

**TEMPERATURA SUPERA A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA NA
ESTRUTURAÇÃO DE COMUNIDADES DE MAMÍFEROS NA AMAZÔNIA**

RENAN MINISTÉRIO CASTRO

Manaus, Amazonas
2026
RENAN MINSTÉRIO CASTRO

**TEMPERATURA SUPERA A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA NA
ESTRUTURAÇÃO DE COMUNIDADES DE MAMÍFEROS NA AMAZÔNIA**

ORIENTADORA: CLARISSA ROSA

COORIENTADOR: RAFAEL RABELO

Manaus, Amazonas
2026

À memória de Cassia Maria Ministério Castro, minha mãe.
Agradeço, ao meu pai, Josuemar Correa Castro.
Aos meus irmãos, Pablo Ministério Castro e Marlo Ministério Castro.
A minha equipe de trabalho, especialmente à minha irmã Renilce Carvalho de Castro,
Edney Nascimento e Hillary Nascimento.
A todos amigos de turma que colaboraram de alguma forma com minha jornada,
especialmente Alexandre Tyson, José Wonghon e Caio Máx.
Ao Eduardo Geisler, Marcelo Martins e Anderson Losório pelos conselhos e apoio.
A todos e todas que de alguma forma estiverem presentes nessa jornada.
Agradecimentos especiais à minha orientadora Clarissa Rosa
e ao meu coorientador Rafael Rabelo.
Ao corpo docente, secretárias e demais profissionais do
Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia.
Sem vocês, nada disso seria possível.

C355t Castro, Renan Ministério

Temperatura supera a produtividade primária na estruturação de comunidades de mamíferos na Amazônia. / Renan Ministério Castro; orientadora Clarissa Alves da Rosa; coorientador Rafael Magalhães Rabelo. - Manaus : [s.l.], 2026.

6,171 MB

56 p. : il. color.

DOI: <https://doi.org/10.61818/ted26021>

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ecologia) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2026.

1. Variáveis ambientais. 2. Comunidades de mamíferos. 3. Estrutura trófica de mamíferos. I. Rosa, Clarissa Alves da. II. Rabelo, Rafael Magalhães. III. Título.

CDD 599.0981



PG·ECO·INPA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA (ECOLOGIA)

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA (ECOLOGIA) DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.

Aos 28 dias do mês de abril do ano de 2026, às 14h00min, em formato híbrido, sendo presencial na Sala de Aula do PPG-Eco Nº 13, prédio 140, INPA - Campus III, e online por videoconferência, reuniu-se a Comissão Examinadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: a Dr^a. **Kely da Silva Cruz**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, a Dr^a. **Valeria da Cunha Tavares**, do Instituto Tecnológico Vale – ITV, e o Dr. **Pedro Aurélio Costa Lima Pequeno** (INPA), sendo os suplentes o Dr. Fabricio Beggiato Baccaro (INPA) e o Dr. Elmo Pereira da Silva (INPA), sob a presidência da orientadora, a fim de proceder à arguição pública da **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RENAN MINISTERIO CASTRO**, intitulada: **“TEMPERATURA SUPERA A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA NA ESTRUTURAÇÃO DE COMUNIDADES DE MAMÍFEROS NA AMAZÔNIA”**, orientado pela Dr^a. Clarissa Alves da Rosa e coorientado pelo Dr. Rafael Magalhães Rabelo, do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá – IDSM.

Após a exposição, o(a) discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

☒ APROVADO (A) ☐ REPROVADO (A)
☒ POR UNANIMIDADE ☐ POR MAIORIA

Nada mais havendo, a presente ata foi lida, lavrada e assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

DR^a. KELY DA SILVA CRUZ

Documento assinado digitalmente
gov.br KELY DA SILVA CRUZ
Data: 04/05/2026 11:09:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DR^a. VALERIA DA CUNHA TAVARES

Documento assinado digitalmente
gov.br VALERIA DA CUNHA TAVARES
Data: 23/05/2026 18:47:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DR. PEDRO AURÉLIO COSTA LIMA PEQUENO

Documento assinado digitalmente
gov.br PEDRO AURELIO COSTA LIMA PEQUENO
Data: 25/05/2026 11:51:11 0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br BEATRIZ RONCHI TELES
Data: 08/06/2026 18:10:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Coordenação PPG-ECO/INPA)

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA (ECOLOGIA) – PPG ECO
Av. André Araújo, nº 2936, Bairro – Petrópolis, Manaus-AM, CEP: 69.067-375
Site: <http://ppgoinpa.eco.br/index.php/pt-br/> e-mail: ppg.ecologia@posgrad.inpa.gov.br

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO.....	9
Produtividade e temperatura como fatores determinantes na estruturação de comunidades.....	9
Gradientes de produtividade e temperatura na Amazônia.....	10
Mamíferos amazônicos como modelo de estudo	11
Efeitos da produtividade e da temperatura sobre mamíferos.....	11
Importância de armadilhas fotográficas em estudos macroecológicos.....	12
OBJETIVOS.....	13
HIPÓTESES.....	14
REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO 1 - ARTIGO	22
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação dos resultados esperados	30
Figura 2. Distribuição espacial dos dados de mamíferos na Amazônia	31
Figura 3. Relação entre as variáveis resposta riqueza e intensidade do uso do habitat de mamíferos e as variáveis preditoras produtividade primária e temperatura	36
Tabela 1: Efeitos ambientais diretos, efeitos ambientais indiretos e efeitos totais de produtividade primária e temperatura sobre mamíferos na Amazônia.....	38
Figura 4. Relação entre intensidade do uso do habitat relativa de mamíferos de cada guilda trófica (carnívoros, onívoros, insetívoros e herbívoros) com as médias anuais de produtividade primária (PPL) e temperatura.	39
Figura 5. Relação da intensidade de uso do habitat de mamíferos carnívoros com a intensidade de uso do habitat por herbívoros, onívoros e insetívoros	40
Figura 6. Fluxograma dos Modelos de Equações Estruturais. O diagrama representa as relações diretas e indiretas da PPL e da temperatura sobre a intensidade de uso do hábitat pelas diferentes guildas tróficas de mamíferos amazônicos.	41

RESUMO

A compreensão dos processos que estruturam comunidades ecológicas é um dos objetivos centrais da ecologia. Variáveis ambientais, como produtividade primária (PPL) e temperatura, atuam como importantes filtros na composição de espécies. No entanto, ainda são limitados os estudos que investigam a atuação conjunta dessas variáveis em comunidades de mamíferos, sobretudo em amplas escalas. A fim de preencher tal lacuna, utilizamos um extenso banco de dados, coletados por armadilhas fotográficas instaladas ao longo de toda a Pan-Amazônia por diferentes grupos de pesquisa entre 2001 e 2024. Após a curadoria dos dados, contamos com 2272 sítios que obtiveram registros apenas de mamíferos terrestres de médio e grande porte. Correlacionamos as informações de registros de mamíferos com dados das variáveis ambientais PPL e temperatura a fim de avaliar os efeitos diretos e indiretos destas variáveis climáticas sobre a comunidade de mamíferos amazônicos. Para avaliar como a PPL e a temperatura afetam a riqueza de espécies e o uso de habitat por mamíferos, utilizamos modelos aditivos generalizados (GAM) e utilizamos modelos de equações estruturais (SEM) para quantificar e distinguir os efeitos diretos dos efeitos indiretos de ambas as variáveis ambientais. Descobrimos que, diferentemente do esperado, a riqueza de espécies de mamíferos é mais fortemente influenciada pela temperatura do que pela PPL, e que a intensidade de uso do habitat por mamíferos é modulada pela temperatura, e não pela PPL. Além disso, obtivemos que a intensidade de uso do habitat por mamíferos herbívoros, onívoros e carnívoros segue padrões semelhantes ao padrão geral encontrado pela comunidade de mamíferos, com apenas insetívoros apresentando padrão distinto. Nosso trabalho contribui com uma abordagem ainda pouco explorada, revelando que estas variáveis ambientais desencadeiam efeitos indiretos sobre todas as guildas tróficas de mamíferos e que mamíferos carnívoros são os únicos influenciados pelos efeitos indiretos, mediados por relações tróficas. No contexto da tendência de aumento da temperatura global como resposta às mudanças climáticas, entender os mecanismos subjacentes à distribuição de espécies de mamíferos é uma boa forma para realizar projeções futuras mais assertivas.

ABSTRACT

Understanding the processes that structure ecological communities is one of the central goals of ecology. Environmental variables, such as primary productivity (NPP) and temperature, act as important filters shaping species composition. However, studies investigating the combined effects of these variables on mammal communities remain limited, particularly at broad spatial scales. To address this gap, we used an extensive dataset collected from camera traps deployed across the entire Pan-Amazon by different research groups between 2001 and 2024. After data curation, we retained 2,272 sites with records exclusively of medium- and large-sized terrestrial mammals. We correlated mammal occurrence data with environmental variables—NPP and temperature—to assess the direct and indirect effects of these climatic variables on Amazonian mammal communities. To evaluate how NPP and temperature influence species richness and habitat use by mammals, we employed generalized additive models (GAMs), and we used structural equation models (SEMs) to quantify and disentangle the direct and indirect effects of both environmental variables. Contrary to expectations, we found that mammal species richness is more strongly influenced by temperature than by NPP, and that the intensity of habitat use by mammals is modulated by temperature rather than by NPP. Additionally, we observed that the intensity of habitat use by herbivorous, omnivorous, and carnivorous mammals follows patterns similar to those found for the overall mammal community, with only insectivores exhibiting a distinct pattern. Our study contributes to a still underexplored approach, revealing that these environmental variables trigger indirect effects across all trophic guilds of mammals, and that carnivorous mammals are the only group influenced by indirect effects mediated by trophic interactions. In the context of rising global temperatures driven by climate change, understanding the mechanisms underlying mammal species distributions provides a valuable basis for making more accurate future projections.

