



ALYCE PAIVA ALEXANDRE

**PREDITORES DE PAISAGEM DA HERBIVORIA EM CULTIVOS DE
SUBSISTÊNCIA DA CAATINGA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

João Pessoa

2025

ALYCE PAIVA ALEXANDRE

**PREDITORES DE PAISAGEM DA HERBIVORIA EM CULTIVOS DE
SUBSISTÊNCIA DA CAATINGA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Ciências Biológicas da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Almeida Santos

Co Orientadora: Ma. Ivânia Clea Santos de
França Silva

João Pessoa

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A381p Alexandre, Alyce Paiva.

Preditores de paisagem da herbivoria em cultivos de
subsistência da caatinga / Alyce Paiva Alexandre. -
João Pessoa, 2025.
38 p. : il.

Orientação: Bráulio Almeida Santos.

Coorientação: Ivânia Clea Santos de França Silva.

TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) -
UFPB/CCEN.

1. Caatinga. 2. Agricultura familiar. 3.
Agroecologia. 4. Agroecossistemas. 5. Preditores de
paisagem. I. Santos, Bráulio Almeida. II. Silva, Ivânia
Clea Santos de França. III. Título.

UFPB/CCEN

CDU 57(043.2)

ALYCE PAIVA ALEXANDRE

**PREDITORES DE PAISAGEM DA HERBIVORIA EM CULTIVOS DE
SUBSISTÊNCIA DA CAATINGA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

Data: 02 de Setembro de 2025

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA:

Bráulio Almeida Santos, Prof. Dr., UFPB

Rafaella Santana Santos, Dra, UFPB

Amanda Dias Costa, Dra, UFPB

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Secretaria de Agricultura de Cordeiros, à UFPB, ao CNPq e principalmente ao Nexus caatinga por todo apoio financeiro e logístico que permitiu que essa pesquisa fosse realizada.

À todos os agricultores locais e suas famílias por permitirem que esse estudo fosse realizado em suas propriedades e também por toda troca e receptividade sem tamanho, em especial à Jane, Francisco, Dona Inês e toda família, que para nós abriram as portas das suas casas e dos seus corações.

À minha equipe de campo, André, João, Luquinhas, Amanda, Gibran, Ivânia, Eduarda e Thiago, por toda ajuda, todas noites mal dormidas compartilhadas, todos os cafês da manhã musicais, toda companhia e todas as risadas. Esses campos vão ter sempre um lugarzinho muito especial no meu coração e isso é tudo graças a vocês.

À Bráulio, que sempre viu muito mais potencial em mim do que eu mesmo, e que mais do que meu orientador é meu amigo.

À Rafa por todos os dias ruins que se tornaram menos ruins quando foram compartilhados com podcasts duvidosos e chocolates 70%.

À vovó e a vovô que sempre fizeram o melhor que dava, principalmente pela minha educação.

À mim, que não perdi a guerra contra os terrores da mente.

À Raquel, que sempre tá comigo, em todos os detalhes e curvas que eu viro, mesmo quando não tá.

À Júhlia, que é sempre tão gentil com meus sentimentos mais crus possíveis e que me dá confiança pra ser sempre mais eu.

À Fernando, Mateus e Aquiles por todo carinho e apoio.

À Dora, Nev, Leila, Rhu e Clarice por todo carinho, acolhimento, e toda companhia no RU.

À Igor por ter me dado lares físicos e emocionais. E por toda ajuda na escrita deste trabalho.

À Pipa, que é uma parte inerente e linda de mim.

Obrigado por me amarem, eu os amo infinitamente e não seria nada sem o amor de vocês.

“Fomos nos alienando desse organismo de que somos parte, a Terra, e passamos a pensar que ele é uma coisa e nós, outra: a Terra e a humanidade. Eu não percebo onde tem alguma coisa que não seja natureza. Tudo é natureza. O cosmos é natureza. Tudo que eu consigo pensar é natureza”.

Ailton Krenak

RESUMO

A agricultura exerce papel fundamental na segurança alimentar, mas sua expansão em ecossistemas naturais acarreta perdas de biodiversidade e alteração de processos ecológicos, afetando diretamente a produtividade. Em regiões tropicais e semiáridas, como a Caatinga, essas transformações têm implicações relevantes, pois a fragilidade ambiental, marcada pela escassez hídrica e pela pressão antrópica, impõe desafios à manutenção de cultivos de subsistência. Nesse contexto, compreender de que forma atributos da paisagem, como a proporção de áreas conservadas, o grau de fragmentação e a diversidade de usos do solo, influenciam as interações entre plantas e herbívoros é essencial para orientar práticas agrícolas mais sustentáveis. Este estudo investigou a herbivoria em cultivos de milho e feijão no Cariri Paraibano, relacionando a frequência e a magnitude dos danos foliares e reprodutivos com preditores de paisagem a fim de relacionar esses dados com os preditores da paisagem local. Foram avaliadas 17 propriedades, onde se registraram danos em folhas e frutos de ambos os cultivos. Observou-se que a densidade de fragmentos florestais foi o preditor mais consistente, associando-se ao aumento da frequência de herbivoria, enquanto a cobertura florestal e o impacto humano na matriz apresentaram efeitos variáveis entre folhas e frutos, ora positivos, ora negativos. No milho, a fragmentação esteve ligada a maior frequência de danos foliares, e as espigas responderam a múltiplos fatores de paisagem, incluindo a cobertura florestal e a antropização. No feijão, áreas mais conservadas favoreceram danos nas folhas, mas reduziram a incidência de artrópodes nas vagens, sugerindo que a vegetação nativa exerce papel ambivalente ao fornecer tanto refúgio para herbívoros quanto suporte para inimigos naturais. Apesar dessas variações, a magnitude média da herbivoria foi baixa (cerca de 2%), não comprometendo a produtividade das lavouras familiares. Assim, a herbivoria pode ser compreendida como um componente natural dos agroecossistemas, cujo impacto é limitado em cultivos de pequena escala e pode ser manejado a partir de estratégias que integrem conservação e práticas agrícolas tradicionais. Os resultados evidenciam que os preditores de paisagem, especialmente a fragmentação, são determinantes na modulação das interações ecológicas na Caatinga. Dessa forma, a manutenção e a restauração de áreas nativas ao redor dos cultivos representam estratégias importantes para conciliar produção agrícola e conservação ambiental em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Herbivoria; Caatinga; agricultura familiar; agroecossistemas; preditores de paisagem.

ABSTRACT

Agriculture plays a fundamental role in food security, but its expansion into natural ecosystems entails biodiversity losses and changes in ecological processes, directly affecting productivity. In tropical and semiarid regions, such as the Caatinga, these transformations have relevant implications, since environmental fragility, marked by water scarcity and human pressure, imposes challenges to the maintenance of subsistence crops. In this context, understanding how landscape attributes, such as the proportion of conserved areas, the degree of fragmentation, and the diversity of land uses, influence interactions between plants and herbivores is essential to guide more sustainable agricultural practices. This study investigated herbivory in maize and bean crops in the Cariri region of Paraíba, relating the frequency and magnitude of foliar and reproductive damage with landscape predictors in order to relate these data with the predictors of the local landscape. Seventeen properties were evaluated, where damages were recorded on leaves and fruits of both crops. It was observed that the density of forest fragments was the most consistent predictor, being associated with the increase in herbivory frequency, while forest cover and human impact on the matrix showed variable effects between leaves and fruits, sometimes positive, sometimes negative. In maize, fragmentation was linked to a higher frequency of foliar damage, and the ears responded to multiple landscape factors, including forest cover and anthropization. In beans, more conserved areas favored damage on leaves but reduced the incidence of arthropods in pods, suggesting that native vegetation plays an ambivalent role by providing both refuge for herbivores and support for natural enemies. Despite these variations, the average magnitude of herbivory was low (around 2%), not compromising the productivity of family farms. Thus, herbivory can be understood as a natural component of agroecosystems, whose impact is limited in small-scale crops and can be managed through strategies that integrate conservation and traditional agricultural practices. The results show that landscape predictors, especially fragmentation, are determining factors in the modulation of ecological interactions in the Caatinga. Therefore, the maintenance and restoration of native areas around crops represent important strategies to reconcile agricultural production and environmental conservation in semiarid regions.

