Forests, Conservation and Society

Revista internacional revisada por pares · Fundación Flora Amazónica (FORAMA)

Volume 1, Número 1, 2026, 0005 | https://ojs.forama.org/index.php/fcs
ARTIGO ORIGINAL

Fenologia e sinais de herbivoria em um fragmento florestal urbano da Amazônia Central

Heyder Loureiro Pinagé Neto[a,b]*, Flora Magdaline Benitez Romero[a,b], Philip Martin Fearnside[a]

[a] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil; philip.fearnside@inpa.gov.br
[b] Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil: magdaline.romero@inpa.gov.br; rbarbosa@ufam.edu.br
[c] Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil; SONGILA35@gmail.com
* Autor de correspondência: heyder.neto@ufam.edu.br

Resumo: O monitoramento conjunto da fenologia e da herbivoria contribui para caracterizar a dinâmica de remanescentes florestais urbanos. Este estudo caracterizou mensalmente a atividade e a intensidade de fenofases foliares e reprodutivas e a prevalência de sinais visíveis de herbivoria em quatro parcelas permanentes na borda de um fragmento da Universidade Federal do Amazonas, em Manaus, entre janeiro e junho de 2026. As parcelas totalizaram 0,8 ha e 634 unidades arbóreas ou estipes com DAP ≥ 10 cm. Os índices de atividade e intensidade de Fournier foram recalculados a partir dos registros individuais, tratando códigos de ausência de observação como dados inválidos, e não como ausência da fenofase. Entre fevereiro e maio, a mudança foliar agregada variou de 59,55% a 60,78% e diminuiu para 52,84% em junho; folhas maduras ocorreram em mais de 99% das unidades válidas, com intensidade entre 77,22% e 83,69%. A atividade agregada de floração permaneceu em torno de 1,6% de fevereiro a maio e foi 0,80% em junho. A frutificação agregada permaneceu próxima de 26%, enquanto a atividade de frutos maduros aumentou de 1,45% em fevereiro para 12,68% em junho. Na série ampliada, os sinais visíveis de herbivoria aumentaram de 12,40% em fevereiro para 15,85% em junho; na série restrita às parcelas P2-P4, comparável desde janeiro, variaram de 19,93% a 26,96%. A diferença entre as séries evidencia o efeito da composição amostral, especialmente da parcela de baixio. O acompanhamento de seis meses e a ausência de variáveis ambientais simultâneas impedem inferir ciclos anuais ou causalidade climática, mas a base individual permite uma linha de referência reprodutível para a continuidade do monitoramento.

Palavras-chave: monitoramento de copas; fenofases reprodutivas; renovação foliar; interações planta-herbívoro; parcelas permanentes.

Abstract: Joint monitoring of phenology and herbivory helps characterize the dynamics of urban forest remnants. This study characterized monthly phenophase activity and Fournier intensity and the prevalence of visible herbivory signs in four permanent plots at the edge of a forest fragment at the Federal University of Amazonas, Manaus, from January to June 2026. The plots covered 0.8 ha and comprised 634 tree or palm-stem observation units with DBH ≥ 10 cm. Activity and Fournier intensity indices were recalculated from individual records, treating codes for unavailable observations as missing data rather than phenophase absence. From February to May, aggregate leaf-change activity ranged from 59.55% to 60.78% and declined to 52.84% in June; mature leaves occurred in more than 99% of valid units, with intensity ranging from 77.22% to 83.69%. Aggregate flowering activity remained around 1.6% from February to May and was 0.80% in June. Aggregate fruiting remained near 26%, while mature-fruit activity increased from 1.45% in February to 12.68% in June. In the expanded series, visible herbivory signs increased from 12.40% in February to 15.85% in June; in the P2-P4 restricted series, comparable from January onward, values ranged from 19.93% to 26.96%. The contrast between series highlights the influence of sample composition, especially the lowland plot. The six-month observation window and lack of concurrent environmental variables preclude inference about annual cycles or climatic causality, but the individual-level dataset provides a reproducible baseline for continued monitoring.

Keywords: canopy monitoring; reproductive phenophases; leaf turnover; plant-herbivore interactions; permanent plots.

1. Introdução

A fenologia vegetal investiga a ocorrência, a duração e a periodicidade de eventos recorrentes do ciclo de vida das plantas, incluindo brotação, expansão e senescência foliar, floração e frutificação. Esses eventos integram respostas fisiológicas, disponibilidade de recursos e estratégias reprodutivas, tornando o monitoramento fenológico uma ferramenta relevante para interpretar o funcionamento das comunidades tropicais (Fournier, 1974; Alencar et al., 1979; van Schaik et al., 1993; Borchert, 1994; Bencke & Morellato, 2002; Morellato et al., 2016).

Em florestas amazônicas, a dinâmica foliar não pode ser reduzida a uma resposta simples à chuva ou à seca. A substituição de folhas, a idade foliar, a luminosidade, o déficit hídrico e as diferenças entre estratos podem produzir respostas simultâneas e espacialmente heterogêneas (Doughty & Goulden, 2009; Wu et al., 2016; Albert et al., 2018). A interpretação de sinais de verdejamento também depende do método: Morton et al. (2014) destacam a influência da geometria de observação sobre a reflectância, enquanto estudos de campo documentam mudanças na composição etária das folhas e na estrutura das copas. Portanto, presença de folhas, renovação foliar e atividade fotossintética não devem ser tratadas como indicadores equivalentes (Nunes et al., 2022; Yang et al., 2026).

A fragmentação e a urbanização modificam a estrutura do dossel, a exposição ao vento, a temperatura, a umidade e a disponibilidade de luz. Em fragmentos amazônicos, alterações microclimáticas de borda podem modificar a sazonalidade das copas e a renovação foliar, enquanto clareiras e abertura do dossel alteram a exposição do sub-bosque (Ewers & Banks-Leite, 2013; Nunes et al., 2022). Consequentemente, bordas florestais podem apresentar fenologia distinta do interior, especialmente quando o fragmento reúne ambientes contrastantes, como baixios sazonalmente alagados e terra firme em regeneração (Lopes et al., 2016; Sales et al., 2023). Essas alterações também interferem na regeneração, no fornecimento de recursos a polinizadores e dispersores e na persistência das interações ecológicas.

A herbivoria constitui outra dimensão importante da dinâmica foliar. O dano observado depende da identidade da espécie, da idade da folha, da luminosidade, das defesas físicas e químicas, da comunidade de herbívoros e de seus inimigos naturais. Folhas em expansão podem representar uma janela de maior vulnerabilidade, e a abertura do dossel ou a fragmentação pode modificar tanto a disponibilidade do recurso quanto a composição das guildas de herbívoros. Em florestas tropicais, entretanto, os efeitos de distúrbios e fragmentação não são uniformes, razão pela qual a presença de sinais não deve ser confundida com taxa de consumo ou intensidade de ataque (Coley, 1983; Fáveri et al., 2008; Cárdenas et al., 2014; Darrigo et al., 2018; Barreto et al., 2021; Silva et al., 2021; Morante-Filho et al., 2024).