INTRODUÇÃO

Produtividade e temperatura como fatores determinantes na estruturação de comunidades

Muitos estudos concentram-se em entender como variáveis ambientais estruturam comunidades biológicas. Fatores como temperatura, precipitação e heterogeneidade ambiental, bem como a disponibilidade de energia no sistema e limitações à dispersão, atuam como filtros na distribuição, seleção de habitat e permanência das espécies em um determinado espaço (August et al. 1983; Owen et al. 1990; Graham, Moritz & Williams, 2006; Mittelbach & Schemske, 2015; Sobral et al. 2017; Lasmar et al. 2021). Tais fatores podem operar em diferentes escalas espaciais e temporais, contribuindo para a coexistência de espécies (Mittelbach et al. 2015; Thompson et al. 2020; Münkemüller et al. 2020). No entanto, apesar de amplamente reconhecida, a atuação conjunta dessas variáveis ainda é pouco explorada em escalas mais amplas, com evidências predominantemente restritas a escalas locais (Chuangye, Hongxu & Chong, 2015; Beaudrot et al. 2018) e poucas abordagens que considerem os efeitos cumulativos dessas variáveis e seus reflexos em escalas mais amplas (ver Giam & Olden, 2016).

Considerada uma das principais impulsionadoras da biodiversidade, a produtividade exerce papel central na determinação da riqueza de espécies em uma comunidade (Chase et al. 2010). Em ambientes mais produtivos, a maior produção de biomassa por organismos autotróficos resulta em maior disponibilidade de recursos alimentares, sustentando maior riqueza de espécies (Wright, 1983; Waide et al. 1999; Chase et al. 2010). Em contrapartida, a baixa disponibilidade de alimento em ambientes pouco produtivos pode aumentar as taxas de extinção local e evasão de indivíduos, reduzindo a diversidade de espécies (Carnicer et al. 2007; Holzmann et al. 2025). Entretanto, essa relação não é universal. Estudos demonstram que a riqueza de espécies pode diminuir com o aumento da produtividade (Owen, 1990) ou apresentar um padrão unimodal, com valores máximos em níveis intermediários de produtividade (Tilman, 1982), indicando que a relação entre produtividade e diversidade varia entre sistemas biológicos.

Além da produtividade, a temperatura também desempenha papel fundamental na estruturação de comunidades biológicas (Bohdalková et al. 2021; Townsend & Hildrew, 1994; Díaz & Cabido, 2001; Kraft et al. 2015). As variações térmicas atuam como filtros ambientais que regulam a diversidade de espécies, frequentemente associadas a restrições fisiológicas e ao tamanho corporal (Bergmann, 1848; Porter & Gates, 1969; Fristoe et al. 2015; Riddell et al.

2019). Nesse contexto, ainda há debate sobre a qual variável ambiental determinados processos fisiológicos estão mais associados. Por exemplo, a taxa metabólica de repouso parece estar mais relacionada à temperatura (Anderson & Jetz, 2005) do que à produtividade, como anteriormente sugerido (Mueller & Diamond, 2001). Esses mecanismos fisiológicos, aliados a estratégias comportamentais, modulam o balanço térmico e energético das espécies (Ruperto et al. 2022). Além disso, em animais endotérmicos, os custos energéticos da termorregulação variam conforme o gradiente térmico, influenciando a alocação de energia para crescimento, reprodução e manutenção populacional, com consequências diretas sobre a riqueza de espécies (Evans, Warren & Gaston, 2005; Khaliq et al. 2014).

Gradientes de produtividade e temperatura na Amazônia

A Amazônia, maior bioma de floresta tropical úmida do mundo, apresenta ampla heterogeneidade ambiental. Com variações expressivas em solos, hidrologia e fitofisionomias, o bioma abriga diferentes tipos florestais, como florestas de igapó, terra firme, restinga e matas ripárias, além de apresentar marcada sazonalidade entre estações secas e chuvosas (Herrera et al. 1978; Gonçalves et al. 2022). Essa heterogeneidade promove variações espaciais nas condições climáticas e na disponibilidade de recursos alimentares. Além disso, a Amazônia apresenta elevada produtividade primária líquida (PPL), sobretudo em florestas em estágios sucessionais iniciais ou intermediários (Rödig et al. 2018), altas temperaturas e uma das maiores biodiversidades do planeta (Gonçalves, 2005; Kabat et al. 2012). Por isso, o bioma constitui um sistema particularmente relevante para investigar os efeitos de variáveis climáticas sobre comunidades biológicas.

Nesse contexto, espécies de diferentes grupos taxonômicos respondem de forma distinta aos gradientes ambientais na bacia amazônica. Por exemplo, ambientes mais produtivos podem apresentar maior riqueza de anuros e serpentes, mas menor riqueza de lagartos, enquanto a riqueza desses grupos pode aumentar em ambientes mais quentes (López-Rojas et al. 2025). Em contraste, a diversidade de aves pode ser maior em ambientes com temperaturas mais baixas e menor variação anual, com máximos associados a elevados valores de produtividade (Naka et al. 2020). Apesar desses avanços, os efeitos conjuntos da produtividade e da temperatura sobre a estrutura trófica das comunidades ainda permanecem pouco explorados.

Mamíferos na Amazônia como modelo de estudo

A grande variação em características como tamanho corporal, longevidade, área de vida e tipo de dieta entre espécies de mamíferos (Lacher et al. 2019, Smith & Lyons, 2011) torna esse grupo particularmente adequado para avaliar efeitos ambientais sobre comunidades biológicas. Os mamíferos desempenham funções ecológicas fundamentais (Lacher et al. 2019). Estudos de defaunação experimental utilizando armadilhas fotográficas demonstram que a perda de mamíferos compromete funções ecológicas essenciais, como predação, dispersão de sementes e ciclagem de nutrientes (da Silva Batista et al. 2025; Castro et al. 2026). Mamíferos herbívoros, por exemplo, influenciam a compactação do solo e a estrutura da vegetação (Harrison & Bardgett, 2008; Ripple et al. 2015), regulam populações de plantas (Maron & Crone, 2006) e atuam na dispersão de sementes (Jordano et al. 2011). Já mamíferos carnívoros controlam populações de presas, influenciando a estrutura da comunidade ao longo dos níveis tróficos (Berger & Smith, 2005; Terborgh & Estes, 2013; Ripple et al. 2014).

No Brasil, são registradas atualmente 790 espécies de mamíferos (Abreu et al. 2025), das quais cerca de 400 ocorrem na Amazônia, com elevada proporção de endemismo, tornando este o bioma com maior diversidade de mamíferos no país (Paglia et al. 2012). Essa diversidade está associada à riqueza vegetal e à biomassa arbórea, contribuindo para processos como o armazenamento de carbono no solo (Sobral et al. 2017).

A composição de espécies de mamíferos também é influenciada pela sazonalidade. Na Amazônia, em florestas de terra firme e várzea, a riqueza pode ser semelhante, mas a maior produtividade em terra firme está associada a maior abundância e biomassa, especialmente de espécies frugívoras e granívoras (Gonçalves et al. 2022). Em florestas sazonalmente secas, há maior predominância de mamíferos terrestres, possivelmente devido à necessidade de percorrer maiores distâncias em ambientes com menor disponibilidade de recursos (Pontes, 2004).

Efeitos da produtividade e da temperatura sobre mamíferos

Estudos em gradientes altitudinais indicam que a riqueza de mamíferos tende a ser maior em ambientes mais produtivos e que guildas tróficas respondem de maneira distinta à produtividade e à temperatura (Gebert et al. 2019; Lasmar et al. 2021). Em geral, estudos locais apontam maior influência da produtividade do que da temperatura (Adkins et al. 2023). No entanto, análises em escala local podem subestimar certos efeitos, especialmente em grandes carnívoros, devido à sua baixa densidade populacional e grande área de vida (Carbone & Gittleman, 2002). Em contraste, estudos multitaxa em escala mais ampla indicam a temperatura

como principal preditor da riqueza de espécies (Peters et al. 2016), sugerindo que diferenças entre estudos podem refletir variações de escala, bioma ou abordagem analítica.

Além disso, os efeitos ambientais podem atuar de forma indireta. A produtividade em florestas tropicais é sensível a variações térmicas (Pau et al. 2018), e a temperatura pode atuar como determinante da produtividade na Amazônia (Li et al. 2022). Dessa forma, efeitos indiretos mediados pela produtividade podem se propagar ao longo dos níveis tróficos (Stoner et al. 2018; Gebert et al. 2019).

Nesse contexto, níveis tróficos superiores tendem a ser mais impactados, evidenciando a dependência de predadores em relação às suas presas (Hirt et al. 2020; Rabe et al. 2025). Por outro lado, insetívoros podem responder mais diretamente à produtividade e à temperatura devido à disponibilidade de artrópodes em ambientes mais quentes e produtivos (Lasmar et al. 2021). Já onívoros, por apresentarem dieta generalista, podem ser mais limitados por tolerâncias térmicas do que pela disponibilidade de recursos específicos.

Apesar desses avanços, ainda há lacunas importantes sobre como produtividade e temperatura atuam conjuntamente, direta e indiretamente, na estruturação da comunidade de mamíferos em escalas amplas.

Importância das armadilhas fotográficas em estudos macroecológicos

Estudos em escalas biogeográficas com mamíferos foram, por muito tempo, limitados pela dificuldade de obtenção de dados por métodos tradicionais, como rastros, fezes, transectos lineares e observação direta (Voss & Emmons, 1996). A crescente utilização de armadilhas fotográficas tem ampliado significativamente a disponibilidade de dados sobre mamíferos (Tobler et al. 2008). Esse método é eficiente, relativamente econômico e aplicável a diferentes escalas espaciais e temporais (Lyra-Jorge et al. 2008), sendo especialmente útil para mamíferos terrestres de médio e grande porte.

Armadilhas fotográficas permitem investigar padrões de distribuição, atividade, composição de espécies, riqueza relativa e densidade populacional (Gómez et al. 2005; Maffei, Cuellar & Noss, 2002; Trolle et al. 2007; Hofmeester, Mos & Zub, 2024; Ariyanto et al. 2024; Harmsen et al. 2024). Além disso, a padronização metodológica possibilita a integração de dados em grandes bancos, viabilizando análises em escala regional e macroecológica. Nesse sentido, o uso de um banco de dados amplo e padronizado permite avaliar com maior robustez as relações entre variáveis climáticas e comunidades de mamíferos, contribuindo para análises com maior poder estatístico e abrangência espacial.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Nosso principal objetivo foi avaliar como a produtividade primária líquida (PPL) e a temperatura afetam a comunidade de mamíferos de médio e grande porte na Amazônia, considerando seus efeitos diretos e indiretos, mediados pela PPL e pelas relações tróficas, em cada guilda.