Keywords: herbivory; Caatinga; family farming; agroecosystems; landscape predictors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	16
Figura 2.....	17
Figura 3.....	18
Figura 4.....	19
Figura 5.....	25
Figura 6.....	27
Figura 7.....	29
Figura 8.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Agricultura e perda de biodiversidade	11
2.2 Agricultura, serviços ecossistêmicos e paisagem	11
2.3 Controle biológico e estrutura da paisagem	12
2.4 Contexto do Semiárido e do Cariri Paraibano	13
3 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo geral	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1 <i>Área de Estudo</i>	16
4.2 <i>Cultivos e Sistemas de Plantio</i>	16
4.3 <i>Coleta de Dados</i>	16
4.4 <i>Avaliação de Danos</i>	17
4.5 <i>Métricas de Paisagem</i>	18
4.6 <i>Análises Estatísticas</i>	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 <i>Herbivoria nas folhas do milho</i>	23
5.3 <i>Herbivoria nas folhas de feijão</i>	28
6 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas têm sido apontada como uma das principais causas da perda de biodiversidade em escala global, o que resulta na degradação ambiental associada a processos como erosão do solo, alteração nos ciclos biogeoquímicos e uso intensivo de recursos hídricos (FAO *et al.*, 2020; FAO, 2021). Embora a agricultura seja essencial para garantir a segurança alimentar da população mundial, seus métodos convencionais de produção, centrados em monoculturas e na elevada dependência de insumos externos, comprometem tanto a integridade ecológica quanto a resiliência socioeconômica das comunidades rurais. Nesse contexto, a busca por modelos produtivos que conciliem conservação ambiental e produção agrícola tem se consolidado como uma agenda prioritária para o desenvolvimento sustentável.

Diversos estudos têm evidenciado que a manutenção de paisagens agrícolas mais heterogêneas contribui para a provisão de serviços ecossistêmicos fundamentais, como a regulação climática, a ciclagem de nutrientes e o controle biológico de pragas, além de favorecer a conservação da biodiversidade (Tavares *et al.*, 2019; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021). A estrutura e a composição da paisagem, que envolvem tanto a quantidade de vegetação nativa quanto a sua configuração espacial, desempenham papel determinante na dinâmica ecológica dos agroecossistemas. Fragmentos florestais contínuos e elementos arbóreos dispersos funcionam como refúgio e fonte de recursos para polinizadores, dispersores e inimigos naturais de pragas, o que pode reduzir a pressão de herbívoros sobre as culturas e aumentar a estabilidade produtiva (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020).

Em regiões tropicais e semiáridas, como a Caatinga, esse debate ganha relevância adicional. A fragilidade ambiental, marcada pela escassez hídrica, solos rasos e elevada pressão antrópica, impõe limitações significativas ao manejo agrícola (Araújo *et al.*, 2020). O Cariri Paraibano, por exemplo, tem histórico de intensas transformações na cobertura vegetal, desde a produção algodoeira nos séculos passados até a substituição de áreas nativas por mosaicos agrícolas e pastagens (Beltrão, 2003; Bueno e Costa, 2004; Araujo *et al.*, 2021). Hoje, a região apresenta baixa densidade populacional, baixos índices de desenvolvimento humano e alta vulnerabilidade ambiental, fatores que reforçam a necessidade de estratégias de manejo adaptadas à realidade socioeconômica local (IBGE, 2020; PNUD, 2013; Silva *et al.*, 2025).

Nesse cenário, compreender a relação entre vegetação nativa e processos ecológicos associados à agricultura é fundamental. Entre os serviços ecossistêmicos que mais

diretamente influenciam a produtividade, destaca-se o controle natural de insetos fitófagos, cuja ação pode comprometer significativamente o rendimento das culturas. Paisagens mais complexas tendem a favorecer comunidades de inimigos naturais, ampliando o equilíbrio entre herbívoros e predadores, o que reduz a necessidade de intervenções químicas (Araújo *et al.*, 2022; Zamberletti *et al.*, 2021). Entretanto, esse efeito depende da escala espacial, da configuração da paisagem e das características funcionais das espécies envolvidas, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos específicos em contextos regionais. Do ponto de vista da produção agrícola, a herbivoria causada por insetos fitófagos em plantas cultivadas pode ser entendida como um desserviço ecossistêmico, o que exige uma análise integrada sobre os possíveis preditores locais e de paisagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agricultura e perda de biodiversidade

A conversão de terras para a agricultura é um dos principais motores da perda de biodiversidade e da degradação ambiental, exigindo estratégias eficientes de uso e gestão para equilibrar a produção de alimentos com a conservação dos recursos naturais (FAO *et al.*, 2020). Segundo dados mais recentes, a área agrícola global ocupa cerca de cinco bilhões de hectares, representando 38% da superfície terrestre, sendo um terço destinado ao cultivo e o restante utilizado como pastagens para a pecuária (FAO, 2021). No entanto, os métodos predominantes de produção agrícola têm gerado impactos ambientais negativos, como a degradação do solo, o uso excessivo de água e alterações nos fluxos biogeoquímicos, comprometendo a integridade dos ecossistemas e os serviços ambientais dos quais todas as formas de vida dependem. Em alguns países, a alta ingestão de alimentos de origem animal intensifica esses impactos, tornando necessária uma transição para dietas mais equilibradas, com maior presença de alimentos vegetais, para mitigar os efeitos ambientais da produção agropecuária (FAO *et al.*, 2020).

Para enfrentar esses desafios, torna-se imprescindível a formulação e implementação de políticas agrícolas que incentivem práticas sustentáveis, incluindo a diversificação produtiva em substituição às monoculturas, por meio da adoção de sistemas integrados, como agroflorestas, rotação de culturas e pousio da terra. Essas abordagens reduzem custos de produção, aumentam a renda e a resiliência dos agricultores, ajudam na manutenção da biodiversidade e promovem uma alimentação mais diversificada. O reconhecimento da importância desses sistemas sustentáveis levou à inclusão de objetivos nutricionais nas políticas agrícolas e alimentares no âmbito da Década de Ação das Nações Unidas sobre Nutrição (2016–2025), reforçando a necessidade de garantir o acesso universal a dietas saudáveis e sustentáveis (FAO *et al.*, 2020; Grilli *et al.*, 2024).

A conversão de florestas tropicais em áreas agrícolas provoca alterações significativas nas características químicas e físicas do solo, resultando no empobrecimento dos solos, reduzindo seu potencial produtivo (Gregorich e Carter, 1997) e comprometendo a oferta de serviços ecossistêmicos quando comparados a solos conservados (Amundson *et al.*, 2003), além disso, a transformação total do ecossistema original em monoculturas restringe o habitat de espécies nativas, impactando negativamente a biodiversidade e os serviços ambientais fornecidos por esses organismos (Fahrig, 2003; Hanski, 2011; Isbell *et al.*, 2015).

2.2 Agricultura, serviços ecossistêmicos e paisagem

De acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio, os serviços ambientais se dividem em serviços de provisão, reguladores, culturais e de suporte, abrangendo desde a oferta de alimentos e água até a regulação climática e o ciclo de nutrientes. Nesse contexto, o desenvolvimento de paisagens agrícolas sustentáveis busca reduzir os impactos ambientais negativos da agricultura tradicional e promover sinergias com a conservação da natureza, considerando o ecossistema circundante nos sistemas produtivos de modo a preservar e potencializar esses serviços (Brasil, 2019; Sousa *et al.*, 2019; Araujo *et al.*, 2021).

Diante disso, abordagens sustentáveis na agricultura têm enfatizado a importância de considerar a paisagem em que os cultivos estão inseridos. O reconhecimento de que a paisagem ao redor das áreas agrícolas influencia diretamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos têm levado ao desenvolvimento de modelos agrícolas que vão além dos limites da lavoura. Em especial, em regiões tropicais e semiáridas, onde os ecossistemas naturais estão altamente fragmentados, estudos demonstram que manter entre 40% e 60% de cobertura vegetal nativa na paisagem é essencial não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a estabilidade e produtividade agrícola (Araújo *et al.*, 2021). Isso ocorre porque paisagens mais florestadas favorecem a permanência de espécies polinizadoras, dispersoras de sementes e controladoras de pragas, ao mesmo tempo em que regulam o microclima, protegem o solo da erosão e otimizam o uso da água (Tavares *et al.*, 2019; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021).

A manutenção da quantidade adequada de cobertura florestal deve vir acompanhada de uma configuração espacial equilibrada da paisagem. Estudos indicam que cerca de 10% da paisagem deve ser mantida em grandes fragmentos contínuos e os demais 30% distribuídos em pequenos fragmentos dispersos e elementos arborizados semi-naturais, como cercas vivas e corredores ripários (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020). Essa distribuição heterogênea aumenta a conectividade ecológica e a diversidade beta, favorecendo a persistência de espécies tanto generalistas quanto especialistas. Em regiões como a Caatinga, onde os solos são frágeis e a pressão por produção é elevada, é importante adaptar a lógica produtiva à ecologia da paisagem, estabelecendo mosaicos agrícolas sustentáveis que conciliem conservação e produção (Landis, 2017; Araújo *et al.*, 2021).

2.3 Controle biológico e estrutura da paisagem

A adoção de modelos agrícolas que considerem a configuração e a composição da paisagem é particularmente relevante em regiões semiáridas, onde a fragilidade ambiental e a pressão por produção impõem desafios adicionais, tornando indispensável o fortalecimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade. A integração entre conservação ambiental e

segurança alimentar exige práticas agrícolas adaptadas e o suporte institucional necessário para sua implementação em larga escala, incluindo a manutenção de elevados níveis de cobertura vegetal, a diversificação dos sistemas produtivos e a valorização de mosaicos agrícolas heterogêneos, estratégias que, quando apoiadas por políticas públicas bem estruturadas, aumentam a resiliência frente às variações climáticas e reduzem a dependência de insumos externos.