Em ambientes urbanos, a pressão de herbivoria também pode responder à cobertura arbórea, à impermeabilização do solo, à complexidade do habitat e ao controle exercido por predadores. Os padrões observados em cidades não são automaticamente transferíveis para a Amazônia, mas evidenciam a necessidade de documentar o contexto local e de empregar métricas capazes de separar ocorrência, incidência e severidade do dano (Schueller et al., 2019; Long & Frank, 2020; Valdés-Correcher et al., 2022; Quiroga et al., 2026).

No fragmento florestal urbano do campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o acompanhamento de parcelas permanentes permite descrever eventos foliares e reprodutivos e registrar sinais de interação com herbívoros. A coexistência de baixio com palmeiras e de parcelas de terra firme exige explicitar quais unidades e ambientes compõem os indicadores agregados. Neste estudo, a contribuição consiste em estabelecer uma linha de base descritiva de curto prazo, sem atribuir os padrões observados a mecanismos ambientais que não foram medidos.

Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar a atividade e a intensidade das fenofases foliares e reprodutivas e a ocorrência de sinais visíveis de herbivoria em parcelas permanentes de um fragmento florestal urbano da Amazônia Central, considerando a variação mensal e a heterogeneidade entre os ambientes amostrados.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo e unidades de observação

O estudo foi desenvolvido no setor sul do campus da Universidade Federal do Amazonas, em Manaus, Amazonas, em um fragmento de floresta ombrófila densa sob influência urbana. Foram utilizadas quatro parcelas permanentes retangulares de 100 m × 20 m, correspondentes a 2.000 m² ou 0,2 ha cada, totalizando 0,8 ha. As parcelas foram instaladas na borda do fragmento; portanto, as inferências deste estudo se restringem às unidades monitoradas e não representam necessariamente o interior ou a totalidade do remanescente.

As parcelas foram identificadas como Parcela 1 (P1), Parcela 2 (P2), Parcela 3 (P3) e Parcela 4 (P4). A P1 situa-se em baixio com solo encharcado e elevada ocorrência de palmeiras, enquanto as parcelas P2, P3 e P4 se localizam em terra firme. O delineamento é sintetizado na Figura 1, que apresenta uma representação esquemática sem escala e sem função cartográfica.

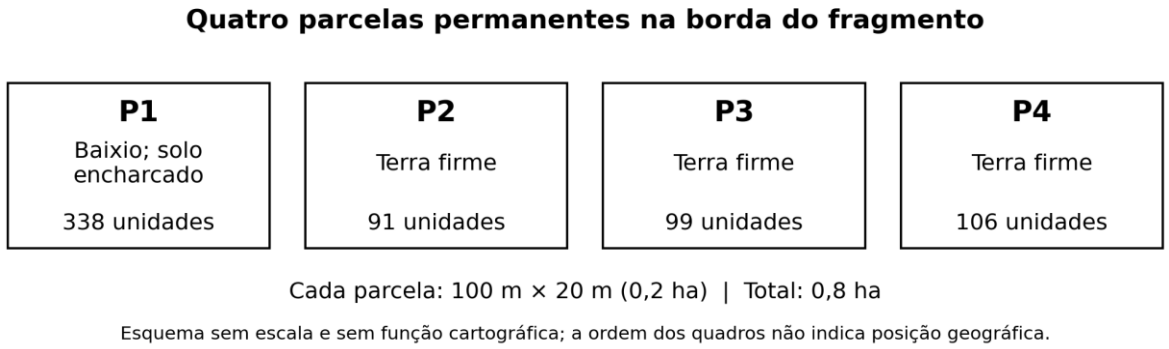

Figura 1. Representação esquemática das quatro parcelas permanentes na borda do fragmento florestal urbano do setor sul do campus da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas.

Fonte: Esquema do delineamento apresentado no relatório do projeto (2026).

Foram registrados os caules com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 10 cm. Cada unidade recebeu identificação e registro espacial. Nas palmeiras cespitosas, cada estipe enquadrado no limite diamétrico foi tratado como unidade de observação fenológica, permitindo acompanhar copas distintas, mas sem equivaler necessariamente a um indivíduo genético independente. Portanto, os estipes foram mantidos como unidades observacionais para descrição de copas, mas não foram interpretados como réplicas biológicas independentes em inferências ecológicas. A caracterização quantitativa das parcelas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das parcelas e distribuição nominal das unidades arbóreas ou estipes monitorados.

Parcela	Ambiente predominante	Área (ha)	Unidades (n)	Participação (%)	Densidade nominal (unidades ha⁻¹)
P1	Baixio; solo encharcado; palmeiras cespitosas	0,20	338	53,3	1.690
P2	Terra firme	0,20	91	14,4	455
P3	Terra firme	0,20	99	15,6	495
P4	Terra firme	0,20	106	16,7	530
Total	Mosaico baixio–terra firme	0,80	634	100,0	792,5

Fonte: Dados do projeto (2026). Todas as parcelas estão na borda do fragmento. Na P1, cada estipe elegível foi contado como unidade. A densidade total representa a base nominal, não indivíduos genéticos independentes.

As quatro parcelas totalizaram 634 unidades arbóreas ou estipes. A P1 reuniu 338 registros, equivalentes a 53,3% da base nominal, enquanto as demais parcelas apresentaram entre 91 e 106 registros. A Figura 2 mostra essa distribuição, correspondente aos quantitativos da Tabela 1.

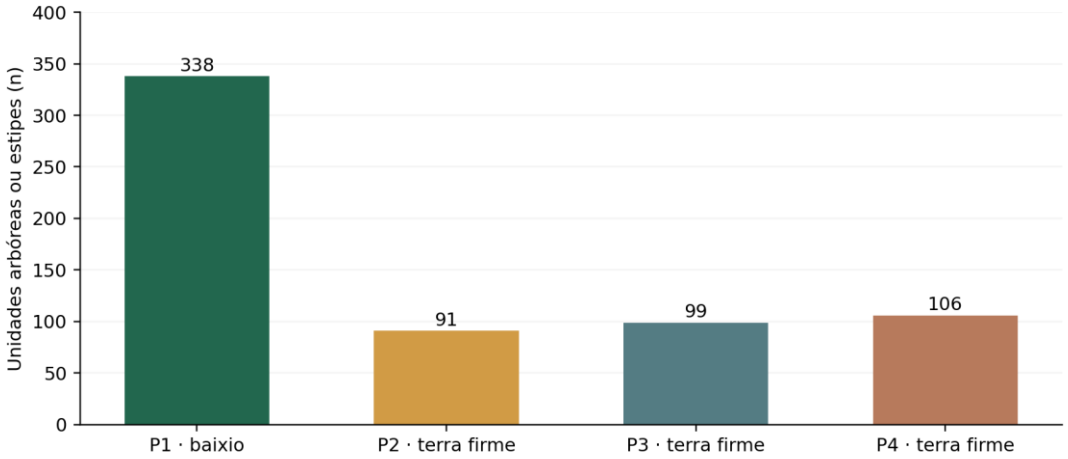

Figura 2. Número de unidades arbóreas ou estipes registrados em cada parcela permanente.