Objetivos Específicos

- (i) Medir os efeitos diretos da produtividade e da temperatura sobre a riqueza e uso do habitat pelos mamíferos;
- (ii) Medir os efeitos diretos da produtividade e da temperatura sobre o uso do habitat por cada guilda trófica;
- (iii) Medir os efeitos indiretos da temperatura, mediados pela produtividade, sobre o uso de habitat por herbívoros, onívoros e insetívoros, bem como se a variação no uso de habitat desses grupos (como potenciais presas) está associada ao uso de habitat por mamíferos carnívoros.

HIPÓTESES

Nossas hipóteses são que:

- (i) a riqueza de espécies e a intensidade de uso do habitat pela comunidade de mamíferos aumentam em ambientes mais produtivos, mas sofrem pouca influência direta da baixa variação térmica entre ecossistemas amazônicos;
- (ii) herbívoros e insetívoros utilizam com mais intensidade ambientes mais quentes e produtivos, devido à maior disponibilidade de recursos alimentares; ao passo que, por apresentarem dietas generalistas, o uso do habitat por mamíferos onívoros é modulado pelos limites de tolerância térmica, e não pela disponibilidade de recursos alimentares específicos; já carnívoros utilizam ambientes mais quentes e produtivos com maior intensidade, onde há maior disponibilidade de potenciais presas;
- iii) os efeitos ambientais indiretos são mais fracos que os efeitos ambientais diretos em mamíferos herbívoros, onívoros e insetívoros, ao passo que mamíferos carnívoros são mais fortemente influenciados pelos efeitos ambientais indiretos, mediados pelas interações tróficas do que pelos efeitos ambientais diretos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Edson F. et al. Lista de Mamíferos do Brasil [dataset]. **Zenodo**, 2025. DOI: 10.5281. Disponível em: <https://zenodo.org/records/18378485>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- ADKINS, Jaron et al. Environmental variables drive spatial patterns of trophic diversity in mammals. **Ecology letters**, [Hoboken], v. 26, n. 11, p. 1940-1950, 2023. DOI: 10.1111/ele.14306. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.14306>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- ANDERSON, Kristina J. & JETZ, Walter. The broad-scale ecology of energy expenditure of endotherms. **Ecology Letters**, [Hoboken], v. 8, n. 3, p. 310-318, 2005. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00723.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2005.00723.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- ARIYANTO, Andhika C. et al. Range-wide camera traps reveal potential prey species for Javan leopards. **Global Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 53, p. e03020, 2024. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e03020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989424002245>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- AUGUST, Peter V. The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. **Ecology**, [S. l.], v. 64, n. 6, p. 1495-1507, 1983. DOI: 10.2307/1937504. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1937504>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- BEAUDROT, Lydia et al. Local temperature and ecological similarity drive distributional dynamics of tropical mammals worldwide. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 28, n. 7, p. 976-991, 2019. DOI: 10.1111/geb.12908. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/GEB.12908>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- BERGER, Joel & SMITH, Douglas. W. Restoring functionality in Yellowstone with recovering carnivores: gains and uncertainties. In: BERGER, J.; SMITH, D. W. **Restoration ecology**. Washington: Island Press, 2005. p. 100–109.
- BERGMANN, Carl. **Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse**. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1848.
- BOHDALKOVÁ, Eliška et al. Universality in biodiversity patterns: variation in species–temperature and species–productivity relationships reveals a prominent role of productivity in diversity gradients. **Ecography**, Lund, v. 44, n. 9, p. 1366-1378, 2021. DOI: 10.1111/ecog.05613. Disponível em: <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecog.05613>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- CARBONE, Chris & GITTLEMAN, John L. A common rule for the scaling of carnivore density. **Science**, Washington, D.C., v. 295, n. 5563, p. 2273-2276, 2002. DOI: 10.1126/science.1067994. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1067994>. Acesso em: 25 mar. 2025.

CASTRO, Arlison et al. Animal–Plant Interactions Under Defaunation: Consequences for Amazonian Trees of Commercial Interest. **Biotropica**, [S. l.], v. 58, n. 2, p. e70183, 2026. DOI: 10.1111/btp.70183. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/btp.70183>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CHASE, Jonathan M. Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. **Science**, [S. l.], v. 328, n. 5984, p. 1388-1391, 2010. DOI: 10.1126/science.1187. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1187820>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CHUANGYE, Song; HONGXU, Ren & CHONG, Huang. Test the relative importance of biotic and abiotic factors on species distribution—A case study in the Yellow River Delta. **Acta Ecologica Sinica**, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 59-64, 2015. DOI: 10.1016/j.chnaes.2015.04.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203215000220>. Acesso em: 25 mar. 2026.

DA SILVA BATISTA, Gabriela et al. Defaunation disrupts the behavior of large terrestrial vertebrates, impacting ecological functions in the Amazon. **Global Ecology and Conservation**, Amsterdam, v. 59, p. e03522, 2025. DOI: 10.1016/j.gecco.2025.e03522. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989425001234>. Acesso em: 25 mar. 2026.

DÍAZ, Sandra; CABIDO, Marcelo. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in ecology & evolution**, [S. l.], v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001. DOI: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(01\)02283-2](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(01)02283-2). Acesso em: 25 mar. 2026.

EVANS, Karl L.; WARREN, Philip H. & GASTON, Kevin J. Species–energy relationships at the macroecological scale: a review of the mechanisms. **Biological Reviews**, Cambridge v. 80, n. 1, p. 1-25, 2005. DOI: 10.1017/S1464793104006517. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/biological-reviews/article/abs/speciesenergy-relationships-at-the-macroecological-scale-a-review-of-the-mechanisms/9C4B9099646F04A6B1ABFA31B65268D4>. Acesso em 25 mar 2026.

FRISTOE, Trevor S. et al. Metabolic heat production and thermal conductance are mass-independent adaptations to thermal environment in birds and mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 112, n. 52, p. 15934-15939, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1521662112. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1521662112>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GEBERT, Friederike et al. Primary productivity and habitat protection predict elevational species richness and community biomass of large mammals on Mt. Kilimanjaro. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 88, n. 12, p. 1860-1872, 2019. DOI: 10.1111/1365-2656.13074. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.13074>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GIAM, Xingli & OLDEN, Julian D. Environment and predation govern fish community assembly in temperate streams. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 25, n. 10, p.

1194-1205, 2016. DOI: 10.1111/geb.12475. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12475>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GONÇALVES, André L.S. et al. Composition of terrestrial mammal assemblages and their habitat use in unflooded and flooded blackwater forests in the Central Amazon. **PeerJ**, London v. 10, p. e14374, 2022. DOI: 10.7717/peerj.14374. Disponível em: <https://peerj.com/articles/14374/>. Acesso em 25 mar. 2026

GONÇALVES, Carlos W. P. **Amazônia, Amazônias**. São Paulo: Contexto, 2005. 179 p.

GÓMEZ, Humberto et al. Dry season activity periods of some Amazonian mammals. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, London, v. 40, n. 2, p. 91-95, 2005. DOI: 10.1080/01650520500129638. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01650520500129638>. Acesso em: 25 mar. 2026

GRAHAM, Catherine H.; MORITZ, Craig & WILLIAMS, Stephen E. Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 103, n. 3, p. 632-636, 2006. DOI: 10.1073/pnas.0505754103. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0505754103>. Acesso em: 25 mar. 2026.

HARRISON, Kathryn A. & BARDGETT, Richard D. Impacts of grazing and browsing by large herbivores on soils and soil biological properties. In: **The ecology of browsing and grazing**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 201-216. DOI: 10.1007/978-3-540-72422-3_8. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72422-3_8. Acesso em: 25 mar. 2026.

HARMSSEN, Bart J. et al. Estimating species distribution from camera trap by-catch data, using jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*) as an example. **Diversity and Distributions**, [S. l.], v. 30, n. 10, p. e13831, 2024. DOI: 10.1111/ddi.13831. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ddi.13831>. Acesso em: 25 mar. 2026.

HERRERA, Rafael et al. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciencia**, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 223-231, 1978.

HIRT, Myriam R. et al. Rethinking trophic niches: Speed and body mass colimit prey space of mammalian predators. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. 7094-7105, 2020. DOI: 10.1002/ece3.6411. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6411>. Acesso em: 25 mar. 2026.

HOFMEESTER, Tim R.; MOS, Jeroen & ZUB, Karol. Comparing direct (live-trapping) and indirect (camera-trapping) approaches for estimating the abundance of weasels (*Mustela nivalis*). **Mammalian Biology**, [S. l.], v. 104, n. 2, p. 141-149, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.10512568. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42991-023-00394-z>. Acesso em: 25 mar. 2026.

JORDANO, Pedro et al. Frugivores and seed dispersal: mechanisms and consequences for biodiversity of a key ecological interaction. **Biology Letters**, London, v. 7, n. 3, p. 321-323, 2011. DOI: 10.1098/rsbl.2010.0986. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rsbl/article->

abstract/7/3/321/48890/Frugivores-and-seed-dispersal-mechanisms-and?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 25 mar. 2026.

KABAT, Pavel et al. (Ed.). **Vegetation, water, humans and the climate: A new perspective on an interactive system**. [Dordrecht]: Springer Science & Business Media, 2012.

KHALIQ, Imran et al. Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, [Dordrecht], v. 281, n. 1789, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.1097. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rspb/article-abstract/281/1789/20141097/77219/Global-variation-in-thermal-tolerances-and?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 25 mar. 2026.