A consolidação de paisagens agrícolas sustentáveis deve ser entendida como um objetivo coletivo, envolvendo agricultores, comunidades, pesquisadores e gestores públicos (Ram *et al.*, 2012; Araújo *et al.*, 2020; Sharafatmandrad & Khosravi, 2025). Para isso, torna-se necessário um sistema de governança que coordene esforços de conservação e produção em escalas regionais, incentivando o manejo integrado de recursos hídricos e o enfrentamento da degradação do solo, prevenindo a desertificação e favorecendo interações equilibradas entre segurança hídrica, energética e alimentar, essenciais ao desenvolvimento sustentável em contextos semiáridos (Araújo *et al.*, 2020).

A estrutura e a composição da paisagem desempenham papel essencial também no controle biológico de pragas, considerado um dos serviços mais relevantes para a manutenção da produtividade agrícola. A presença de cobertura vegetal nativa ao redor das áreas cultivadas favorece populações de inimigos naturais, como predadores e parasitóides, que atuam na supressão de insetos fitófagos, reduzindo a abundância de pragas e os danos causados às culturas. Paisagens com maior complexidade estrutural tendem a promover ambientes mais equilibrados ecologicamente, ampliando a diversidade funcional e, em muitos casos, diminuindo a necessidade de aplicação de pesticidas. Esse efeito está relacionado à oferta de refúgio, alimento alternativo e rotas de movimentação para os predadores naturais, contribuindo para o controle de pragas mesmo sem intervenções químicas. No entanto, esse benefício não é necessariamente linear, podendo variar de acordo com os traços funcionais das espécies envolvidas, a cultura explorada e o arranjo espacial da paisagem. Dessa forma, compreender como a cobertura e a configuração da vegetação nativa influenciam essas interações ecológicas é fundamental para o manejo integrado de pragas e para o desenvolvimento de agroecossistemas mais resilientes, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro (Araújo *et al.*, 2022; Zamberletti *et al.*, 2021).

2.4 Contexto do Semiárido e do Cariri Paraibano

No Cariri Paraibano, a sub-região mais seca da Caatinga, com clima BSh e chuvas concentradas entre fevereiro e abril (Alvares *et al.*, 2013; Araujo *et al.*, 2021), a paisagem foi

transformada ao longo dos séculos: coberta originalmente por matas e afloramentos rochosos até o século XVIII, passou por intensa produção de algodão até a década de 1950, quando pragas e a competição com a fibra sintética reduziram a atividade, dando lugar a vegetação arbustiva frequentemente confundida com ecossistemas naturais (Beltrão, 2003; Bueno e Costa, 2004; Araujo *et al.*, 2021; Silva *et al.* 2025). Com 11.236 km², 29 municípios e cerca de 196 mil habitantes, a região apresenta baixa densidade populacional (17,29 hab/km²) e IDH entre 0,55 e 0,64, reforçando a necessidade de estratégias sustentáveis para garantir sua resiliência socioambiental (IBGE, 2020; PNUD, 2013; Silva *et al.*, 2025).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar como a estrutura da paisagem das paisagens agrícolas afeta a herbivoria em cultivos de feijão e milho no Cariri Paraibano, tanto em tecidos vegetativos quanto reprodutivos.

3.2 Objetivos específicos

1. Quantificar o dano biótico causado por insetos fitófagos nas folhas de milho e feijão cultivados em pequena escala com mão-de-obra familiar e relacioná-lo às métricas da paisagem circundante;
2. Quantificar o dano biótico nas espigas de milho e vagens de feijão das áreas cultivadas e relacioná-lo às métricas da paisagem circundante.
3. Identificar os agentes responsáveis pelos danos bióticos observados nas frutificações de milho e feijão, distinguindo entre insetos, aves e patógenos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado em 17 sítios distribuídos nos municípios de São José dos Cordeiros, São João do Cariri e Cabaceiras. A região, caracterizada por um clima semiárido, possui uma área de 11.236 km² e compreende 29 municípios, com população aproximada de 196 mil habitantes e densidade populacional média de 17,29 hab/km² (IBGE, 2020). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da área varia entre 0,55 e 0,64 (PNUD, 2013).

4.2 Cultivos e Sistemas de Plantio

Os cultivos estudados, milho e feijão, são plantados em regime de sequeiro com mão-de-obra familiar, geralmente em parcelas de um ou dois hectares (Silva *et al.*, 2025). Esses plantios ocorrem com as primeiras chuvas do ano, que costumam chegar entre janeiro e março e duram até junho, embora de forma irregular. O consórcio entre milho e feijão é uma prática comum na região.



Figura 1. Uma das áreas de estudo no Cariri Paraibano, onde foram coletados os dados. É possível observar o cultivo de milho em consórcio com feijão e, ao fundo, a vegetação nativa da região.

4.3 Coleta de Dados

As coletas foram realizadas no período chuvoso no ano de 2022, entre os meses de março a julho. Em cada sítio, 30 plantas de cada cultivo (milho e feijão) foram amostradas. A seleção das plantas (de milho e feijão) foi realizada por amostragem aleatória em planilha eletrônica (Microsoft Excel® 365). Cada cultivo foi estruturado como um gride bidimensional no qual as linhas foram representadas por letras e as colunas enumeradas sequencialmente.

Para definição das unidades amostrais, foram geradas aleatoriamente combinações de uma letra e um número. Cada planta de milho sorteada teve 3 folhas amostradas (a primeira, a quinta e a décima), nas quais foram estimados os danos causados por insetos fitófagos. No caso do feijão, que possui hábito trepador sobre as plantas de milho, foram amostrados os 3 folíolos centrais das plantas sorteadas. De modo suplementar, a presença de danos por patógenos, aves ou herbívoros nas estruturas reprodutivas (espigas e vagens) foi avaliada em cada planta amostrada. As diferenças entre os tipos de dano foram identificadas por meio de observação visual direta das estruturas vegetais afetadas. A distinção baseou-se nas características morfológicas apresentadas em cada tipo de dano, como formato, coloração, textura e padrão de mordedura ou perfuração, permitindo reconhecer se o agente causador estava associado a insetos, aves ou patógenos.



Figura 2. Pesquisadores realizando a análise das estruturas danificadas nas plantas de milho, durante a coleta de dados nas áreas de cultivo no Cariri Paraibano.

4.4 Avaliação de Danos

A avaliação foliar foi realizada utilizando uma régua para medir a largura na parte mais larga de cada folha. Para estimar a área foliar total, foram utilizadas equações alométricas específicas:

- Milho: $\text{área} = 89,686 \times \text{Largura} - 56,464$ ($R^2 = 0,85$ $R^2 = 0,85$)
- Feijão: $\text{área} = 15,555 \times \text{Comprimento} - 81,412$

A área danificada foi calculada assumindo formato quadrado ou retangular e expressa em cm^2 . A frequência de danos foliares foi determinada categorizando as folhas como intactas (menos de 1 cm^2 de dano) ou danificadas. Para calcular a magnitude da herbivoria, a área foliar danificada foi dividida pela área foliar total, sendo os resultados expressos em porcentagem.

Para avaliar os danos nas espigas (milho) e vagens (feijão), foram amostrados aleatoriamente 30 frutos por sítio. Os frutos foram classificados como intactos (sem sinais de herbivoria) ou danificados (com sinais de danos por invertebrados, vertebrados ou patógenos). A magnitude dos danos não foi estimada devido à impossibilidade de métodos destrutivos, sendo calculada apenas a frequência de danos.



Figura 3. Medição da magnitude do dano em folha de milho utilizando régua milimetrada, durante as coletas realizadas nas áreas de cultivo no Cariri Paraibano.

