem baixa similaridade com ambientes de regeneração recente ($p = 0,027$) e regeneração intermediária ($p = 0,036$).

Figura 2: Análise de Coordenadas Principais (PCoA)



As análises acabaram revelando duas comunidades distintas. O ambiente degradado mostrou-se pobre do ponto de vista ecológico, em ambos estágios de regeneração avaliados. Isso reforça que, sem intervenção direta, áreas severamente degradadas – inseridas em mosaicos antropogênicos – podem ser dominadas por espécies exóticas pioneiras e nunca atingir a composição de espécies de um ecossistema nativo (CASAS-PINILLA et al. 2022). As formações nativas possuem alta diversidade e uma composição de espécies de borboletas frugívoras distinta dos ambientes degradados, sendo constituída por espécies associadas ao interior de matas bem estruturadas.

4. CONCLUSÃO

O resultado central do estudo é que o processo de regeneração desses ambientes não segue uma trajetória linear em direção à comunidade das formações nativas. Na realidade, formam um ecossistema novo e funcionalmente distinto. O estudo evidencia, portanto, que a combinação de análises de diversidade alfa e beta é essencial para diagnosticar o estado de recuperação dessas zonas degradadas, e subsidia tomadores de decisão para a criação de projetos de conservação e políticas públicas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUDVIG, L.A., et al. Interpreting variation to advance predictive restoration science. 2017, *Journal of Applied Ecology*, v.54, p.1018-1027
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12938>

CARDINALE, B., DUFFY, J., GONZALEZ, A. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. 2012, *Nature*, v. 486, p. 59–67. Disponível em:
<https://doi.org/10.1038/nature11148>

CASAS-PINILLA, L.C., et al. Different-aged Pinus afforestation does not support typical Atlantic Forest fruit-feeding butterfly assemblages. 2022. *Forest Ecology and Management*, v. 518, p. 120279..

CHAO, A., et al. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. 2014, *Ecological Monographs*, v.84, p.45-67.

CHAO, A.; MA, K.H.; HSIEH, T.C. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. 2016. Disponível em: http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/.

CHOWDHURY S., et al.. Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. 2023 *Frontiers of Environmental Science*. v. 11 Disponível em: doi: 10.3389/fenvs.2023.1146052

LEGAL L., et al. Lepidoptera are Relevant Bioindicators of Passive Regeneration in Tropical Dry Forests. 2020 *Diversity*. v. 12, n. 6, p.231, Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d12060231>

PINTO N.G.M.; CORONEL, D. A., A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas, 2013, Observatorio de la Economía Latinoamericana, Servicios Académicos Intercontinentales SL. v. 188

R core team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org>.