KRAFT, Nathan JB et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional ecology**, London, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015. DOI: 10.1111/1365-2435.12345. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2435.12345>. Acesso em: 25 mar. 2026

LASMAR, Chaim J. et al. Temperature and productivity distinctly affect the species richness of ectothermic and endothermic multitrophic guilds along a tropical elevational gradient. **Oecologia**, [Berlin, Heidelberg], v. 197, n. 1, p. 243-257, 2021. DOI: 10.1007/s00442-021-05011-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-021-05011-9>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LACHER, Thomas E. et al. The functional roles of mammals in ecosystems. **Journal of mammalogy**, Oxford, v. 100, n. 3, p. 942-964, 2019. DOI: 10.1093/jmammal/gyy183. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article-abstract/100/3/942/5498004?login=false>. Acesso em: 25 mar. 2026

LI, Luyi et al. Exploring the individualized effect of climatic drivers on MODIS net primary productivity through an explainable machine learning framework. **Remote Sensing**, Basel, v. 14, n. 17, p. 4401, 2022. DOI: 10.3390/rs14174401. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/17/4401>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LÓPEZ-ROJAS, Jhon Jairo et al. Drivers of species richness in Amazonian amphibians and reptiles: testing diversity hypotheses across taxonomic groups. **Oikos**, Lund, p. e11319, 2025. DOI: 10.1002/oik.11319. Disponível em: <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/oik.11319>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LYRA-JORGE, Maria Carolina et al. Comparing methods for sampling large-and medium-sized mammals: camera traps and track plots. **European Journal of Wildlife Research**, [Berlin, Heidelberg] v. 54, n. 4, p. 739-744, 2008. DOI: 10.1007/s10344-008-0205-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10344-008-0205-8>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MAFFEI, Leonardo; CUELLAR, Erika & NOSS, A. Uso de trampas-cámara para la evaluación de mamíferos en el ecotono Chaco-Chiquitanía. **Revista boliviana de ecología y conservación ambiental**, [S. l.] v. 11, n. 1, p. 55-65, 2002.

MARON, John L. & CRONE, Elizabeth. Herbivory: effects on plant abundance, distribution and population growth. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 273, n. 1601, p. 2575-2584, 2006. DOI: 10.1098/rspb.2006.3587. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rspb/article-abstract/273/1601/2575/76340/Herbivory-effects-on-plant-abundance-distribution?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 25 mar. 2026

MUELLER, Pamela & DIAMOND, Jared. Metabolic rate and environmental productivity: well-provisioned animals evolved to run and idle fast. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 98, n. 22, p. 12550-12554, 2001. DOI: 10.1073/pnas.221456698. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.221456698>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MÜNKEMÜLLER, Tamara et al. Dos and don'ts when inferring assembly rules from diversity patterns. **Global Ecology and Biogeography**, [Haboken], v. 29, n. 7, p. 1212-1229, 2020. DOI: 10.1111/geb.13098. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.13098>. Acesso em: 25 mar. 2026.

NAKA, Luciano N. et al. Climate as a major driver of avian diversity in riparian Amazonian habitats along an environmental gradient. **Journal of Biogeography**, [Haboken], v. 47, n. 11, p. 2328-2340, 2020. DOI: 10.1111/jbi.13957. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jbi.13957>. Acesso em: 25 mar. 2026.

OWEN, James G. Patterns of mammalian species richness in relation to temperature, productivity, and variance in elevation. **Journal of mammalogy**, Oxford, v. 71, n. 1, p. 1-13, 1990. DOI: 10.2307/1381311. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article-abstract/71/1/1/984468?login=false>. Acesso em: 25 mar. 2026

PAGLIA, Adriano et al. *Lista anotada dos mamíferos do Brasil / Annotated checklist of Brazilian mammals*. 2. ed. Arlington, VA: **Conservation International**, 2012. (Occasional papers in conservation biology, n. 6). 76 p.

PAU, Stephanie et al. Tropical forest temperature thresholds for gross primary productivity. **Ecosphere**, [S. L.] v. 9, n. 7, p. e02311, 2018. DOI: 10.1002/ecs2.2311. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.2311>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PETERS, Marcell K. et al. Predictors of elevational biodiversity gradients change from single taxa to the multi-taxa community level. **Nature communications**, London, v. 7, n. 1, p. 13736, 2016. DOI: 10.1038/ncomms13736. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms13736>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PONTES, Antonio R. M. Ecology of a community of mammals in a seasonally dry forest in Roraima, Brazilian Amazon. **Mammalian Biology**, Amsterdam, v. 69, n. 5, p. 319-336, 2004. DOI: 10.1078/1616-5047-00151. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1616504704701317>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PORTER, Warren P. & GATES, David M. Thermodynamic equilibria of animals with environment. **Ecological monographs**, Washington, D. C., v. 39, n. 3, p. 227-244, 1969. DOI: 10.2307/1948545. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1948545>. Acesso em: 26 mar. 2026.

RABE, Jack W. et al. Prey size mediates interference competition and predation dynamics in a large carnivore community. **Communications biology**, London, v. 8, n. 1, p. 424, 2025. DOI: 10.1038/s42003-025-07779-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s42003-025-07779-5>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RIDDELL, Eric A. et al. Cooling requirements fueled the collapse of a desert bird community from climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [St Louis], v. 116, n. 43, p. 21609-21615, 2019. DOI: 10.1073/pnas.1908791111. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1908791111>. Acesso em 25 mar. 2026.

RIPPLE, William J. et al. Trophic cascades from wolves to grizzly bears in Yellowstone. **Journal of Animal Ecology**, [S. l.], v. 83, n. 1, p. 223-233, 2014. DOI: 10.1111/1365-2656.12123. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.12123>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RIPPLE, William J. et al. Collapse of the world's largest herbivores. **Science advances**, Washington, D. C., v. 1, n. 4, p. e1400103, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400103. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1400103>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RÖDIG, Edna et al. The importance of forest structure for carbon fluxes of the Amazon rainforest. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, p. 054013, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aabc61. Acesso em: 18 mai. 2026.

RUPERTO, Emmanuel Fabián et al. Behavioral plasticity in two endemic rodents from the Andes Mountains: strategies for thermal and energetic balance. **Mammalian Biology**, [S. l.], v. 102, n. 5, p. 1661-1671, 2022. DOI: 10.1007/s42991-022-00263-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42991-022-00263-1>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SOBRAL, Mar et al. Mammal diversity influences the carbon cycle through trophic interactions in the Amazon. **Nature ecology & evolution**, [S. l.], v. 1, n. 11, p. 1670-1676, 2017. DOI: 10.1038/s41559-017-0334-0. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0334-0>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SMITH, Felisa A. & LYONS, S. Kathleen. How big should a mammal be? A macroecological look at mammalian body size over space and time. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [London] v. 366, n. 1576, p. 2364-2378, 2011. DOI: 10.1098/rstb.2011.0067. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article-abstract/366/1576/2364/21624/How-big-should-a-mammal-be-A-macroecological-look?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 25 mar. 2026.

STONER, David C. et al. Climatically driven changes in primary production propagate through trophic levels. **Global Change Biology**, [Hoboken], v. 24, n. 10, p. 4453-4463, 2018. DOI: 10.1111/gcb.14364. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14364>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TERBORGH, John & ESTES, James A. (Ed.). **Trophic cascades: predators, prey, and the changing dynamics of nature**. Island press, 2013.

TILMAN, David. The resource-ratio hypothesis of plant succession. **The American Naturalist**, Chicago, v. 125, n. 6, p. 827-852, 1985. DOI: 10.1086/284382. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/284382>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TOBLER, Mathias W. et al. An evaluation of camera traps for inventorying large-and medium-sized terrestrial rainforest mammals. **Animal conservation**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 169-178, 2008. DOI: [10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x). Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TOWNSEND, Colin R. & HILDREW, Alan G. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. **Freshwater biology**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 265-275, 1994. DOI: [10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TROLLE, Mogens et al. Camera-trap studies of maned wolf density in the Cerrado and the Pantanal of Brazil. In: **Vertebrate conservation and biodiversity**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. p. 371-378. DOI: 10.1007/978-1-4020-6320-6_24. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-6320-6_24. Acesso em: 25 mar. 2026.

VOSS, Robert S. & EMMONS, Louise. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. **Bulletin of the AMNH**, [New York] no. 230. 1996. Disponível em: <https://digitallibrary.amnh.org/items/4b92acf3-41cf-4e22-aebb-ffde55fbc374>. Acesso em: 25 mar. 2026.

WAIDE, R. B. et al. The relationship between productivity and species richness. **Annual review of Ecology and Systematics**, [S. l.] v. 30, n. 1, p. 257-300, 1999. DOI: [10.1146/annurev.ecolsys.30.1.257](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.257). Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.257>. Acesso em: 25 mar. 2026.

WRIGHT, David Hamilton. Species-energy theory: an extension of species-area theory. **Oikos**, [Hoboken], p. 496-506, 1983. DOI: 10.2307/3544109. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3544109>. Acesso em: 25 mar. 2026.

YANG, Te et al. Soil moisture dominates the severe decline in gross primary productivity during a 2023–2024 compound heatwave-drought event over the Amazon. **Environmental Research Letters**, [Bristol], v. 20, n. 3, p. 034024, 2025. DOI: [10.1088/1748-9326/adb0e1](https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb0e1). Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/adb0e1/meta>. Acesso em: 25 mar. 2026.

A temperatura supera a produtividade na estruturação das comunidades de mamíferos amazônicos

Renan Ministério Castro^{1,2*}, Rafael M. Rabelo^{1,2,3}, Carlos Alberto Rodrigues-Filho^{1,2,3}, Allan Delon da Costa Bruce³, Ana Carolina Antunes⁴, Anamélia S. Jesus³, André Luis Sousa Gonçalves¹, André Pinassi Antunes⁵, Anelise Montanarin^{1,6}, Arlison Bezerra Castro^{1,7}, Carlos Cesar Durigan⁸, Carlos R. Brocardo⁹, Chaim José Lasmar¹⁰, Dayse Swelen da Silva Ferreria^{1,5}, Dian Carlos Pinheiro Rosa⁷, Domingos de Jesus Rodrigues¹¹, Edney Matos do Nascimento^{1,2}, Gabriela Rodrigues Longo¹², Karl Didier¹³, Luan G. A. Goebel^{14,15}, Lucian Veras Canto¹, Manoel dos Santos-Filho¹⁵, Marcela Alvares Oliveira¹⁶, Marcos Penhacek¹⁷, Maria Madaleno Salviano Saltana¹, Patrick Ribeiro Sanches⁶, Raul Afonso Pommer-Barbosa¹⁶, Renilce Carvalho de Castro^{1,2}, Rodrigo Fadini⁷, Rogério José Custódio¹¹, Wilson Roberto Spironello¹, Clarissa Rosa^{1,2}

Submetido a Diversity and Distributions

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Programa de Pós-Graduação em Ecologia., Av. André Araújo 2936, Petrópolis, 69055-010 Manaus, Amazonas, Brazil.

²Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica (CENBAM), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil.

³Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), Estrada do Bexiga, 2584, Bairro Fonte Boa, 69553-225 Tefé, Amazonas, Brazil

⁴German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Germany and Leipzig University, Puschstrasse 4, 04103 Leipzig, Germany

⁵Rede de Pesquisa em Diversidade, Conservação e uso da Fauna da Amazônia (RedeFauna), 69022-190 Manaus, Amazonas, Brazil

⁶Grupo de Pesquisa em Ecologia e Conservação de Felinos na Amazônia, Mamirauá Institute for Sustainable Development (MISD), Estrada do Bexiga, 2584, Tefé, AM, Brazil

⁷Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Biodiversidade e Florestas Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, Pará, Brazil

⁸Associação Conservação da Vida Silvestre (WCS), Rua Marquês de Vila Real da Praia Grande, 1050, Flores, 69058-100 Manaus, Amazonas, Brazil

⁹Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Rodovia BR-158, km 405, 85301-970, Laranjeiras do Sul, Paraná, Brazil

¹⁰Instituto Nacional da Mata Atlântica, Santa Teresa – ES, Brazil

¹¹Universidade Federal de Mato Grosso (UFMG), Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, 78060-900 Cuiabá, MT, Brazil

¹²Instituto de Conservação de Animais Silvestres (ICAS), Rua Georges Sleiman Abdalla, 38, Bairro Jardim Monte Líbano, 79004-230 Campo Grande, MS, Brazil

¹³Wildlife Conservation Society (WCS) Southern Blvd, Bronx, 2300, NY 10460, EUA

¹⁴Laboratório de Ecologia e Zoologia de Vertebrados (LABEV), Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PPGECO), Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Bairro Guamá, 66075-110, Belém, PA, Brazil

¹⁵Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Avenida Santos Dumont, s/n, Cidade Universitária (Bloco II), 78200-001, Cáceres, MT, Brazil

¹⁶Programa de Pós-graduação em Conservação e Uso de Recursos Naturais, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rodovia BR-364, s/n, km 9,5, Porto Velho, 76801-059, RO, Brazil

¹⁷Universidade Federal de Mato Grosso (UFMG), Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, 78060-900 Cuiabá, MT, Brazil

¹⁸Grupo de Pesquisa Ornitologia e Biodiversidade Amazônica, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rodovia BR-364, s/n, km 9,5, Porto Velho, 76801-059, RO, Brazil

Temperature overrides productivity in structuring Amazonian mammal communities

Renan Ministério Castro^{1,2*}, Rafael M. Rabelo^{1,2,3}, Carlos Alberto Rodrigues-Filho^{1,2,3}, Allan Delon da Costa Bruce³, Ana Carolina Antunes⁴, Anamélia S. Jesus³, André Luis Sousa Gonçalves¹, André Pinassi Antunes⁵, Anelise Montanarin^{1,6}, Arlison Bezerra Castro^{1,7}, Carlos Cesar Durigan⁸, Carlos R. Brocardo⁹, Chaim José Lasmar¹⁰, Dayse Swelen da Silva Ferreria^{1,5}, Dian Carlos Pinheiro Rosa⁷, Domingos de Jesus Rodrigues¹¹, Edney Matos do Nascimento^{1,2}, Gabriela Rodrigues Longo¹², Karl Didier¹³, Luan G. A. Goebel^{14,15}, Lucian Veras Canto¹, Manoel dos Santos-Filho¹⁵, Marcela Alvares Oliveira¹⁶, Marcos Penhacek¹⁷, Maria Madaleno Salviano Saltana¹, Patrick Ribeiro Sanches⁶, Raul Afonso Pommer-Barbosa¹⁶, Renilce Carvalho de Castro^{1,2}, Rodrigo Fadini⁷, Rogério José Custódio¹¹, Wilson Roberto Spironello¹, Clarissa Rosa^{1,2}

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Programa de Pós-Graduação em Ecologia., Av. André Araújo 2936, Petrópolis, 69055-010 Manaus, Amazonas, Brazil.

²Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica (CENBAM), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil.

³Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSMA), Estrada do Bexiga, 2584, Bairro Fonte Boa, 69553-225 Tefé, Amazonas, Brazil

⁴German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Germany and Leipzig University, Puschstrasse 4, 04103 Leipzig, Germany

⁵Rede de Pesquisa em Diversidade, Conservação e uso da Fauna da Amazônia (RedeFauna), 69022-190 Manaus, Amazonas, Brazil

⁶Grupo de Pesquisa em Ecologia e Conservação de Felinos na Amazônia, Mamirauá Institute for Sustainable Development (MISD), Estrada do Bexiga, 2584, Tefé, AM, Brazil

⁷Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Biodiversidade e Florestas Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, Pará, Brazil

⁸Associação Conservação da Vida Silvestre (WCS), Rua Marquês de Vila Real da Praia Grande, 1050, Flores, 69058-100 Manaus, Amazonas, Brazil

⁹Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Rodovia BR-158, km 405, 85301-970, Laranjeiras do Sul, Paraná, Brazil

¹⁰Instituto Nacional da Mata Atlântica, Santa Teresa – ES, Brazil

¹¹Universidade Federal de Mato Grosso (UFMG), Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, 78060-900 Cuiabá, MT, Brazil

¹²Instituto de Conservação de Animais Silvestres (ICAS), Rua Georges Sleiman Abdalla, 38, Bairro Jardim Monte Líbano, 79004-230 Campo Grande, MS, Brazil

¹³Wildlife Conservation Society (WCS) Southern Blvd, Bronx, 2300, NY 10460, EUA

¹⁴Laboratório de Ecologia e Zoologia de Vertebrados (LABEV), Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PPGECO), Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Bairro Guamá, 66075-110, Belém, PA, Brazil

¹⁵Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Avenida Santos Dumont, s/n, Cidade Universitária (Bloco II), 78200-001, Cáceres, MT, Brazil

¹⁶Programa de Pós-graduação em Conservação e Uso de Recursos Naturais, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rodovia BR-364, s/n, km 9,5, Porto Velho, 76801-059, RO, Brazil

¹⁷Universidade Federal de Mato Grosso (UFMG), Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, 78060-900 Cuiabá, MT, Brazil

¹⁸Grupo de Pesquisa Ornitologia e Biodiversidade Amazônica, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rodovia BR-364, s/n, km 9,5, Porto Velho, 76801-059, RO, Brazil

RESUMO

Ainda que fatores ambientais, como produtividade e temperatura, sejam determinantes na estruturação de comunidades, pouco se sabe sobre a atuação conjunta desses fatores, sobretudo em amplas escalas. A fim de preencher tal lacuna, utilizamos um extenso banco de dados de registros de mamíferos terrestres de médio e grande porte, coletados por armadilhas fotográficas instaladas ao longo de 2272 sítios distribuídos na Pan-Amazônia, para investigar o papel modulador da temperatura e da produtividade como determinantes na distribuição de espécies. Relacionamos os dados de registros de mamíferos com os dados das médias anuais de produtividade primária líquida (PPL) e temperatura, a fim de avaliar a influência destas variáveis ambientais na riqueza, intensidade de uso do habitat e estrutura trófica da comunidade. A partir das análises de modelos aditivos generalizados (GAM), revelamos que a riqueza de espécies é mais fortemente influenciada pela temperatura do que pela PPL, e que o uso de habitat é modulado apenas pela temperatura, e não pela disponibilidade de alimento. Paralelamente, encontramos padrões semelhantes na intensidade de uso do habitat por mamíferos herbívoros, onívoros e carnívoros. Para quantificar e distinguir os efeitos ambientais diretos dos efeitos ambientais indiretos utilizamos modelagem de equações estruturais (SEM). Descobrimos que os efeitos indiretos da temperatura, mediados pela PPL, impactam todas as guildas tróficas de mamíferos e que os efeitos ambientais indiretos, mediados pelo uso de habitat por herbívoros, impactam os carnívoros. Nesse sentido, nosso trabalho contribui com uma abordagem integrada ainda pouco explorada entre fatores ambientais e os níveis tróficos da comunidade de mamíferos na Amazônia. No contexto de tendência de aumento da temperatura global como resposta às mudanças climáticas, entender os mecanismos subjacentes à distribuição de espécies de mamíferos pode ajudar a realizar projeções futuras mais assertivas.

Palavras-chave: gradientes ambientais, estruturação de comunidades, guilda trófica

INTRODUÇÃO

Um dos objetivos centrais da ecologia é compreender como variáveis ambientais estruturam comunidades biológicas em diferentes escalas espaciais, contribuindo para explicar os padrões de biodiversidade (Münkemüller et al. 2020). Fatores como temperatura e produtividade atuam como filtros ao selecionar espécies com características que favorecem seu crescimento populacional e estabelecimento local (Townsend & Hildrew, 1994; Díaz & Cabido, 2001; Kraft et al. 2015). No entanto, as principais teorias ecológicas indicam que processos que operam em escala local explicam parcialmente os padrões de diversidade, enquanto efeitos que se acumulam ao longo de gradientes ambientais podem emergir em escalas regionais (Beaudrot et al. 2019; Zhang et al. 2022; Giam & Olden, 2016). Nesse contexto, embora se reconheça a importância de gradientes ambientais, ainda persistem lacunas sobre como variações em produtividade e temperatura influenciam a diversidade e a coexistência de espécies em escalas espaciais mais amplas (Mittelbach et al. 2015; Thompson et al. 2020).

Segundo a teoria espécie-energia, ambientes mais produtivos tendem a sustentar maior riqueza de espécies devido à maior disponibilidade de recursos alimentares (Wright, 1983; Waide et al. 1999; Chase et al. 2010; Holzmann et al. 2025), padrão que pode ser particularmente evidente em níveis tróficos superiores, como em mamíferos carnívoros (Owen, 1990). Por outro lado, em sistemas pouco produtivos, a limitação de recursos pode aumentar as taxas de extinção local e reduzir a diversidade (Carnicer et al. 2007; Storch, Bohdalková & Okie, 2018). No entanto, a relação entre produtividade e riqueza não é universal, havendo evidências de que a diversidade pode reduzir em ambientes mais produtivos (Owen, 1990) ou ser maior em níveis intermediários de produtividade (Tilman, 1982).