4.5 Métricas de Paisagem

Para medir as variáveis da paisagem, utilizamos imagens de drones capturadas pela equipe, categorizando o uso da terra em sete classes:

1. **Forest (Floresta):** áreas predominantemente cobertas por árvores altas (5-14 m);
2. **Woodland (Mata):** áreas com mistura de árvores (2-5 m) e arbustos;
3. **Shrubland (Arbustos):** áreas compostas por arbustos e solo descoberto;
4. **Cropland (Cultivo):** áreas de produção agrícola;
5. **Pasture (Pasto):** áreas para pastagem de animais;
6. **Bare Soil (Solo Exposto):** áreas de solo descoberto;
7. **Water body (corpo d'água):** Açudes, e corpos d'água em geral

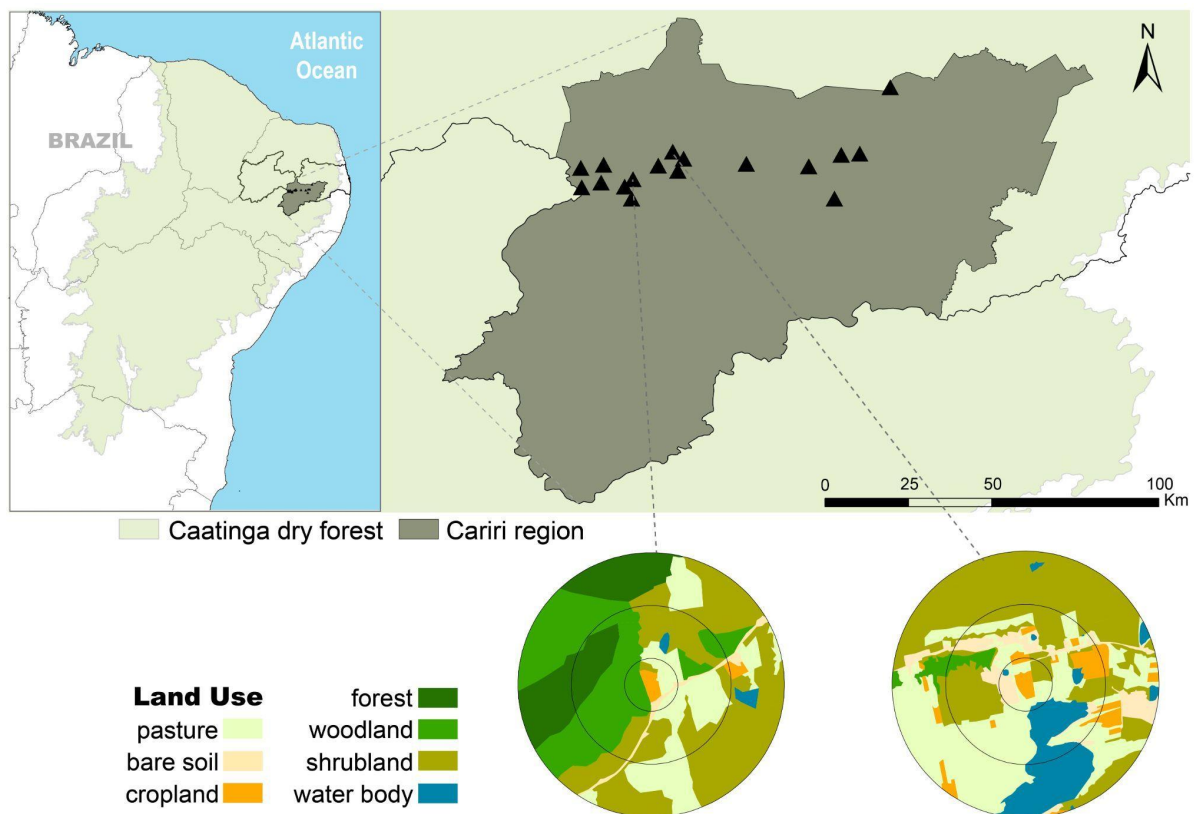


Figura 4. Localização da área de estudo no Cariri Paraibano, a sub-região mais seca da Caatinga e do Brasil. Os triângulos pretos indicam as 17 propriedades rurais amostradas, enquanto os círculos em detalhe destacam as paisagens ao redor do cultivo focal (em laranja no centro). As linhas pretas concêntricas representam raios de 100 m, 300 m e 500 m a partir do centroide do cultivo focal. O círculo à esquerda mostra uma paisagem mais conservada, com maior proporção de Caatinga arbórea e floresta de Caatinga, enquanto o círculo à direita representa uma paisagem mais degradada, com menor cobertura vegetal natural.

As áreas de cultivo foram mapeadas em campo e classificadas no QGIS, a partir das sete classes de uso e cobertura da terra descritas anteriormente. A proporção de cada tipo de uso foi calculada em três escalas (100 m, 300 m e 500 m) com o objetivo de identificar em qual delas a herbivoria responde mais fortemente às variações na estrutura da paisagem

(Fahrig, 2013). Em seguida, foram estimadas as principais métricas de paisagem utilizadas nas análises: PLAND (proportion of landscape), que indica a proporção de cobertura vegetal (representadas por forest e woodland) dentro de cada raio; PD (patch density), que expressa a densidade de fragmentos florestais e, portanto, o grau de fragmentação da paisagem; e SHDI (Shannon Diversity Index), que reflete a heterogeneidade e o nível de impacto humano na matriz, considerando a diversidade de classes de uso do solo. A partir dessas métricas, foi possível comparar a influência da composição e da configuração da paisagem sobre os níveis de herbivoria observados.

4.6 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no programa R 4.5.1 através da interface de desenvolvimento R-Studio, empregando diversos pacotes específicos. Para avaliar se PLAND, a PD e o SHDI ao redor dos cultivos influenciaram os níveis de herbivoria, foi identificada inicialmente a escala espacial em que cada descritor da paisagem exerceu maior efeito sobre as variáveis de resposta através de modelo lineares generalizados univariados com posterior comparação entre seus valores de AIC. Foram ajustados modelos lineares generalizados com distribuição binomial para os dados de frequência, utilizando a planta como variável aleatória (para folhas). A seleção de modelos foi feita por AIC e os modelos médios foram escolhidos utilizando $AIC \Delta < 2$. Para as análises de espiga e vagem, não há variável aleatória, portanto o modelo foi simples. Para os dados de magnitude da herbivoria, os modelos foram construídos com distribuição beta e Tweedie, e um AIC foi feito entre eles, sendo tweedie o mais ajustado para a análise. A diagnose dos pressupostos de todos os modelos foi realizada com o pacote Dharma. Entre os pacotes do Rstudio utilizados estão: tidyverse, car, MuMin, Dharma, betareg, ggpubr, gridExtra, lme4, lmerTest, reshape2 e glmmTMB.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram analisadas 1512 folhas de milho, das quais 868 (57%) apresentaram algum tipo de dano por herbívoro. Para o feijão, avaliou-se 1260 folíolos, sendo 557 danificadas (44%). Em relação à magnitude do dano, como houve plantas sem qualquer registro de herbivoria, o valor mínimo observado foi de 0% em ambos os cultivos. Nas folhas de milho, a magnitude média foi de 1,63%, com valor máximo de 48,56%. Já nas folhas de feijão, a média de dano foi de 2,51%, podendo atingir até 95%. Quanto aos frutos, foram avaliadas 474 espigas de milho, das quais 174 apresentaram algum tipo de dano, representando 37% do total. Para o feijão, analisaram-se 420 vagens, sendo 130 danificadas (31%).

O efeito das variáveis preditoras sobre os níveis de herbivoria foi diverso, dependendo da cultura e do tecido vegetal avaliado. A densidade de fragmentos florestais (PD) se destacou por apresentar relações positivas com a herbivoria em ambas as culturas, enquanto as demais variáveis (PLAND e SHDI) responderam de forma variável, ora positiva, ora negativa. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir das análises realizadas, com as respostas de cada variável de paisagem com as escalas espaciais que obtiveram o melhor AIC.

Tabela 1. Modelos mais plausíveis ($\Delta AIC_c < 2$) e modelos médios aplicados às funções ecológicas avaliadas em 17 pequenos cultivos de milho e feijão, do cariri paraibano, considerando a frequência de herbivoria e a magnitude do dano nas folhas, bem como a frequência de dano nas frutificações (milho e vagem), em função de três descritores da paisagem: PLAND, PD e SHDI. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; $p < 0,1$; sem símbolo, $p \geq 0,1$.

Modelo	#	Intercepto	PLAND	PD	SHDI	gl	AIC	ΔAIC	Peso	R ²
Frequência de dano nas folhas de milho										0,019
	6	0,3034		0,1761	-0,1534	4	2048.2	0	0,657	
	8	0,3037	0,0304	0,1725	-0,1468	5	2049.9	1,7	0,281	
Modelo médio		0,3035	0,175	0,0304**	-0,1514**					
Frequência de dano nas folhas de feijão										0,123
	8	-0,1911	0,340	0,5028	0,1349	5	1621.8	0	0,689	
	4	-0,196	0,3202	0,5750		4	1623.4	1,59	0,311	
Modelo médio		-0,1926	0,3338***	0,5252	929					
Magnitude do dano nas folhas										
Milho	8	-8,306	-0,1585*	-0,2544	-0,3160***	7	-5033,4	0	0,858	0,155
Feijão	2	-2,908		-0,0968		5	-2111,8	0	0,223	0,107
	5	-2,906			-0,0898	5	-2111,5	0,27	0,195	

	1	-2,905			4	-2111	0,78	0,151	
	3	-2,908		-0,0738	5	-2110,5	1,35	0,114	
	6	-2,908	-0,0663		-0,0545	6	-2110,4	1,38	0,112
	7	-2,097		-0,0403	0,0545	6	-2109,9	1,94	0,084
Modelo médio		-2,9069	-0,0595	-0,0866	-0,0764				
Frequência de dano nas frutificações									
		Intercepto	Pland	PD	SHDI		R²		
Espiga	dano total	-0,6308	0,2970**	0,5941***	0,6221***		0,123		
	aves	-6,1581	0,7906	0,7345	1,9501*		0,079		
	patógenos	-0,9710	-0,2223*	0,6372***	0,6370***		0,122		
	artrópodes	-1,7910	0,1905	0,3700**	0,2780		0,024		
Vagem	dano total	-8,2090	-0,2706*	0,1298	0,2504*		0,019		
	aves	-3,7124	0,4257	-0,3338	0,2475		0,013		
	patógenos	-2,9128	0,2313	-0,4743	0,0048		0,012		
	artrópodes	-1,1692	-0,3451*	0,038	0,1042		0,021		

Apesar da relação com a paisagem, o impacto prático do dano herbívoro não compromete a produtividade dos cultivos, já que a magnitude média do dano foi de aproximadamente 2%. Nesse contexto, é importante destacar que a transição para modelos de agricultura sustentável em pequenas propriedades familiares envolve investimentos iniciais em tecnologias e infraestrutura, mas oferece benefícios econômicos e sociais de longo prazo. Tem sido amplamente discutido como práticas como cultivo em áreas compactas integradas a ecossistemas conservados aumentam a produtividade e reduzem a dependência de agroquímicos, enquanto a diversificação de culturas, o plantio direto e a rotação de culturas ampliam a resiliência frente às mudanças climáticas e pressões econômicas (Silva *et al.*, 2025).