Fonte: Dados do projeto, janeiro a junho de 2026.

A P1 correspondeu ao ambiente de baixio com solo encharcado e elevada ocorrência de palmeiras cespitosas. As parcelas P2, P3 e P4 representaram ambientes de terra firme. As densidades nominais foram de 1.690, 455, 495 e 530 unidades por hectare, respectivamente, e de 792,5 unidades por hectare para o conjunto das parcelas.

2.2. Monitoramento e categorias fenológicas

As observações foram realizadas mensalmente entre janeiro e junho de 2026, com auxílio de binóculos 10 × 50. Foram registradas mudança foliar, floração e frutificação. As categorias operacionais estão descritas na Tabela 2, com padronização dos termos empregados para as diferentes fases de folhas, flores e frutos (Aleixo et al., 2023).

Tabela 2. Categorias fenológicas e critérios de registro no monitoramento.

Dimensão	Categoria	Critério de registro
Mudança foliar	Folhas novas/brotação	Presença de folhas recém-emitidas ou em expansão.
Mudança foliar	Folhas maduras	Folhas plenamente expandidas, reconhecidas visualmente como maduras.
Mudança foliar	Folhas senescentes/queda	Folhas com sinais de senescência ou processo de abscisão.
Floração	Botões florais	Estruturas florais fechadas e reconhecíveis.
Floração	Flores abertas	Flores com estruturas reprodutivas expostas.
Floração	Flores senescentes/final	Flores após a fase de abertura ou em abscisão.
Frutificação	Frutos imaturos	Frutos em desenvolvimento, sem sinais de maturidade.
Frutificação	Frutos maduros	Frutos com características visuais de maturidade.
Frutificação	Frutos em dispersão	Frutos ou diásporos em fase de liberação.

Fonte: Protocolo do projeto e Aleixo et al. (2023). A identificação das categorias foi visual, sem medições fisiológicas das folhas.

Para assegurar reprodutibilidade, os indicadores agregados foram reconstruídos diretamente da planilha individual. A mudança foliar agregada foi definida como a proporção de unidades válidas que apresentaram pelo menos uma das condições folhas novas/brotação ou folhas velhas/senescentes; folhas maduras foram analisadas separadamente, pois sua inclusão tornaria o indicador de renovação pouco informativo. A floração agregada correspondeu à presença de pelo menos uma categoria entre botões florais, flores abertas e flores senescentes; a frutificação agregada correspondeu à presença de pelo menos uma categoria entre frutos imaturos, maduros e em dispersão. Como categorias distintas podem ocorrer simultaneamente na mesma

copa, os percentuais agregados foram calculados pela união lógica das categorias e nunca pela soma de seus percentuais.

2.3. Índices de atividade e de intensidade

Para cada fenofase e mês, o índice de atividade (IA) correspondeu à proporção de unidades com observação válida que apresentaram a condição, conforme a Equação 1. O denominador deve acompanhar os percentuais para explicitar a cobertura das observações (Bencke & Morellato, 2002).

$$IA\ (\%) = (n / N) \times 100 \quad (1)$$

Na Equação 1, n representa o número de unidades com a fenofase e N o número de unidades com observação válida para a respectiva fenofase no mês.

O índice de intensidade de Fournier (IF) foi obtido a partir de escores semiquantitativos de 0 a 4: 0 para ausência; 1 para 1–25% da copa; 2 para 26–50%; 3 para 51–75%; e 4 para 76–100%. A soma dos escores foi expressa em relação ao máximo possível, segundo a Equação 2 (Fournier, 1974; Bencke & Morellato, 2002).

$$IF\ (\%) = [\Sigma F_i / (4N)] \times 100 \quad (2)$$

Na Equação 2, F_i é o escore atribuído à unidade i e N é o número de unidades válidas para a fenofase considerada. O IA expressa a frequência de ocorrência entre unidades, enquanto o IF sintetiza a intensidade visual por escores. Células realmente vazias foram interpretadas como ausência da fenofase apenas para registros disponíveis; códigos de indisponibilidade ('-', '---', '----') e campos contendo apenas espaços foram tratados como dados ausentes e excluídos do denominador do indicador correspondente. Dessa forma, ausência de observação não foi convertida em escore zero.

2.4. Registro de sinais visíveis de herbivoria

A herbivoria foi avaliada qualitativamente pela presença ou ausência de sinais visíveis nas folhas observáveis da copa. O indicador corresponde à proporção de unidades com dano aparente, sem mensurar a área foliar removida, a intensidade do dano, a ocorrência de novos ataques ou a identidade dos herbívoros. Como uma lesão pode permanecer visível durante vários meses, os percentuais foram interpretados como prevalência de sinais, e não como taxa de consumo (Vasconcelos, 1999; Cárdenas et al., 2014; Barreto et al., 2021).

2.5. Esforço amostral e comparabilidade temporal

A base nominal reuniu 634 unidades nas quatro parcelas. Em janeiro, a P1 não pôde ser monitorada devido ao alagamento, de modo que a base nominal foi de 296 unidades nas parcelas P2-P4. A planilha individual permitiu reconstruir os denominadores válidos por mês e por indicador. Em janeiro, os indicadores fenológicos tiveram 292 observações válidas e a herbivoria 291; de fevereiro a junho, os denominadores variaram entre 615 e 626 para as fenofases, enquanto a herbivoria apresentou 621, 623, 621, 621 e 631 observações válidas, respectivamente. Como os códigos de indisponibilidade podem variar entre colunas, cada porcentagem foi calculada com seu denominador específico.

Tabela 3. Cobertura amostral mensal reconstruída a partir da base individual.