A temperatura também desempenha papel fundamental na estruturação de comunidades biológicas (Bohdalková et al. 2021). A distribuição de espécies pode ser influenciada por restrições fisiológicas associadas à adaptação térmica, incluindo características relacionadas ao tamanho corporal e metabolismo (Bergmann, 1848; Porter & Gates, 1969; Riddell et al. 2019; Fristoe et al. 2015). Em organismos endotérmicos, como aves e mamíferos, as variações térmicas podem afetar os custos energéticos de termorregulação, influenciando a viabilidade populacional através da alocação de energia para crescimento e reprodução (Evans, Warren & Gaston, 2005; Khaliq et al. 2014). Desse modo, em temperaturas ambientes acima da temperatura crítica superior, microambientes protegidos, com temperatura inferior ao limite de

tolerância térmica, podem aproximar-se da zona termo neutra, onde a termorregulação ocorre sem alterações regulatórias na produção de calor metabólico ou na perda de calor por evaporação (Mitchell et al. 2018).

Estudos conduzidos em diferentes regiões tropicais demonstram que a riqueza de mamíferos tende a ser maior em ambientes mais produtivos, mas que diferentes guildas tróficas respondem de maneiras distintas a variações em produtividade e temperatura (Gebert et al. 2019; Lasmar et al. 2021). Esses resultados indicam que ambientes mais produtivos, associados a uma maior disponibilidade e variedade de recursos alimentares, favorecem a riqueza de espécies a partir da especialização e partição de nicho (Niklaus et al. 2017), sobrepondo-se aos efeitos fisiológicos impostos pela variação de temperatura. Em escalas espaciais globais, esse padrão também é observado, com a produtividade sendo considerada o fator com maior contribuição relativa para a riqueza de espécies em diferentes grupos tróficos de mamíferos (Adkins et al. 2023). Contudo, a compreensão sobre como produtividade e temperatura atuam de forma integrada em escalas mais amplas ainda é limitada, especialmente considerando potenciais efeitos indiretos ao longo de gradientes ambientais.

Nesse sentido, tendo em vista que florestas tropicais são sensíveis a variações térmicas (Pau et al. 2018), a temperatura pode atuar de forma determinante nos níveis de produtividade na Amazônia (Li et al. 2022). Desse modo, sabe-se que alterações climáticas que afetam a produtividade primária, como temperatura e seca extremos, podem gerar efeitos diretos sobre herbívoros e indiretos sobre demais guildas tróficas, desencadeando efeitos indiretos da base ao topo da estrutura trófica (Stoner et al. 2018). Isso sugere que a temperatura também pode influenciar a produção de energia no sistema em condições naturais (Gebert et al. 2019). Além disso, a dependência de carnívoros em relação à disponibilidade de suas presas sugere forte influência indireta de variáveis energéticas e climáticas sobre esses predadores (Hirt et al. 2020; Rabe et al. 2025). Ambientes mais quentes e produtivos tendem a apresentar maior diversidade e abundância de artrópodes (Lasmar et al. 2021), o que pode favorecer maior intensidade de uso destes habitats por mamíferos insetívoros. Por outro lado, a dieta generalista de mamíferos onívoros faz com que sua distribuição esteja menos restrita à disponibilidade de um alimento específico, respondendo mais diretamente às variações térmicas do que à produtividade (Lasmar et al. 2021).

Nesse contexto, a Amazônia representa um sistema particularmente relevante para investigar essas relações em escala regional. Como a maior floresta tropical úmida do mundo,

o bioma combina elevada produtividade primária, temperaturas relativamente altas e uma das maiores diversidades biológicas do planeta (Gonçalves, 2005; Kabat et al. 2012). Sua heterogeneidade ambiental, associada a variações em solos, hidrologia e fitofisionomias (Herrera et al. 1978; Gonçalves et al. 2022), promove variação espacial nas condições climáticas e na disponibilidade de alimento, com florestas em estágios sucessionais iniciais e intermediárias apresentando maior produtividade (Rödig et al. 2018). Entretanto, os efeitos de variáveis ambientais como produtividade e temperatura sobre a estrutura trófica de comunidades biológicas em diferentes ambientes ainda permanecem pouco explorados.

Devido à ampla variação em características como o tamanho corporal e área de vida entre espécies de mamíferos, bem como à complexa estrutura trófica de sua comunidade (Smith & Lyons, 2011; Lacher et al. 2019), os mamíferos são modelos interessantes para a avaliação dos efeitos de gradientes ambientais a nível de comunidade. Desse modo, sabe-se que mamíferos herbívoros, insetívoros, onívoros e carnívoros podem diferir quanto à dependência direta ou indireta da produtividade e da temperatura, o que reflete suas estratégias alimentares e posições na rede trófica (Smith et al. 2010). Assim, compreender como variáveis energéticas e térmicas afetam direta ou indiretamente as guildas tróficas é fundamental para elucidar os mecanismos que estruturam comunidades de mamíferos em larga escala.

Desse modo, o objetivo do estudo é avaliar como a produtividade primária (PPL) e a temperatura afetam a comunidade de mamíferos de médio e grande porte na Amazônia registrados por armadilhas fotográficas, considerando os efeitos ambientais diretos e indiretos (Figura 1). Especificamente, buscamos avaliar (i) os efeitos diretos da produtividade e da temperatura sobre a riqueza e uso do habitat pelos mamíferos; (ii) os efeitos diretos da produtividade e da temperatura sobre o uso do habitat por cada guilda trófica; e (iii) os efeitos indiretos da temperatura, mediados pela produtividade, sobre o uso de hábitat por herbívoros, onívoros e insetívoros, bem como se a variação no uso de hábitat desses grupos (como potenciais presas) está associada ao uso de hábitat por mamíferos carnívoros. Com a avaliação desses efeitos, queremos testar nossas hipóteses de que: (i) a riqueza de espécies e a intensidade de uso do habitat pelos mamíferos aumentam em ambientes mais produtivos e que, considerando a baixa variação térmica entre ecossistemas amazônicos, a temperatura não exerce efeitos significativos sobre endotérmicos; (ii) herbívoros e insetívoros apresentam maior uso de hábitat em ambientes mais quentes e produtivos; mamíferos onívoros, por sua maior plasticidade alimentar, apresentam padrões menos associados à produtividade e mais

relacionados à variação térmica; enquanto mamíferos carnívoros apresentam maior uso de hábitat em ambientes mais produtivos, potencialmente com maior disponibilidade de alimento, com menor associação direta com a temperatura (Fig. 1A); (iii) o efeito negativo da temperatura sobre a produtividade desencadeia efeitos ambientais indiretos mais fracos que os efeitos diretos de ambas variáveis em mamíferos herbívoros, onívoros e insetívoros, enquanto em mamíferos carnívoros os efeitos indiretos, mediados pelo uso do habitat das demais guildas tróficas, apresentam maior importância relativa na explicação do uso de hábitat destes predadores (Fig. 1B).

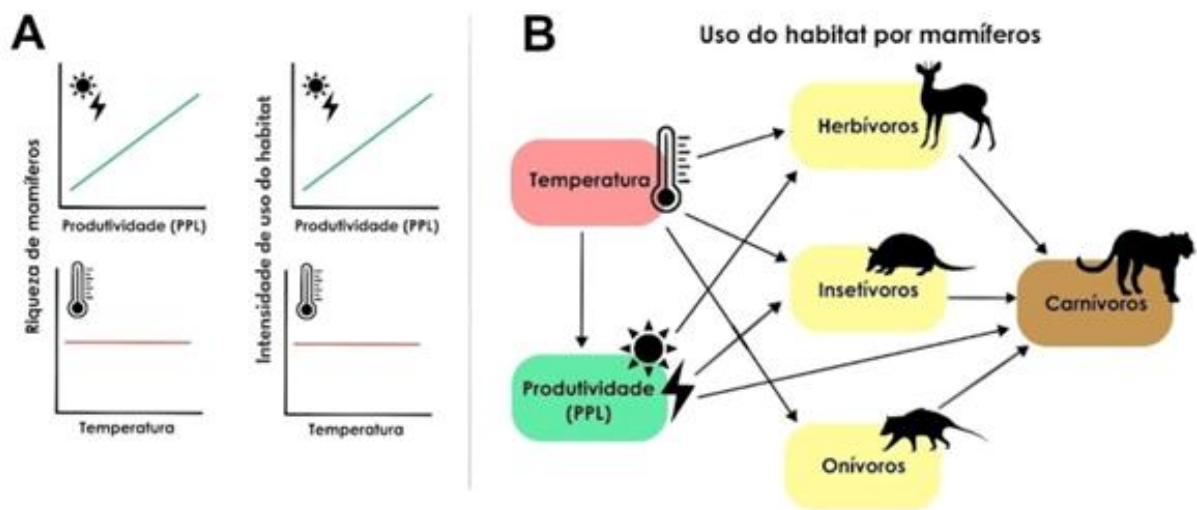


Figura 1. Representação dos resultados esperados para (A) as relações entre as variáveis ambientais produtividade primária (PPL) e temperatura com a riqueza de espécies e intensidade de uso do habitat por mamíferos da comunidade, e (B) relações entre as variáveis ambientais com a intensidade de uso do habitat para cada guilda trófica, além da relação entre uso do habitat por herbívoros, onívoros e insetívoros com o uso do habitat por carnívoros. Os gráficos superiores da imagem A representam a relação linear positiva da PPL (eixo x) com a riqueza de espécies e intensidade de uso do habitat por mamíferos (eixo y de cada gráfico), os gráficos inferiores representam a ausência de relação da temperatura (eixo x) com a riqueza de espécies e intensidade de uso do habitat (eixo y de cada gráfico). A imagem B representa os efeitos diretos da PPL e da temperatura em cada guilda trófica e os efeitos indiretos do uso do habitat por herbívoros, onívoros e insetívoros sobre a intensidade de uso do habitat por carnívoros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e curadoria do banco de dados

Nosso estudo abrange uma vasta região de planície ao longo da Pan-Amazônia, com amplitude altitudinal variando de 5 a 400 metros de elevação, e uma considerável amplitude

longitudinal (45°W a 78°W) e latitudinal (5°N a 15°S). A ampla extensão espacial resulta em variações do clima e em uma grande variedade de ecossistemas com diferentes fitofisionomias, incluindo várzeas, campinaranas, florestas de terra firme e florestas alagadas (ICMBio, 2016).