Embora barreiras econômicas iniciais, como custos de tecnologia e incertezas de rendimento, possam desestimular pequenos agricultores, o acesso a financiamento e incentivos públicos permite superar esses desafios, promovendo maior estabilidade econômica, geração de empregos e acesso a mercados de produtos sustentáveis (Watt e Dahl, 1992; Moret-Bailly e Muro, 2024). Assim, a agricultura em pequena escala e familiar se mostra não apenas eficiente diante do dano herbívoro observado, mas também uma estratégia para conciliar produção, conservação ambiental e resiliência socioeconômica em regiões semiáridas como a Caatinga.

5.1 Herbivoria nas folhas do milho

No milho, a frequência de dano foliar respondeu positivamente à PD (figura 5a), indicando que a presença de maior número de fragmentos na paisagem esteve associada a maiores níveis de herbivoria foliar. Por outro lado, o SHDI apresentou relação negativa (figura 5c), sugerindo que áreas mais antropizadas, caracterizadas por maior diversidade de usos do solo, estiveram associadas a uma menor frequência de danos nas folhas.

Esses resultados diferem parcialmente dos obtidos por Silva *et al.* (2025), que observaram no milho uma maior frequência de herbivoria foliar em paisagens com maior PLAND e em áreas mais antropizadas (SHDI), mas menor herbivoria em cenários de maior densidade de fragmentos (PD). A divergência entre os dois estudos pode estar relacionada à variabilidade natural das comunidades de herbívoros em anos distintos, muito comum em regiões tropicais hiperdiversas sujeitas a alta sazonalidade climática. Dados de besouros escarabeídeos coletados em anos distintos na mesma região de estudo também apoiam esta hipótese de alta imprevisibilidade temporal na composição das comunidades de artrópodes (Estupiñan-Mojica *et al.*, 2022; Reis, 2024). Ainda assim, ambos os trabalhos de herbivoria corroboram a hipótese de que a configuração da paisagem exerce influência sobre a ocorrência de herbivoria em cultivos de subsistência (Duarte *et al.*, 2018), reforçando a necessidade de considerar atributos locais e de paisagem na compreensão das interações ecológicas em agroecossistemas (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020).

A interpretação dos efeitos da fragmentação e da composição da paisagem sobre a herbivoria em milho e feijão deve considerar que esses fatores frequentemente produzem respostas contextuais e até contraditórias. Estudos recentes têm demonstrado que a fragmentação, independentemente da quantidade de habitat, pode gerar efeitos positivos sobre a diversidade e as interações ecológicas, ao favorecer conectividade funcional, complementaridade de habitats e maior estabilidade nas relações predador–presa (Fahrig, 2017). Nesse sentido, a métrica de densidade de fragmentos florestais (PD), que emergiu como o preditor mais consistente de herbivoria neste estudo, pode refletir justamente a intensificação de processos ecológicos em paisagens mais fragmentadas, facilitando tanto a movimentação de herbívoros quanto a manutenção de comunidades complexas de inimigos naturais. Assim, a fragmentação *per se* não deve ser interpretada apenas como um processo negativo, mas como um modulador das interações tróficas, capaz de gerar efeitos distintos conforme a escala analisada e o grupo de organismos considerado.

Além disso, a presença de vegetação nativa no entorno das lavouras não resulta, necessariamente, em benefícios diretos e uniformes para o controle biológico. Em escala global, Karp et al. (2018) mostraram que a abundância de inimigos naturais e o nível de dano por pragas responderam de forma altamente variável à composição da paisagem, sem revelar um padrão consistente de redução de herbivoria em áreas com maior proporção de habitats conservados. De forma semelhante, Grab et al. (2018) observaram que a simplificação das paisagens agrícolas reduziu a taxa de parasitismo e os rendimentos, mas que tais efeitos foram modulados pelas interações entre inimigos naturais nativos e introduzidos. Esses resultados ajudam a explicar a heterogeneidade nas respostas observadas para milho e feijão na Caatinga, reforçando que as interações entre fragmentação, conservação de habitats e herbivoria são dinâmicas, contextuais e dependentes de múltiplas escalas espaciais e temporais.

A magnitude do dano foliar em milho responde negativamente a todas as variáveis de paisagem (figura 5bde), implicando que quanto menor for a proporção de floresta adjacente ao cultivo, menor será o dano foliar; o mesmo foi observado para a fragmentação e também para o impacto humano na matriz. Isso também pode ser explicado pela relação entre herbívoros e a floresta adjacente como apontado por Silva *et al.* (2025), mas não compreende toda a variação desses dados ($R^2 = 0,155$).