Mês	Parcelas	Base nominal	N válido fenologia	N válido herbivoria
Janeiro	P2-P4	296	292	291
Fevereiro	P1-P4	634	620-625	621
Março	P1-P4	634	622-626	623
Abril	P1-P4	634	620-624	621
Maio	P1-P4	634	615-621	621

Junho	P1-P4	634	616-623	631

Fonte: Base individual do projeto (2026). O intervalo de N em fenologia reflete pequenas diferenças de disponibilidade entre categorias; cada indicador foi calculado com seu denominador válido específico.

A comparação temporal foi realizada em duas escalas complementares. A série principal de fevereiro a junho utilizou P1-P4, enquanto uma análise de sensibilidade restrita às parcelas P2-P4 foi reconstruída de janeiro a junho para manter composição espacial constante. Essa segunda série permite avaliar quanto a inclusão da parcela de baixio influencia os indicadores agregados, sem transformar a comparação em teste inferencial.

2.6. Análise e alcance das inferências

As análises foram descritivas, com apresentação de frequências, proporções e intensidade de Fournier. Todos os índices foram recalculados a partir dos registros individuais da planilha. Não foram aplicados testes inferenciais de diferença entre meses, parcelas ou ambientes; portanto, os termos 'aumento' e 'redução' descrevem diferenças numéricas. A série P2-P4 foi utilizada apenas como análise de sensibilidade para comparabilidade temporal, e a série P1-P4 de fevereiro a junho foi mantida como descrição do conjunto ampliado de parcelas.

3. Resultados

3.1. Dinâmica foliar

Na série ampliada P1-P4, a mudança foliar agregada permaneceu próxima de 60% entre fevereiro e maio, variando de 59,55% a 60,78%, e diminuiu para 52,84% em junho. A atividade de folhas maduras permaneceu acima de 99% em todos os meses, com intensidade de Fournier entre 77,22% e 83,69%. A atividade de folhas novas variou de 23,04% a 23,99% entre fevereiro e maio e caiu para 14,35% em junho. Folhas velhas/senescentes apresentaram atividade máxima de 47,97% em maio, quando a intensidade foi 14,87%. A Tabela 4 apresenta os indicadores mensais recalculados.

Tabela 4. Indicadores fenológicos mensais recalculados para a série ampliada P1-P4, fevereiro a junho de 2026.

Mês	Indicador	n/N	Valor (%)
Fevereiro	Mudança foliar agregada - IA	373/621	60,06
Fevereiro	Folhas maduras - IA	614/620	99,03
Fevereiro	Folhas maduras - IF	ΣF=2018; N=620	81,37
Fevereiro	Floração agregada - IA	10/621	1,61
Fevereiro	Frutificação agregada - IA	160/621	25,76
Março	Mudança foliar agregada - IA	371/623	59,55
Março	Folhas maduras - IA	618/622	99,36
Março	Folhas maduras - IF	ΣF=2005; N=622	80,59
Março	Floração agregada - IA	10/623	1,61
Março	Frutificação agregada - IA	162/623	26,00
Abril	Mudança foliar agregada - IA	371/621	59,74
Abril	Folhas maduras - IA	618/620	99,68
Abril	Folhas maduras - IF	ΣF=1915; N=620	77,22

Abril	Floração agregada - IA	10/621	1,61
Abril	Frutificação agregada - IA	162/621	26,09
Maio	Mudança foliar agregada - IA	375/617	60,78
Maio	Folhas maduras - IA	612/616	99,35
Maio	Folhas maduras - IF	ΣF=1987; N=616	80,64
Maio	Floração agregada - IA	10/618	1,62
Maio	Frutificação agregada - IA	159/619	25,69
Junho	Mudança foliar agregada - IA	326/617	52,84
Junho	Folhas maduras - IA	613/616	99,51
Junho	Folhas maduras - IF	ΣF=2062; N=616	83,69
Junho	Floração agregada - IA	5/623	0,80
Junho	Frutificação agregada - IA	163/623	26,16

Fonte: cálculos a partir da base individual do projeto (2026). IA: índice de atividade; IF: intensidade de Fournier. As categorias agregadas representam a união lógica das respectivas fenofases, sem soma de percentuais.

3.2. Floração e frutificação

A atividade agregada de floração foi de 1,61% em fevereiro, março e abril, 1,62% em maio e 0,80% em junho. Janeiro apresentou 8,56% na série restrita P2-P4, mas esse valor não representa a comunidade ampliada com a parcela de baixio. Assim, a maior atividade observada em janeiro deve ser interpretada como característica da composição amostral daquele mês, e não como pico da série P1-P4.

A frutificação agregada permaneceu relativamente estável na série ampliada, entre 25,69% e 26,16%. A atividade de frutos imaturos passou de 21,74% em fevereiro para 19,42% em junho. No mesmo intervalo, a atividade de frutos maduros aumentou de 1,45% para 12,68%, e sua intensidade de Fournier, de 0,48% para 3,69%. A Figura 3 apresenta os valores de fevereiro e junho, calculados com os denominadores válidos de cada categoria.

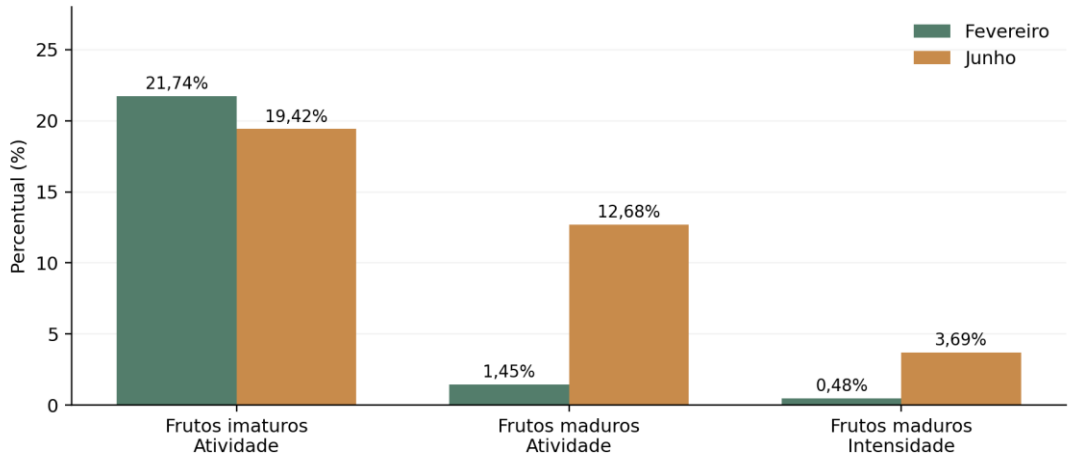

Figura 3. Atividade de frutos imaturos e maduros e intensidade de Fournier de frutos maduros em fevereiro e junho de 2026.

Fonte: cálculos a partir da base individual do projeto (2026). Atividade e intensidade são métricas distintas e são apresentadas conjuntamente apenas para comparação descritiva.