Compilamos dados de registros realizados por armadilhas fotográficas distribuídas em seis dos nove países que compõem a Pan-Amazônia: Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Guiana Francesa e Brasil (Figura 2). Cada armadilha fotográfica corresponde aos nossos pontos de amostragem, os quais encontram-se em tipos florestais com vegetações distintas, tais como floresta de igapó, de terra firme, restinga e mata ripária. Situados em diferentes vegetações e relevos, como em áreas de baixios, platôs e vertentes, os sítios apresentam valores distintos de PPL e temperatura.



Figura 2. Distribuição espacial do compilado de dados de mamíferos registrados na Amazônia entre 2001 e 2024. Cada ponto branco no mapa à esquerda representa uma armadilha fotográfica.

Utilizamos os dados disponíveis no datapaper de Antunes et al. (2022), que reúne levantamentos conduzidos por armadilhas fotográficas de diferentes grupos de pesquisa em toda a Amazônia, incluindo registros de mamíferos, aves e répteis, os quais foram obtidos entre os anos de 2001 e 2021. Para dados coletados entre 2022 e 2024, integramos informações de

registros de mamíferos provenientes dos bancos de dados do Programa de Pesquisa em Biodiversidade Amazônia Ocidental (PPBio-AmOc), do Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica (CENBAM) e do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), disponíveis no repositório DataOne (<https://www.dataone.org>) ou enviados diretamente pelos pesquisadores dessas redes de pesquisa. Todos os dados compilados foram coletados por armadilhas fotográficas.

Após a compilação dos registros, realizamos uma curadoria detalhada, mantendo somente registros de mamíferos terrestres de médio e grande porte (≥ 1 kg, conforme Paglia et al. 2012), excluindo também mamíferos aquáticos, semi-aquáticos e arborícolas de qualquer porte. Também descartamos registros oriundos de bancos de dados voltados ao monitoramento de uma única espécie (ex.: monitoramento de tocas de ariranhas), para evitar vieses nas análises de comunidades. Consideramos apenas registros contendo as seguintes informações: coordenadas geográficas, data do registro, esforço de amostragem (número de dias de operação da armadilha fotográfica), número de registros por táxon e o intervalo de 30 ou 60 minutos entre registros, considerando que da Silva et al. (2026) demonstraram que ambos intervalos são comparáveis e não afetam significativamente as estimativas de número de registros de mamíferos.

Devido a variação no tempo de operação das armadilhas fotográficas entre os sítios de amostragem, utilizamos o esforço amostral como critério de padronização entre diferentes grupos de pesquisa, excluindo os registros que tiveram esforço inferior a 20 dias de operação a fim de evitar efeitos de baixo esforço amostral e garantir a comparabilidade no número de registros obtidos por cada armadilha fotográfica.

As coordenadas geográficas e a data do registro foram utilizadas para associar os dados das variáveis ambientais específicas ao local e período de amostragem. Revisamos manualmente as coordenadas das nossas unidades amostrais (i.e. armadilhas fotográficas) para garantir a acurácia das localizações onde as armadilhas fotográficas foram instaladas. Sendo assim, excluimos pontos registrados fora da Pan-Amazônia. Também excluimos pontos localizados em regiões com altitude acima de 2.900 metros, com registros de temperatura abaixo de 16°C. Devido ao fato de termos poucas informações para essas regiões, excluimos esses dados porque, além da temperatura, outros fatores como a capacidade de dispersão, resposta à hipóxia e resistência à radiação ultravioleta também atuam como fatores limitantes na riqueza de espécie em regiões de montanha (Lyu et al. 2022; Wen et al. 2022). Portanto, ao

final do processo de filtragem, chegamos a um total de 2272 pontos localizados em áreas com variação altitudinal entre 5 e 400 m (média de 142 m).

Dados de produtividade primária líquida e de temperatura

Obtivemos os dados de produtividade primária líquida (PPL) e de temperatura para a Pan-Amazônia em células espaciais de 5 x 5 km. Em seguida, extraímos os valores de PPL e temperatura correspondentes a cada ponto de amostragem, e utilizamos a média anual dos valores de ambas as variáveis ambientais no ano em que cada armadilha fotográfica foi instalada. A temperatura foi obtida a partir da base de dados Terra Climate (www.climatologylab.org/terraclimate.html), que fornece interpolações anuais de temperatura máxima. Os dados anuais de PPL foram obtidos do Land Processes Distributed Active Archive Center da NASA (<https://lpdaac.usgs.gov>), a partir das estimativas derivadas do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA e AQUA da NASA. Para representar as variáveis ambientais, utilizamos as médias anuais para cada ponto e ano em que as armadilhas fotográficas foram instaladas, uma vez que apresentam alta correlação com valores mensais ao longo de cada ano, refletindo adequadamente as condições ambientais durante os períodos amostrados.

Análise de dados

Para avaliar os efeitos independentes da PPL e da temperatura sobre a comunidade de mamíferos de médio e grande porte na Amazônia, realizamos análises tanto ao nível da comunidade geral quanto separadas por guildas tróficas. Para isso, classificamos as espécies em quatro guildas tróficas: herbívoros, onívoros, insetívoros e carnívoros (Paglia et al. 2012). Consideramos como riqueza de espécies o número absoluto de espécies registradas em cada armadilha fotográfica. Também, avaliamos a resposta dos mamíferos às variações de PPL e temperatura, em termos da intensidade de uso do habitat, medida pela taxa de registros de mamíferos (total e por guilda trófica) em função do esforço amostral. As variáveis de PPL e temperatura anuais tiveram baixa correlação ($r = -0,34$) com seus respectivos valores mensais e, por isso, puderam ser utilizadas nos modelos subsequentes.

Riqueza e intensidade de uso de habitat geral

Para avaliar como a PPL e a temperatura afetam a riqueza de espécies, utilizamos modelos aditivos generalizados (GAM) com família de distribuição binomial negativa,

considerando o número de espécies registradas em cada armadilha fotográfica como variável resposta. Incluímos o esforço amostral, definido pelo número de dias que as armadilhas ficaram ativas em campo como uma covariável de controle (*offset*) do esforço nos modelos. Além disso, testamos diferentes combinações de termos lineares e quadráticos nos efeitos das variáveis preditoras (PPL e temperatura), com variáveis preditoras escaladas e centradas no zero, e selecionamos a combinação de termos com melhor ajuste por AICc. Além disso, incluímos um termo espacial bidimensional com as coordenadas geográficas para controle dos efeitos espaciais. As estimativas dos coeficientes no GAM foram realizadas por verossimilhança máxima restrita (REML). Por fim, realizamos o diagnóstico do modelo, testando para dispersão e autocorrelação espacial com o índice I de Moran.

Para avaliar como a intensidade de uso do habitat geral pelos mamíferos responde à PPL e a temperatura, também utilizamos GAM. A intensidade de uso do habitat foi medida pelo número de registros de mamíferos em cada armadilha fotográfica. Para reduzir a sobredispersão dos dados e lidar com a variação do número de registros de acordo com o esforço amostral, calculamos o logaritmo da taxa de registro (nº de registros de mamíferos/dias de amostragem) e incluímos essa variável como resposta em um GAM com distribuição normal. Assim como para riqueza, testamos diferentes combinações de termos lineares e quadráticos nos efeitos das variáveis preditoras (PPL e temperatura) e selecionamos a melhor combinação de termos com melhor ajuste por AICc. Também incluímos um termo espacial bidimensional para controle dos efeitos espaciais e realizamos o diagnóstico do modelo, testando para dispersão e autocorrelação espacial com o índice I de Moran.

Efeitos diretos e indiretos por guildas tróficas

Para investigar os efeitos diretos da PPL e da temperatura sobre a intensidade de uso do habitat para cada guilda trófica (herbívoros, onívoros, insetívoros e carnívoros), e distinguir os efeitos diretos dessas variáveis ambientais dos efeitos indiretos mediados pela PPL e pelas relações tróficas entre as guildas, adotamos uma abordagem de modelagem de equações estruturais (SEM, *Structural Equation Modelling*). Para isso, construímos um modelo conceitual que assume: (i) efeitos da temperatura na PPL; (ii) efeitos da PPL e da temperatura na intensidade de uso do habitat pelas guildas possíveis presas de carnívoros (herbívoros, onívoros e insetívoros); e (iii) efeitos da PPL, da temperatura e do uso do habitat das possíveis presas na intensidade de uso do habitat dos carnívoros (predadores).

Cada modelo individual foi ajustado com GAM, incluindo a localização da armadilha fotográfica como fator aleatório, e um termo bidimensional com as coordenadas geográficas para controle da estrutura espacial dos dados. Para o modelo de efeito da temperatura na PPL, usamos a família de distribuição gaussiana. Os modelos envolvendo a intensidade de uso do hábitat pelas guildas tróficas foram ajustados com família binomial negativa, incluindo o número absoluto de registros como variável resposta e o número de dias de amostragem como covariável para controle do esforço amostral. Para os modelos das guildas, também ajustamos modelos com diferentes combinações de termos lineares e quadráticos nos efeitos das variáveis exógenas (PPL e temperatura), selecionando a melhor combinação de termos por AICc. Os coeficientes foram estimados por verossimilhança máxima restrita e rodamos os testes diagnósticos para dispersão e autocorrelação espacial com o índice I de Moran. Por fim, após o ajuste dos modelos individuais, agrupamos os modelos em uma estrutura hierárquica de modelos de equações estruturais com o pacote ‘piecewiseSEM’ (Lefcheck, 2016) para quantificar os efeitos diretos da PPL e temperatura nas guildas tróficas de possíveis presas, bem como os efeitos indiretos mediados pela PPL e pelas interações tróficas.