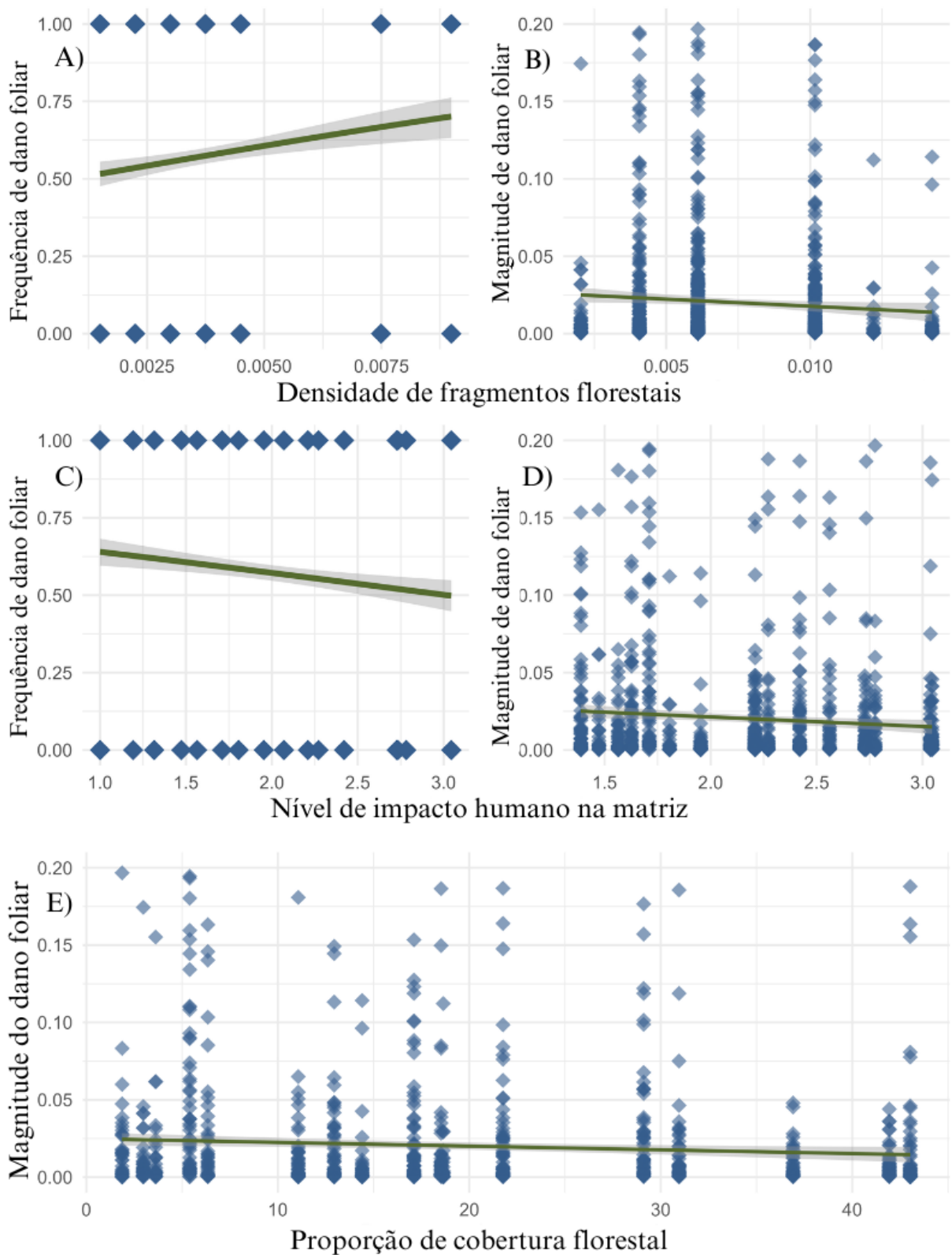


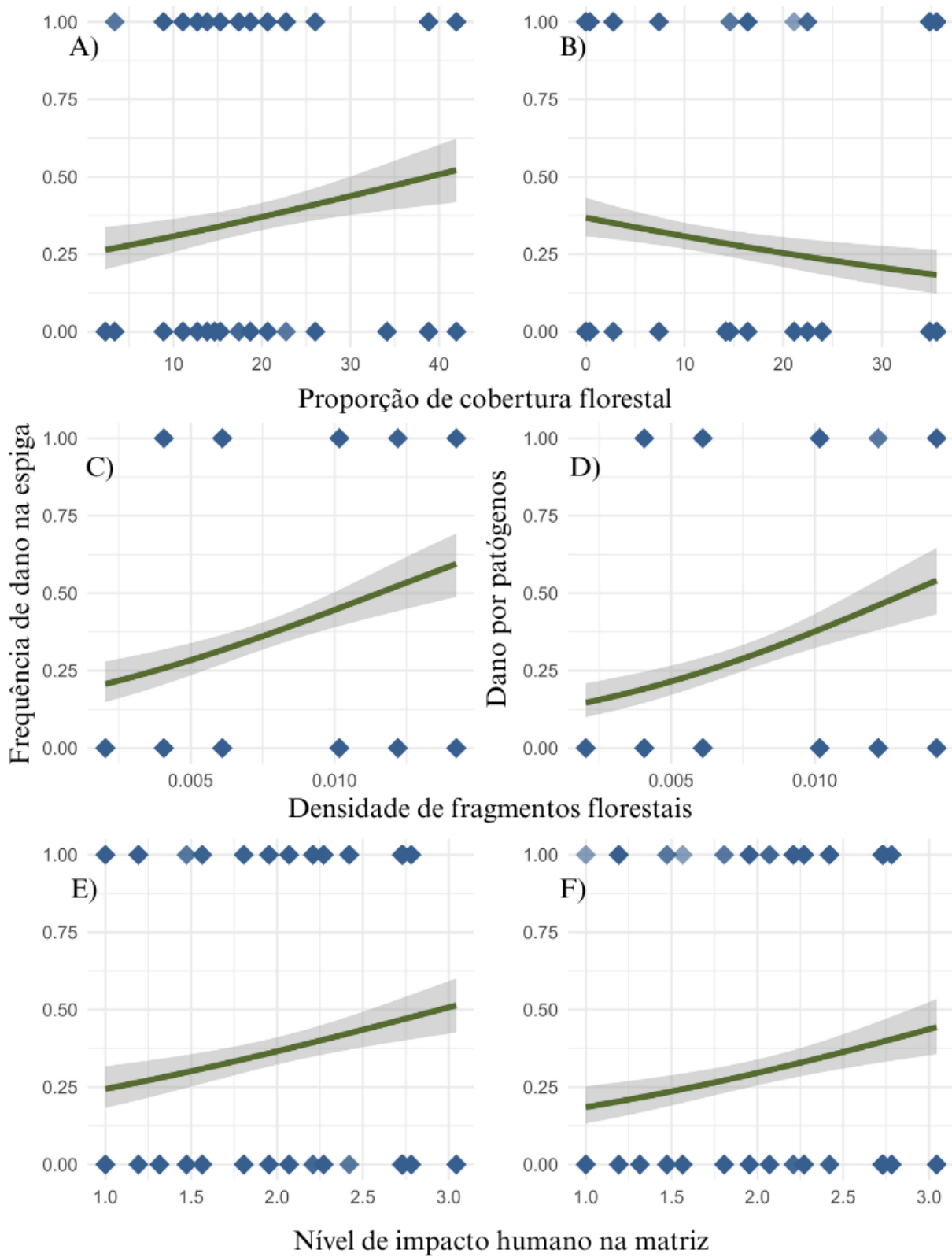
Figura 5: Efeitos das métricas de paisagem na herbivoria em folhas de milho. A) Frequência do dano em função da densidade de fragmentos florestais. B) Magnitude do dano em função da densidade de fragmentos florestais. C) Frequência de dano em função do nível de impacto humano na matriz. D) Magnitude do dano em função do nível de impacto humano na matriz. E) Magnitude do dano em função da proporção de cobertura florestal.

5.2 Herbivoria nas frutificações do milho

A frequência de dano total observada nos frutos do milho respondeu a diferentes variáveis da paisagem. A proporção de cobertura florestal (PLAND) apresentou relação positiva com a herbivoria nas frutificações (figura 6a). A métrica de densidade de fragmentos florestais (PD) também mostrou associação positiva (figura 6c), reforçando a ligação entre o aumento da fragmentação do ambiente e a intensificação dos danos. Já o impacto humano na matriz (SHDI) indicou uma associação positiva entre a antropização da paisagem e o aumento da frequência de dano nos frutos (figura 6e).

Ao se analisar separadamente os agentes de dano, observou-se que a frequência de dano por aves apresentou relação com o SHDI, sugerindo forte efeito positivo com esta variável (figura 6g). Em contraste, a frequência de dano por patógenos mostrou padrão diferente: houve relação negativa com a proporção de cobertura florestal (PLAND), indicando menor ocorrência em áreas mais preservadas (figura 6b). Já PD exerceu efeito positivo sobre a incidência de patógenos (figura 6d), enquanto o SHDI reforçou a influência da antropização nesse tipo de dano (figura 6f). Por fim, a frequência de dano atribuída a artrópodes respondeu positivamente a PD (figura 6h), sugerindo que o aumento do número de fragmentos no entorno do cultivo favorece a intensificação desse tipo de herbivoria.

De forma geral, os resultados obtidos para as estruturas reprodutivas contrastam parcialmente com os observados para as folhas do milho, em que a frequência de dano não esteve associada à quantidade de vegetação nativa, e apresentou tendência negativa em relação à heterogeneidade da paisagem. Isso sugere que as comunidades de herbívoros podem responder de maneiras distintas às pressões da paisagem, refletindo-se nos tipos de tecidos vegetais que atacam.



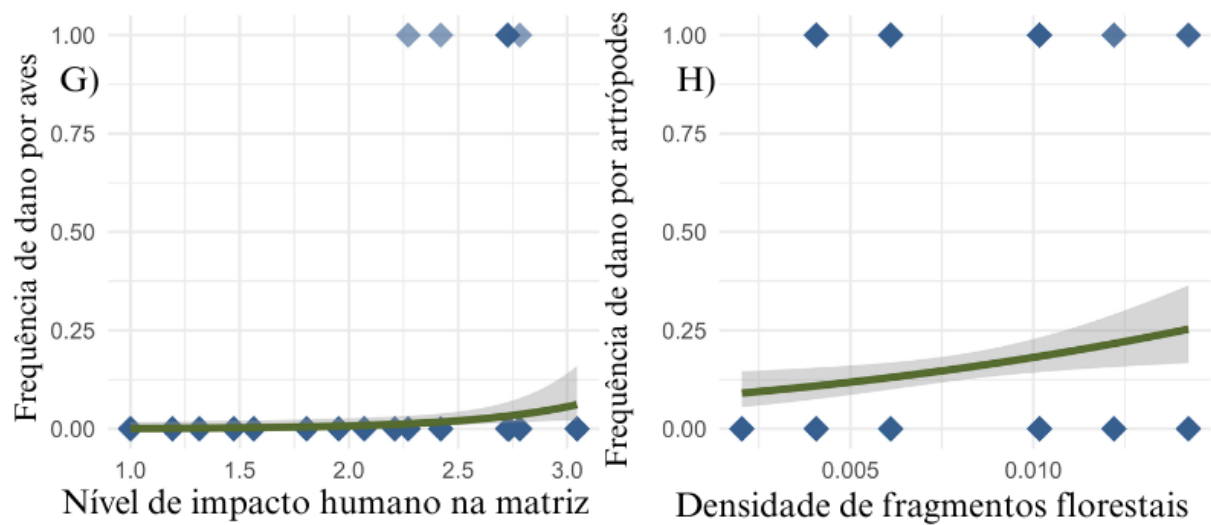


Figura 6: Efeitos das métricas de paisagem no dano em espigas de milho. A)Frequência de dano em função da proporção de cobertura florestal. B)Dano por patógenos em função da proporção de cobertura florestal. C)Frequência de dano nas espigas em função da densidade de fragmentos florestais. D)Dano por patógenos em função da densidade de fragmentos florestais. E)Frequência do dano na espiga em função do nível de impacto humano na matriz. F) Dano por patógenos em função do nível de impacto humano na matriz.G) Frequência de dano por aves em função do nível de impacto humano na matriz. H)Frequência de dano por artrópodes em função da densidade de fragmentos florestais.