3.3. Sinais visíveis de herbivoria

A planilha individual permitiu reconstruir a prevalência mensal de sinais visíveis de herbivoria. Na série ampliada P1-P4, os valores foram 12,40% em fevereiro, 13,16% em março, 13,37% em abril, 13,85% em maio e 15,85% em junho. Para manter composição espacial constante desde janeiro, a série restrita às parcelas P2-P4 apresentou 19,93% em janeiro, 20,62% em fevereiro, 22,18% em março, 22,68% em abril, 22,68% em maio e 26,96% em junho. A diferença sistemática entre as séries mostra que a inclusão da P1 altera o valor agregado e deve ser considerada na interpretação temporal.

Tabela 5. Prevalência mensal de sinais visíveis de herbivoria nas séries ampliada e espacialmente comparável.

Mês	P1-P4 n/N	P1-P4 (%)	P2-P4 n/N	P2-P4 (%)	Interpretação
Janeiro	-	-	58/291	19,93	Cobertura comparável P2-P4
Fevereiro	77/621	12,40	60/291	20,62	Duas séries disponíveis
Março	82/623	13,16	65/293	22,18	Duas séries disponíveis
Abril	83/621	13,37	66/291	22,68	Duas séries disponíveis
Maio	86/621	13,85	66/291	22,68	Duas séries disponíveis
Junho	100/631	15,85	79/293	26,96	Duas séries disponíveis

Fonte: cálculos a partir da base individual do projeto (2026). n: unidades com sinais visíveis; N: observações válidas. A série P2-P4 mantém a mesma composição de parcelas de janeiro a junho; a série P1-P4 está disponível de fevereiro a junho.

Na série P2-P4, o aumento entre janeiro e junho ocorreu de forma gradual, enquanto a série P1-P4 apresentou valores mais baixos em todos os meses comparáveis. Esse contraste não demonstra efeito ambiental causal, mas evidencia que a composição da amostra e o peso numérico da P1 influenciam a estimativa agregada de herbivoria.

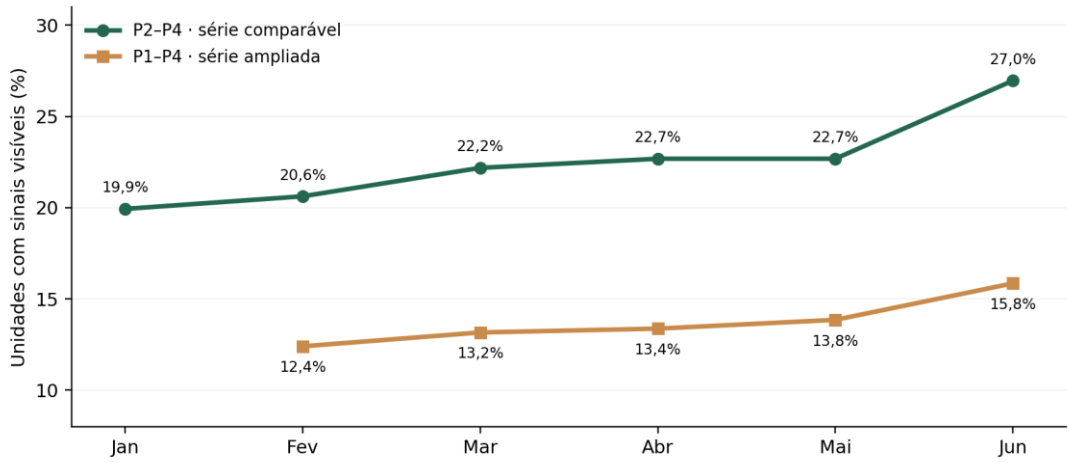

Figura 4. Prevalência mensal de sinais visíveis de herbivoria nas séries P2-P4 e P1-P4, janeiro a junho de 2026.

Fonte: cálculos a partir da base individual do projeto (2026). A série P2-P4 mantém composição espacial constante; a série P1-P4 inicia em fevereiro devido à ausência da P1 em janeiro.

4. Discussão

4.1. Heterogeneidade ambiental e unidade amostral

A P1 representou um baixio com solo encharcado e elevada ocorrência de palmeiras cespitosas, enquanto as parcelas P2 a P4 se situaram em terra firme. Além do contraste ambiental, a contagem de cada estipe como

unidade elevou a densidade nominal da primeira parcela. Assim, a amostra combina árvores lenhosas, palmeiras solitárias e estipes de touceiras. A interpretação ecológica precisa distinguir esses componentes, pois a densidade de caules não é equivalente à densidade de indivíduos genéticos. A coexistência de ambientes e formas de crescimento também pode contribuir para respostas fenológicas distintas, como previsto para comunidades tropicais heterogêneas (van Schaik et al., 1993; Morellato et al., 2016).

A concentração de mais da metade dos registros nominais em uma única parcela faz com que os indicadores P1-P4 reflitam fortemente a contribuição do baixio. A análise de sensibilidade mostrou isso de forma direta: a série de herbivoria restrita às parcelas P2-P4 permaneceu sistematicamente acima da série ampliada P1-P4 nos meses comparáveis. Esse contraste não identifica a causa da diferença, pois ambiente, composição florística e forma de crescimento estão confundidos; demonstra apenas que a composição amostral precisa ser mantida constante para comparações temporais. Além disso, estipes pertencentes à mesma touceira não podem ser presumidos como réplicas biológicas independentes.

As parcelas de terra firme foram descritas em campo como áreas em regeneração secundária, com clareiras associadas à mortalidade de árvores maiores. Entretanto, a classificação sucessional intermediária e a distribuição diamétrica em J-invertido mencionadas no relatório original não puderam ser avaliadas quantitativamente sem as classes de DAP e a composição florística. A ocorrência de estruturas dominadas por indivíduos finos em outros fragmentos urbanos não confirma, por si só, a mesma condição neste remanescente (Sales et al., 2023).

4.*2. Renovação foliar e persistência da cobertura*

A elevada frequência de folhas maduras, associada à ocorrência simultânea de brotação e senescência, é compatível com renovação foliar sem desfolhamento generalizado no intervalo observado. A literatura complementar sobre fragmentos amazônicos reforça que abertura do dossel e microclima de borda podem modificar a renovação foliar e a exposição de tecidos jovens, mas esses mecanismos não foram medidos neste estudo (Nunes et al., 2022). Os escores de Fournier representam classes semiquantitativas da copa e não devem ser convertidos em porcentagem exata de superfície foliar, produtividade ou assimilação de carbono sem medições complementares (Fournier, 1974; Bencke & Morellato, 2002).

Como o estudo não registrou precipitação, temperatura, umidade, déficit de pressão de vapor ou radiação, não é possível atribuir a redução observada em junho à transição sazonal. A literatura sustenta que respostas de "verdejamento" e renovação foliar podem variar entre florestas maduras, secundárias e bordas fragmentadas, inclusive com respostas divergentes sob seca intensa (Saleska et al., 2016; Nunes et al., 2022; Yang et al., 2026).

4.3. Eventos reprodutivos e janela de observação

A estabilidade da frutificação agregada próxima de um quarto das unidades contrasta com a mudança na composição das fases: frutos imaturos diminuíram discretamente, enquanto frutos maduros aumentaram ao longo do período. Esse padrão é compatível com progressão da maturação, mas os dados agregados não demonstram a trajetória de uma mesma coorte de frutos nem permitem datar a floração correspondente. A hipótese de eventos florais anteriores ao início do monitoramento permanece, portanto, uma possibilidade e não uma conclusão temporal específica.

A defasagem entre floração e maturação é esperada em comunidades tropicais, mas sua duração varia entre espécies e estratégias reprodutivas. Estudos fenológicos na Amazônia mostram que a composição florística e a sazonalidade das espécies determinam a distribuição dos eventos ao longo do ano; por isso, médias comunitárias de curto prazo podem ocultar padrões específicos (Alencar et al., 1979; van Schaik et al., 1993; Rego et al., 2007; Morellato et al., 2016). A identificação taxonômica e a repetição por pelo menos um ciclo anual são indispensáveis para interpretar sincronia, duração e periodicidade.

4.4. Sinais de herbivoria e interpretação temporal

A ocorrência de sinais em meses consecutivos demonstra apenas que o dano foi visível durante o monitoramento. Como folhas lesionadas podem permanecer na copa, o mesmo dano pode ser registrado repetidamente. Para inferir novos ataques, seria necessário marcar folhas ou ramos, fotografar as mesmas unidades e medir a variação da área removida. A distinção é relevante porque a severidade pode responder à luz, às defesas foliares e ao distúrbio de modo diferente da simples presença de sinais (Cárdenas et al., 2014; Darrigo et al., 2018; Barreto et al., 2021; Silva et al., 2021).

A métrica utilizada também impede comparações numéricas diretas com estudos que quantificam a área consumida de cada folha. Uma porcentagem de unidades com algum sinal de dano possui denominador e significado distintos de uma porcentagem de tecido foliar perdido. Essa diferença deve ser mantida ao relacionar os resultados com a literatura amazônica e com estudos de incidência e severidade em copas (Vasconcelos, 1999; Barreto et al., 2021).

Os estudos disponíveis não apontam uma direção universal para o efeito da fragmentação. Em alguns sistemas, fragmentos menores apresentaram menor herbivoria; em outros, bordas, exploração ou abertura do dossel aumentaram o dano, e as respostas variaram entre espécies e guildas de herbívoros (Fáveri et al., 2008; Ruíz-Guerra et al., 2010; Darrigo et al., 2018; Garcia et al., 2020; Morante-Filho et al., 2024). Em comunidades tropicais diversas, a especificidade das interações planta–herbívoro também limita generalizações a partir de médias agregadas (Santacruz Endara et al., 2024).

A sincronia de produção de folhas novas pode aumentar a oferta de recurso aos herbívoros, mas não funciona necessariamente como mecanismo de escape. Em comunidades de restinga, picos sincrônicos de emissão foliar estiveram associados a maior consumo, reforçando a necessidade de analisar conjuntamente fenologia, qualidade foliar e composição de insetos (Silva et al., 2024). Para o fragmento da UFAM, essa hipótese somente poderá ser testada com identificação das espécies, quantificação de dano novo e série temporal completa.

4.5. Contexto urbano e efeitos de borda

Estudos fora da Amazônia indicam que urbanização, cobertura arbórea local, superfície impermeável e controle por predadores podem alterar a herbivoria, mas os efeitos variam entre cidades, espécies e guildas. Em alguns contextos, árvores urbanas apresentaram menor dano; em outros, fragmentos urbanos sustentaram maior abundância de insetos desfolhadores e maior risco de predação por aves (Schueller et al., 2019; Long & Frank, 2020; Valdés-Correcher et al., 2022; Quiroga et al., 2026). Esses resultados servem como base conceitual, não como explicação direta para as parcelas da UFAM.

A ausência de dados microclimáticos impede testar o efeito de borda e a transição chuvosa–seca. Ainda assim, a posição das parcelas na borda e a diferença entre baixio e terra firme constituem hipóteses importantes para a continuidade. O monitoramento deverá incorporar sensores de temperatura e umidade, precipitação local, abertura do dossel e estado de inundação. A combinação desses dados com fenologia individual e herbivoria permitirá avaliar mecanismos em vez de apenas coincidências temporais.

4.6. Limitações e continuidade do monitoramento

O período de seis meses não abrange um ciclo anual e não permite estabelecer periodicidade anual ou interanual. A ausência da P1 em janeiro modifica a composição da série ampliada, mas a disponibilidade da base individual permitiu reconstruir uma série espacialmente homogênea P2-P4 para janeiro-junho e recuperar os denominadores mensais dos indicadores. Isso resolve a principal limitação de rastreabilidade dos percentuais, embora não elimine a necessidade de séries mais longas, identificação botânica e variáveis ambientais simultâneas.

A representação de estipes de palmeiras, a heterogeneidade entre baixio e terra firme e a indisponibilidade de identificação botânica restringem a interpretação de padrões comunitários e específicos. A avaliação qualitativa de herbivoria não separa danos antigos de recentes, e a ausência de dados climáticos e edáficos

simultâneos impede testar mecanismos ambientais. Essas limitações definem o alcance descritivo dos resultados, sem invalidar o registro das condições observadas.

Apesar dessas limitações, o estudo oferece uma linha de base e identifica procedimentos prioritários para a próxima campanha. A continuidade deve manter o mesmo conjunto de unidades, registrar observações válidas e ausentes, separar árvores e palmeiras, validar a taxonomia e adotar fotografias repetidas ou folhas marcadas. Métodos consistentes de fenologia são indispensáveis para comparações temporais e espaciais (Fournier, 1974; Bencke & Morellato, 2002; Tang et al., 2016).

Uma etapa seguinte deverá manter simultaneamente as séries P1-P4 e P2-P4, registrar a identidade das espécies, separar árvores de estipes cespitosos e incorporar precipitação, temperatura, umidade, abertura do dossel e estado de inundação. Para herbivoria, o acompanhamento das mesmas folhas ou ramos permitirá distinguir dano novo de lesões persistentes. Modelos futuros poderão considerar a dependência entre visitas repetidas e, quando pertinente, entre estipes de uma mesma touceira.