5.3 Herbivoria nas folhas de feijão

A frequência de dano foliar no feijão respondeu de forma significativa a duas métricas de paisagem em diferentes escalas. Para a proporção de cobertura florestal (PLAND), observou-se resposta positiva, indicando que maiores proporções de vegetação ao redor do cultivo estão associadas a maiores níveis de dano foliar (figura 7b). Além disso, a densidade de fragmentos florestais (PD) também apresentou relação positiva, sugerindo que o aumento da fragmentação do ambiente contribui para intensificar a frequência de danos nas folhas do feijão (figura 7a).

Esse padrão revela que, quando observadas as estruturas foliares do feijão, a presença de áreas conservadas em maior proporção não atuou como barreira à herbivoria, mas esteve relacionada ao aumento de danos. Uma possível explicação é que a vegetação nativa ao redor dos cultivos de feijão possa servir tanto como fonte de inimigos naturais quanto como refúgio para herbívoros, de modo que, nesse caso, os efeitos da disponibilidade de hospedeiro parecem ter prevalecido sobre os efeitos de regulação.

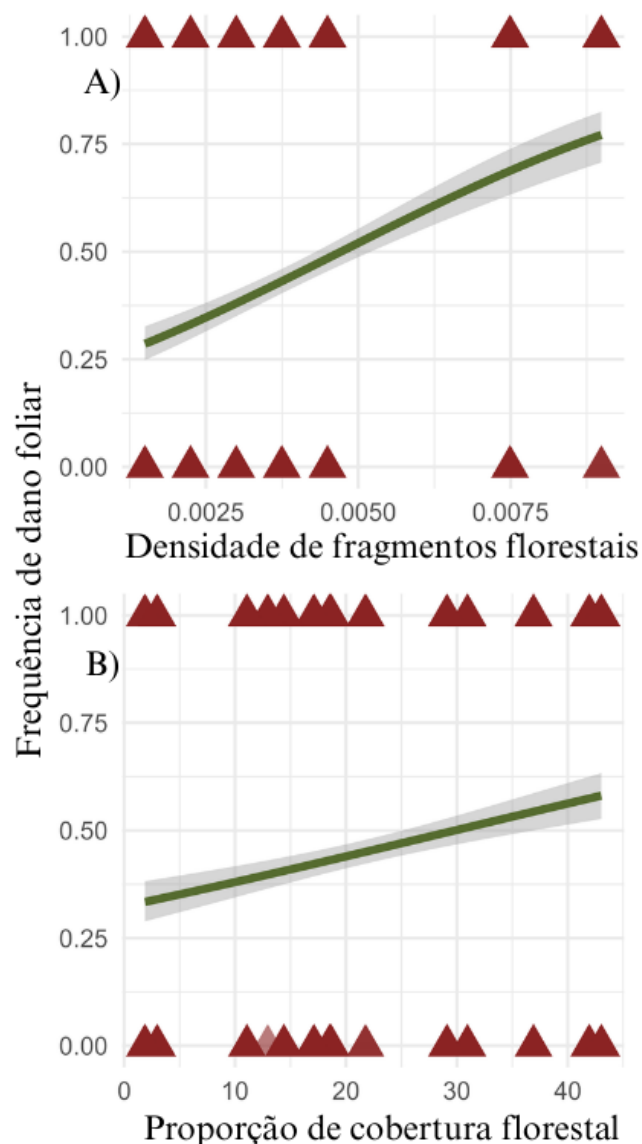


Figura 7: Efeitos das métricas de paisagem na herbivoria em folhas de feijão. A)Frequência de dano foliar em função da densidade de fragmentos florestais.B)Frequência de dano foliar em função da proporção de cobertura florestal.

5.4 Herbivoria nas frutificações do feijão

A frequência de dano nos frutos do feijão apresentou relação negativa com PLAND (figura 8a), sugerindo que maiores proporções de mata ao redor do cultivo reduziram a intensidade de danos nas vagens. Por outro lado, a relação entre o SHDI respondeu positivamente(figura 8b), indicando que paisagens mais antropizadas estiveram associadas a maiores níveis de dano total nos frutos. Esse resultado apontam que, em uma escala mais local, a presença de áreas conservadas atua como fator protetor, possivelmente reduzindo a pressão de herbívoros e outros agentes de dano sobre as frutificações. Em contraste, o aumento da diversidade de usos da terra em áreas mais antropizadas favoreceu a ocorrência

desses danos, possivelmente pela presença de espécies oportunistas que exploram tanto a matriz antrópica quanto o cultivo.

No caso específico dos artrópodes, observou-se relação negativa com PLAND (figura 8c). Esse padrão reforça que, em maior escala, áreas com maior proporção de mata tenderam a reduzir a intensidade de danos causados por artrópodes nas vagens de feijão. Esse efeito pode estar relacionado ao papel da vegetação nativa em manter comunidades mais estáveis de inimigos naturais ou em dificultar a expansão de artrópodes fitófagos em direção aos cultivos, sobretudo porque a vegetação da Caatinga apresenta elevada diversidade de fabáceas. Assim, a disponibilidade desse recurso alimentar na mata pode reduzir a pressão sobre os feijoeiros cultivados, já que eles deixam de ser a única fonte de alimento acessível. Assim, enquanto o nível de impacto humano na matriz (SHDI) esteve associado ao aumento de danos totais, a proporção de áreas conservadas, especialmente em escalas mais amplas, contribuiu para mitigar o impacto específico dos artrópodes sobre as frutificações.

Os resultados mostraram que o aumento da proporção cobertura florestal (PLAND) esteve associado a maiores frequências de dano foliar no feijão e nos frutos do milho, sugerindo que áreas mais conservadas podem atuar como fontes de herbívoros capazes de explorar os cultivos. Esse padrão contrasta com a expectativa de que áreas nativas favoreceriam inimigos naturais e, portanto, reduziriam a pressão de herbivoria. Silva et al. (2025) também observaram que os efeitos das métricas de paisagem variaram entre folhas e frutos, bem como entre milho e feijão, indicando que a resposta da herbivoria é modulada tanto pelo órgão da planta quanto pelos herbívoros envolvidos. Além disso, a densidade de fragmentos florestais (PD) mostrou-se um preditor mais consistente da herbivoria, reforçando que a fragmentação da paisagem pode favorecer a ocorrência de danos, ao facilitar a movimentação e permanência de herbívoros próximos aos cultivos (Fahrig, 2017). Outras métricas, como SHDI e PLAND, também apresentaram efeitos, mas de forma menos uniforme, alternando entre relações positivas e negativas conforme o cultivo e o tipo de dano avaliado.

Essa variação nas respostas pode estar relacionada à dinâmica natural das populações de insetos na Caatinga, que é influenciada tanto por fatores intrínsecos quanto pelas condições ambientais, como as fortes oscilações no regime de chuvas. Essa flutuação pode alterar tanto a abundância de herbívoros quanto a de inimigos naturais, modulando a intensidade da herbivoria em diferentes momentos (Vasconcelos *et al.*, 2010; Rito *et al.*, 2017). Assim, a inconsistência nos efeitos de PLAND e SHDI entre folhas e frutos pode refletir não apenas a configuração da paisagem, mas também às variações climáticas.