4.7. Contribuições para pesquisa, ensino e conservação

A consolidação das quatro parcelas, a identificação das unidades e a organização dos registros oferecem infraestrutura de informação reutilizável, embora não tenham envolvido aquisição de equipamentos ou alteração de instalações. O trabalho incluiu capacitação em observação de copas, reconhecimento de fenofases, organização de planilhas e interpretação descritiva. Esses produtos podem apoiar atividades de ensino, educação ambiental e acompanhamento do fragmento; sua aplicação em decisões de manejo exige continuidade e validação da base, e não decorre automaticamente dos percentuais atuais.

5. Conclusões

O monitoramento conjunto das fenofases e dos sinais visíveis de herbivoria estabeleceu uma linha de base reprodutível para o fragmento florestal urbano da UFAM. A coexistência de baixio com elevada representação de palmeiras cespitosas e parcelas de terra firme influencia os indicadores comunitários e exige que a composição amostral seja mantida explícita nas comparações temporais.

A comunidade manteve ampla presença de folhas maduras, associada à renovação simultânea por brotação e senescência, enquanto os eventos reprodutivos apresentaram mudanças na composição das fases de frutificação ao longo do período observado. Os sinais de herbivoria devem ser interpretados como prevalência de dano visível, e não como taxa de consumo ou incidência de novos ataques.

A continuidade do estudo deverá abranger ciclos anuais completos, identificação botânica, denominadores mensais documentados, variáveis microclimáticas e edáficas simultâneas e métodos capazes de distinguir dano foliar recente de lesões persistentes. A manutenção das mesmas unidades e de séries espaciais comparáveis permitirá testar, em etapas futuras, a influência da sazonalidade, do ambiente de borda e da heterogeneidade entre baixio e terra firme.

6. Contribuição dos autores

H.L.P.N.: investigação, coleta e organização dos dados, curadoria da base, análise descritiva e redação da versão inicial. F.M.B.R. e P.M.F.: orientação científica, supervisão, revisão metodológica, interpretação dos resultados e revisão e edição do manuscrito.

7. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC); ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), no ciclo 2025-2026; e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), onde se localizam as parcelas monitoradas.

8. Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

9. Disponibilidade de dados

Os dados individuais utilizados nos cálculos integram a base do projeto de iniciação científica e poderão ser disponibilizados mediante solicitação aos autores, observadas as normas institucionais aplicáveis. Os percentuais apresentados neste manuscrito foram recalculados diretamente dessa base, com exclusão explícita dos códigos de observação indisponível dos respectivos denominadores.

Referências

Albert, L. P., Wu, J., Prohaska, N., de Camargo, P. B., Huxman, T. E., Tribuzy, E. S., Ivanov, V. Y., Oliveira, R. S., Garcia, S., Smith, M., Oliveira Junior, R. C., Restrepo-Coupe, N., da Silva, R., Stark, S. C., Martins, G. A., Penha, D. V., & Saleska, S. R. (2018). Age-dependent leaf physiology and consequences for crown-scale carbon uptake during the dry season in an Amazon evergreen forest. *New Phytologist, 219*(3), 870–884. https://doi.org/10.1111/nph.15056

Aleixo, I. F., Maciel, J. M., Azevedo, M. G., Reis, L. Q., Nascimento, T., Calvi, G. P., Norris, D., & Barbosa, A. P. (2023). *Fenologia: árvores da Amazônia.* Editora INPA. https://doi.org/10.61818/56330471

Alencar, J. C., Almeida, R. A., & Fernandes, N. P. (1979). Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. *Acta Amazonica, 9*, 163–198.

Barreto, J. R., Berenguer, E., Ferreira, J., Joly, C. A., Malhi, Y., Seixas, M. M. M., & Barlow, J. (2021). Assessing invertebrate herbivory in human-modified tropical forest canopies. *Ecology and Evolution, 11*, 4012–4022. https://doi.org/10.1002/ece3.7295

Bencke, C. S. C., & Morellato, L. P. C. (2002). Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas. *Brazilian Journal of Botany, 25*, 269–275. https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000300003

Borchert, R. (1994). Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology, 75*, 1437–1449.

Cárdenas, R. E., Valencia, R., Kraft, N. J. B., Argoti, A., & Dangles, O. (2014). Plant traits predict inter- and intraspecific variation in susceptibility to herbivory in a hyperdiverse Neotropical rain forest tree community. *Journal of Ecology, 102*, 939–952. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12255

Coley, P. D. (1983). Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland tropical forest. *Ecological Monographs, 53*, 209–234.

Darrigo, M. R., Santos, F. A. M., & Venticinque, E. M. (2018). The confounding effects of logging on tree seedling growth and herbivory in Central Amazon. *Biotropica, 50*, 60–68. https://doi.org/10.1111/btp.12483

Doughty, C. E., & Goulden, M. L. (2009). Are tropical forests near a high temperature threshold? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 114*, G00B07. https://doi.org/10.1029/2007JG000632

Ewers, R. M., & Banks-Leite, C. (2013). Fragmentation impairs the microclimate buffering effect of tropical forests. *PLoS ONE, 8*, e58093. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058093

Fáveri, S. B., Vasconcelos, H. L., & Dirzo, R. (2008). Effects of Amazonian forest fragmentation on the interaction between plants, insect herbivores, and their natural enemies. *Journal of Tropical Ecology, 24*, 57–64. https://doi.org/10.1017/S0266467407004592

Fournier, L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba, 24*, 422–423.

Garcia, J. M., Bordignon, A. M., Gonzaga, G. S., & Torezan, J. M. D. (2020). Tree seedling responses to leaf-cutting ants herbivory in Atlantic Forest restoration sites. *Biotropica, 52*, 1246–1256. https://doi.org/10.1111/btp.12808

Long, L. C., & Frank, S. D. (2020). Risk of bird predation and defoliating insect abundance are greater in urban forest fragments than street trees. *Urban Ecosystems, 23*, 519–531. https://doi.org/10.1007/s11252-020-00939-x

Lopes, A. P., Nelson, B. W., Wu, J., Graça, P. M. L. A., Tavares, J. V., Prohaska, N., Martins, G. A., & Saleska, S. R. (2016). Leaf flush drives dry season green-up of the Central Amazon. *Remote Sensing of Environment, 182*, 90–98.