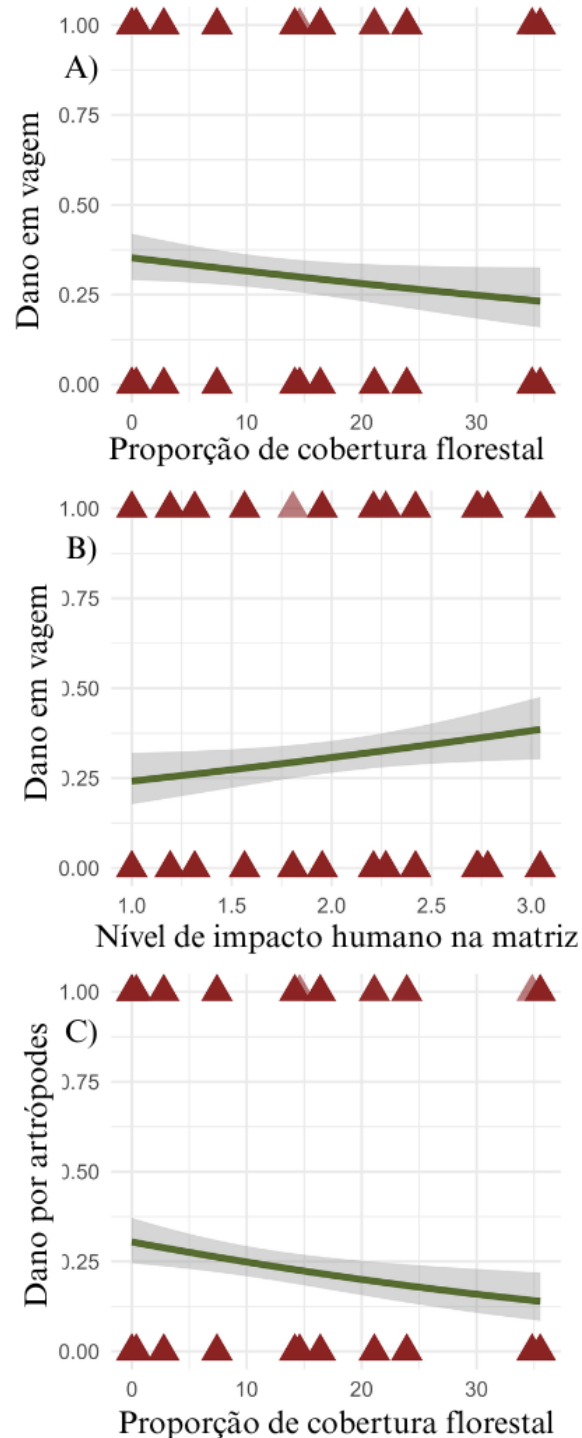


Figura 8: Efeitos das métricas de paisagem no dano em vasos. A) Frequência de dano em vasos em função da proporção da cobertura florestal. B) Frequência de dano em vasos em função do nível de impacto humano na matriz. C) Frequência de dano em vasos por artrópodes em função da proporção de cobertura florestal.

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam que a herbivoria em cultivos familiares de milho e feijão na Caatinga é modulada por atributos da paisagem, mas com respostas variáveis ao longo do tempo. Diferenças observadas em relação a trabalhos anteriores, como

sugerem que a dinâmica das comunidades de artrópodes pode se alterar em janelas temporais curtas, provavelmente influenciada por fatores climáticos, em especial pela frequência e pelo volume de chuvas, que são determinantes para muitos processos ecológicos no semiárido.

De forma geral, os achados corroboram a literatura ao confirmar que a configuração e composição da paisagem exercem influência significativa sobre as interações entre plantas e herbívoros, destacando a densidade de fragmentos e a proporção de áreas florestadas como preditores relevantes. Nesse contexto, a manutenção e a restauração de ecossistemas naturais adjacentes aos cultivos se mostram fundamentais para a concepção de agroecossistemas sustentáveis, capazes de conciliar produção e conservação ambiental.

Com base nessas evidências, reforça-se as recomendações propostas por Silva *et al.* (2025): (1) priorizar práticas agrícolas em áreas de pequena dimensão (<2 ha), nas quais os níveis de dano não acarretam prejuízos produtivos; (2) evitar o desmatamento em paisagens mais conservadas, prevenindo o aumento da suscetibilidade à herbivoria; (3) em áreas já degradadas, promover a restauração florestal em múltiplos fragmentos, em vez de blocos únicos, de modo a favorecer a proteção das culturas. Considerando que os níveis de dano observados não comprometem a produção local, a herbivoria não deve ser vista como um entrave à agricultura de subsistência na Caatinga, mas como um componente natural do sistema, passível de ser manejado por estratégias que integrem conservação e práticas tradicionais de cultivo.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARAÚJO, Humberto F. P. de; VIEIRA, Daniel L. M.; FERRAZ, Silvio F. B.; TABARELLI, Marcelo. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. *Land Use Policy*, [S. l.], v. 100, 104913, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104913>.

ARAÚJO, Vanessa M.; ANDRADE, Rafaela S.; LIMA, Letícia G.; SILVA, Thamyres R.; TABARELLI, Marcelo. Natural cover surrounding the farm field reduces crop damage and pest abundance in Brazilian dryland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [S. l.], v. 325, 107735, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107735>.

ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor et al. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, [S. l.], v. 23, n. 9, p. 1404–1420, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.13535>.

BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macedo. Breve história do algodão no Nordeste do Brasil. Embrapa Algodão, 2004. (Documentos embrapa).

BUENO, M. G.; COSTA, S. R. C. A saga do algodão: das primeiras lavouras à ação na OMC. Brasília: ABRAPA; Rio de Janeiro: Insight Engenharia, 2004.

DUARTE, Gabriela Teixeira; SANTOS, Paloma Marques; CORNELISSEN, Tatiana Garabini; RIBEIRO, Milton Cezar; PAGLIA, Adriano Pereira. The effects of landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. *Landscape Ecology*, [S. l.], v. 33, p. 1247–1259, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0673-5>.

EMBRAPA. Serviços ambientais e agropecuária. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

ESTUPIÑAN-MOJICA, Anderson et al. Landscape attributes shape dung beetle diversity at multiple spatial scales in agricultural drylands. *Basic and Applied Ecology*, [S. l.], v. 63, p. 139–151, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.06.002>.

FAHRIG, Lenore. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Palo Alto, v. 34, p. 487–515, 2003.

FAHRIG, Lenore. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, [S. l.], v. 40, n. 9, p. 1649–1663, 2013.

FAHRIG, Lenore. Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Palo Alto, v. 48, p. 1–23, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. The state of food security and nutrition in the world 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9692en>.

FAO. Land use statistics and indicators statistics: Global, regional and country trends 1990–2019. Rome: FAO, 2021. (FAOSTAT Analytical Brief Series, No. 28).

GRAB, Heather; DANFORTH, Bryan; POVEDA, Katja; LOEB, Greg. Landscape simplification reduces classical biological control and crop yield. *Ecological Applications*, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 348–355, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eap.1651>.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: Elsevier, 1997.

GRILLI, Gianluca; PAGLIACCI, Francesco; GATTO, Paola. Determinants of agricultural diversification: What really matters? A review. *Journal of Rural Studies*, [S. l.], v. 110, 103365, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103365>.

HANSKI, Ilkka. Habitat loss, the dynamics of biodiversity, and a perspective on conservation. *Ambio*, Stockholm, v. 40, n. 3, p. 248–255, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e estados. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>.

ISBELL, Forest et al. The biodiversity-dependent ecosystem service debt. *Ecology Letters*, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 119–134, 2015.

JAT, R. A.; WANI, S. P.; SAHRAWAT, K. L. Conservation agriculture in the semi-arid tropics: Prospects and problems. In: SPARKS, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. San Diego: Academic Press, 2012. v. 117, p. 191–273. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00004-0>.

KARP, Daniel S. et al. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, DC, v. 115, n. 33, p. E7863–E7870, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>.

LANDIS, Douglas A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, [S. l.], v. 18, p. 1–12, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>.

MASHIZI, Amir K.; SHARAFATMANDRAD, Mohsen. Spatial management of poverty-biodiversity interactions in semi-arid ecosystems. *Scientific Reports*, [S. l.], v. 15, 19802, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04519-x>.

MORET-BAILLY, Simon; MURO, Miquel. The costs and benefits of transitioning to sustainable agriculture in the EU: A synthesis of existing knowledge. Brussels: The Institute for European Environmental Policy, 2024.

PNUD; IPEA; FJP. Índice de Desenvolvimento Humano municipal brasileiro. [S. l.], 2013.

REIS, André Barbosa. Diversidade e composição de espécies de besouros escarabeíneos em paisagens agrícolas da caatinga. 2024. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

RITO, Kátia F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor; QUEIROZ, Rubens T. de; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. *Journal of Ecology*, [S. l.], v. 105, n. 3, p. 828–838, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12712>.

SILVA, Iago C. S. F.; FERNANDES, G. Wilson; SANTOS, Bráulio A.; LEAL, Inara R. Local and landscape predictors of herbivory on subsistence croplands in Brazilian dry forests. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, [S. l.], v. 49, n. 1, p. 22–40, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21683565.2024.2405890>.

SOUSA, J. S. B.; LONGO, M. G.; SANTOS, B. A. Landscape patterns of primary production reveal agricultural benefits from forest conservation. *Perspectives in Ecology and Conservation*, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 136–145, 2019.

TAVARES, Patrícia Dias; UZÊDA, Maria Cristina; PIRES, Alexandra dos Santos. Biodiversity conservation in agricultural landscapes: The importance of the matrix. *Floresta e Ambiente, Seropédica*, v. 26, n. 1, e20170664, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.066417>.

VASCONCELLOS, Alexandre; ANDREAZZE, Ricardo; ALMEIDA, Adriana M.; ARAUJO, Helder F. P.; OLIVEIRA, Elcida S.; OLIVEIRA, Ubirajara. Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia, Curitiba*, v. 54, n. 3, p. 471–476, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000300019>. Acesso em: [insira a data de acesso].

WATT, D. L.; DAHL, B. L. Economic impacts of sustainable agriculture. *Impact Assessment*, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 101–115, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07349165.1992.9725803>.

ZAMBERLETTI, T. V.; TAMBOSI, L. R.; RIBEIRO, M. C.; SILVA, L. P.; MORANTE-FILHO, J. C. More pests but less pesticide applications: Ambivalent effect of landscape complexity on conservation biological control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [S. l.], v. 314, 107408, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107408>.