Morante-Filho, J. C., Cruz, C. D., Benchimol, M., Almeida, F. V., & Oliveira, R. A. (2024). Linking changes in landscape structure to insect herbivory in forest edges and interiors of Atlantic Forest remnants. *Ecological Applications, 34*, e3026. https://doi.org/10.1002/eap.3026

Morellato, L. P. C., Alberton, B., Alvarado, S. T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M. G. G., Cancian, L. F., Carstensen, D. W., Escobar, D. F. E., Leite, P. T. P., Mendoza, I., Rocha, N. M. W. B., Soares, N. C., Silva, T. S. F., Staggemeier, V. G., Streher, A. S., Vargas, B. C., & Peres, C. A. (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation, 195*, 60–72. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033

Morton, D. C., Nagol, J., Carabajal, C. C., Rosette, J., Palace, M., Cook, B. D., Vermote, E. F., Harding, D. J., & North, P. R. J. (2014). Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. *Nature, 506*, 221–224. https://doi.org/10.1038/nature13006

Nunes, M. H., Camargo, J. L. C., Vincent, G., Calders, K., Oliveira, R. S., Huete, A., de Moura, Y. M., Nelson, B., Smith, M. N., Stark, S. C., & Maeda, E. E. (2022). Forest fragmentation impacts the seasonality of Amazonian evergreen canopies. *Nature Communications, 13*, 917. https://doi.org/10.1038/s41467-022-28490-7

Quiroga, G., Vázquez-González, C., Rodríguez, V. M., Lago-Núñez, B., Van den Bossche, A., De Frenne, P., Gossner, M. M., Stenberg, J. A., Hylander, K., Tack, A. J. M., Bjørn, M. C., Sam, K., Dobrosavljević, J., Milanović, S., Bonnard, O., Castagneyrol, B., Covelo, F., Abdala-Roberts, L., & Moreira, X. (2026). Bottom-up and top-down drivers influence urbanization effects on insect herbivory in oaks. *Oikos, 2026*, e11751. https://doi.org/10.1002/oik.11751

Rego, G. M., Negrelle, R. R. B., & Morellato, L. P. C. (Eds.). (2007). *Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos.* Embrapa Florestas.

Reich, P. B., Uhl, C., Walters, M. B., Prugh, L., & Ellsworth, D. S. (2004). Leaf demography and phenology in Amazonian rain forest: a census of 40,000 leaves of 23 tree species. *Ecological Monographs, 74*, 3–23.

Ruíz-Guerra, B., Guevara, R., Mariano, N. A., & Dirzo, R. (2010). Insect herbivory declines with forest fragmentation and covaries with plant regeneration mode: evidence from a Mexican tropical rain forest. *Oikos, 119*, 317–325. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17614.x

Sales, D. C. M., Luz, A. L. S., Rodrigues, N., Oliveira, W. K. M., Silva, R. T. L., & Carvalho, J. O. P. (2023). Floristic and phytosociological study of an urban fragment of secondary Amazonian forest in Capitão Poço, Pará. *Revista de Ciências Agroveterinárias, 22*, 733–744. https://doi.org/10.5965/223811712242023733

Saleska, S. R., Wu, J., Guan, K., Araujo, A. C., Huete, A., Nobre, A. D., & Restrepo-Coupe, N. (2016). Dry-season greening of Amazon forests. *Nature, 531*, E4–E5. https://doi.org/10.1038/nature16457

Santacruz Endara, P. G., Lozinguez, A., Valencia, R., Queenborough, S. A., Endara, M. J., Obando-Tello, B., & Couvreur, T. L. P. (2024). Discreet but diverse and specific: determining plant-herbivore interactions across a species-rich plant family in a tropical rain forest. *Biotropica, 57*(1), e13392. https://doi.org/10.1111/btp.13392

Schueller, S. K., Paul, S., Payer, N., Schultze, R., & Vikas, M. (2019). Urbanization decreases the extent and variety of leaf herbivory for native canopy tree species *Quercus rubra*, *Quercus alba*, and *Acer saccharum*. *Urban Ecosystems, 22*, 1177–1188. https://doi.org/10.1007/s11252-019-00866-6

Silva, D. C., Guimarães, Z. T. M., Santos, V. A. H. F., Grandis, A., Palacios, C. E., & Ferreira, M. J. (2021). Herbivory and leaf traits of Amazonian tree species as affected by irradiance. *Plant Biology, 23*, 229–240. https://doi.org/10.1111/plb.13191

Silva, M. M., Boeger, M. R. T., & Melo-Júnior, J. C. F. (2024). Phenological indicators of resources offered to leaf herbivores in restinga communities. *American Journal of Botany*, e16445. https://doi.org/10.1002/ajb2.16445

Tang, J., Körner, C., Muraoka, H., Piao, S., Shen, M., Thackeray, S. J., & Yang, X. (2016). Emerging opportunities and challenges in phenology: a review. *Ecosphere, 7*, e01436. https://doi.org/10.1002/ecs2.1436

Valdés-Correcher, E., Popova, A., Galmán, A., Prinzing, A., Selikhovkin, A. V., Howe, A. G., Mrazova, A., Dulaurent, A.-M., Hampe, A., Tack, A. J. M., Bouget, C., Lupaștean, D., Harvey, D., Musolin, D. L., Lövei, G. L., Centenaro, G., Van Halder, I., Hagge, J., Dobrosavljević, J., . . . Castagneyrol, B. (2022). Herbivory on the pedunculate oak along an urbanization gradient in Europe: effects of impervious surface, local tree cover, and insect feeding guild. *Ecology and Evolution, 12*(3), e8709. https://doi.org/10.1002/ece3.8709

van Schaik, C. P., Terborgh, J. W., & Wright, S. J. (1993). The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics, 24*, 353–377.

Vasconcelos, H. L. (1999). Levels of leaf herbivory in Amazonian trees from different stages in forest regeneration. *Acta Amazonica, 29*, 623–637. https://doi.org/10.1590/1809-43921999294623

Wu, J., Albert, L. P., Lopes, A. P., Restrepo-Coupe, N., Hayek, M., Wiedemann, K. T., Guan, K., Stark, S. C., Christoffersen, B., Prohaska, N., Tavares, J. V., Marostica, S., Kobayashi, H., Ferreira, M. L., Campos, K. S., da Silva, R., Brando, P. M., Dye, D. G., Huxman, T. E., . . . Saleska, S. R. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science, 351*(6276), 972–976. https://doi.org/10.1126/science.aad5068

Yang, X., Tian, J., Ciais, P., Zhou, L., Reich, P. B., Wu, J., Shang, J., Chave, J., Lamour, J., Maréchaux, I., Fu, Y. H., Chen, J. M., Liu, J., Tao, S., Xiao, X., Xu, X., Su, Y., Zhang, H., Zhu, Z., . . . Chen, X. (2026). Amazon rainforests are rejuvenating their canopies by producing more photosynthetically efficient young leaves under climate change. *Nature Plants, 12*(3), 520–531. https://doi.org/10.1038/s41477-026-02240-9