RESULTADOS

Utilizamos informações obtidas em 32 bancos de dados, com esforço amostral variando entre 20 e 425 dias de amostragem. Foram registrados 47 táxons identificados ao nível de espécie e nove táxons identificados ao nível de gênero, totalizando 56 táxons de mamíferos terrestres de médio e grande porte (Material Suplementar, Tabela S1). Das 47 espécies identificadas, 20 pertencem aos herbívoros, sete aos onívoros, 11 aos insetívoros e nove pertencem aos carnívoros (Material Suplementar, Tabela S2).

Os níveis de PPL apresentaram ampla variação, com menor registro de 165 kgC/m²/ano e o maior de 255 kgC/m²/ano. Com variação em menor escala entre os pontos de amostragem, a temperatura média anual variou aproximadamente de 28 °C a 34 °C, com valor médio de aproximadamente 31 °C. Nossos pontos de amostragem estão localizados em longitudes entre 46°W e 80°W, e latitudes entre 6°S a 20°S e altitudes máximas de 400 metros (Material Suplementar, Figura S1).

A riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte variou amplamente entre os sítios amostrados (mín = 1, mediana = 4, máximo = 16). O melhor modelo incluiu a adição de termos lineares e quadráticos para as variáveis de PPL e temperatura anual, e explicou 44% da variação dos dados. O esforço amostral apresentou efeito positivo e significativo sobre a riqueza registrada ($z = 9,025$; $p < 0,001$) e a inclusão do termo espacial bidimensional foi altamente significativa ($p < 0,001$), indicando estruturação espacial da riqueza ao longo da área de estudo.

Após a inclusão do termo espacial, o modelo apresentou baixa autocorrelação espacial, ainda que significativa (I de Moran: obs.: -0.11; exp.: -0.00; $p < 0.01$). De acordo com esse modelo, a PPL anual não apresentou um efeito linear, mas o termo quadrático apresentou efeito negativo, com valores maiores de riqueza em valores intermediários de PPL ($z = -3,653$; $p < 0,001$; Figura 3A), indicando uma relação unimodal entre PPL e riqueza, com redução da riqueza em valores extremos de produtividade. Por outro lado, a temperatura apresentou efeito linear negativo e altamente significativo sobre a riqueza de espécies ($z = -10,389$; $p < 0,001$; Figura 3B), enquanto o termo quadrático da temperatura não foi significativo, evidenciando declínio consistente da riqueza com o aumento da temperatura ao longo do gradiente ambiental.

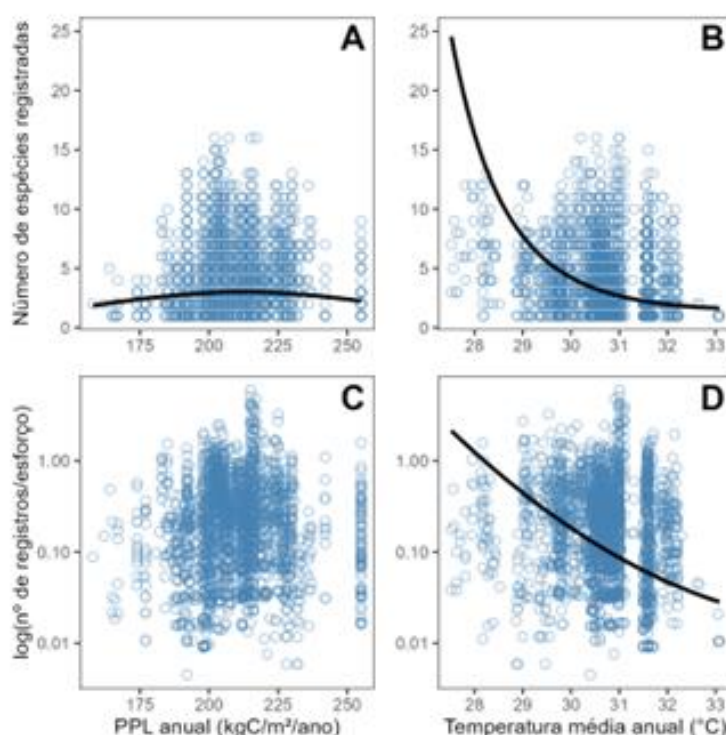


Figura 3. Relação entre as variáveis resposta riqueza de espécies e intensidade do uso do habitat total de mamíferos e as variáveis predictoras produtividade primária (PPL) e

temperatura. Os gráficos representam as relações entre (A) riqueza de espécies e PPL; (B) riqueza de espécies e temperatura; (C) intensidade de uso do habitat total e PPL; e (D) intensidade de uso do habitat total e temperatura. Representada no eixo Y dos gráficos 1A e 1B, a riqueza de espécies é apresentada com seus valores absolutos, indicando o número de espécies registradas. Os valores da intensidade de uso do habitat total de mamíferos, representada no eixo Y dos gráficos 1C e 1D, são apresentados de forma padronizada, indicando a quantidade total de registros de mamíferos por unidade de tempo de funcionamento de cada armadilha fotográfica. Os valores das variáveis ambientais PPL e temperatura são apresentados como a média dos anos em que os estudos foram realizados, os quais ocorreram entre 2001 e 2024.

A intensidade de uso do habitat para toda a comunidade de mamíferos também variou amplamente entre os sítios amostrados (mín = 1, mediana = 9, máximo = 329). O melhor modelo também incluiu a adição de termos lineares e quadráticos para as variáveis de PPL e temperatura anual e explicou 39% da variação dos dados. O termo espacial bidimensional também foi significativo ($p < 0,001$), evidenciando variação espacial na intensidade de uso do habitat pela comunidade total de mamíferos, e o modelo apresentou baixa autocorrelação espacial (Moran's I: obs.: -0.10; exp.: -0.00; $p < 0.01$). Neste modelo, a intensidade de uso do habitat pela comunidade de mamíferos não respondeu à variação da PPL (Fig. 3C), mas reduziu com a temperatura com uma tendência linear significativa ($t = -10,202$; $p < 0,001$; Fig. 3D), indicando que ambientes mais quentes estiveram associados a menor atividade ou menor intensidade de registros de mamíferos.

Efeitos diretos e indiretos de PPL e temperatura em cada guilda trófica

O modelo de equações estruturais integrou os efeitos da temperatura sobre a PPL e os efeitos diretos e indiretos da temperatura e da PPL sobre as guildas tróficas, bem como os efeitos das guildas de potenciais presas para carnívoros sobre a intensidade de uso do habitat por estes predadores. A temperatura apresentou efeito negativo sobre a PPL ($z = -0,231$; $p < 0,001$) após a inclusão do efeito misto do sítio amostral e o controle espacial, com alta porcentagem de explicação dos dados ($R^2 = 0,86$), indicando forte relação entre o gradiente térmico e a PPL ao longo da área de estudo.

A temperatura também apresentou efeitos negativos consistentes para mamíferos herbívoros ($z = -0,531$; $p < 0,01$), onívoros ($z = -0,659$; $p < 0,01$) e carnívoros ($z = -0,310$; $p < 0,05$), demonstrando que o aumento da temperatura esteve associado à redução da intensidade de uso do habitat por essas guildas. A PPL, por outro lado, apresentou efeito negativo significativo apenas para insetívoros ($z = -0,166$; $p = 0,02$), indicando redução da intensidade

de uso do habitat dessa guilda com o aumento da PPL, não possuindo efeitos nas demais guildas tróficas.

Entre as guildas tróficas que são potenciais presas de carnívoros, sendo elas herbívoros, onívoros e insetívoros, apenas a intensidade de uso do habitat por herbívoros apresentou efeito positivo sobre a intensidade de uso do habitat por carnívoros ($z = 0,003$; $p = 0,022$), sugerindo associação espacial positiva entre predadores e suas presas primárias. Os termos aleatórios associados aos sítios de amostragem e os termos espaciais bidimensionais foram significativos em todos os modelos individuais, indicando forte estrutura espacial e variação entre áreas, o que resultou em ausência de autocorrelação espacial em todos os modelos individuais.

A decomposição dos efeitos diretos e indiretos indicou que, para mamíferos herbívoros, onívoros e insetívoros, os efeitos totais da PPL e da temperatura sobre a intensidade de uso do habitat foram predominantemente diretos (Tabela 1). Para os carnívoros, além do efeito direto das variáveis ambientais, observou-se contribuição adicional de efeitos indiretos mediados somente pelo uso do habitat por herbívoros, não havendo correlação com o uso do habitat por onívoros e insetívoros. Isso resulta em um efeito total negativo para carnívoros, refletindo a combinação de limitação ambiental direta e a possível dependência da disponibilidade de recursos alimentares ao longo do gradiente climático. Os padrões estimados pelos modelos individuais e pela modelagem de equações estruturais estão representados nos efeitos das variáveis ambientais por guilda trófica (Figura 4) e nos efeitos das presas sobre os carnívoros (Figura 5), estando melhor sumarizados graficamente no diagrama conceitual do SEM (Figura 6).

Tabela 1. Efeitos ambientais diretos e indiretos na intensidade de uso do habitat pelas guildas tróficas de mamíferos terrestres de médio e grande porte na Amazônia. As guildas tróficas representam os grupos de mamíferos agrupados conforme a dieta, e são classificados em herbívoros, onívoros, insetívoros e carnívoros. Os efeitos ambientais diretos incluem os efeitos isolados da produtividade primária (PPL) e da temperatura sobre cada guilda trófica. Os efeitos ambientais indiretos incluem o efeito da temperatura sobre a PPL, previsto no modelo, e seus efeitos derivados sobre cada guilda trófica. Os efeitos tróficos indiretos atuam na intensidade de uso do habitat por carnívoros a partir da intensidade de uso do habitat por herbívoros, não havendo correlação com o uso do habitat por onívoros e insetívoros. O efeito total é a soma dos efeitos diretos e indiretos em cada guilda trófica de mamíferos.

Guilda trófica	Efeitos ambientais diretos	Efeitos ambientais indiretos	Efeitos tróficos indiretos	Efeito Total
Herbívoros	-0,014	0,001	—	-0,013
Onívoros	-0,092	-0,004	—	-0,096
Insetívoros	-0,060	0,007	—	-0,053
Carnívoros	-0,081	-0,003	-0,004	-0,087

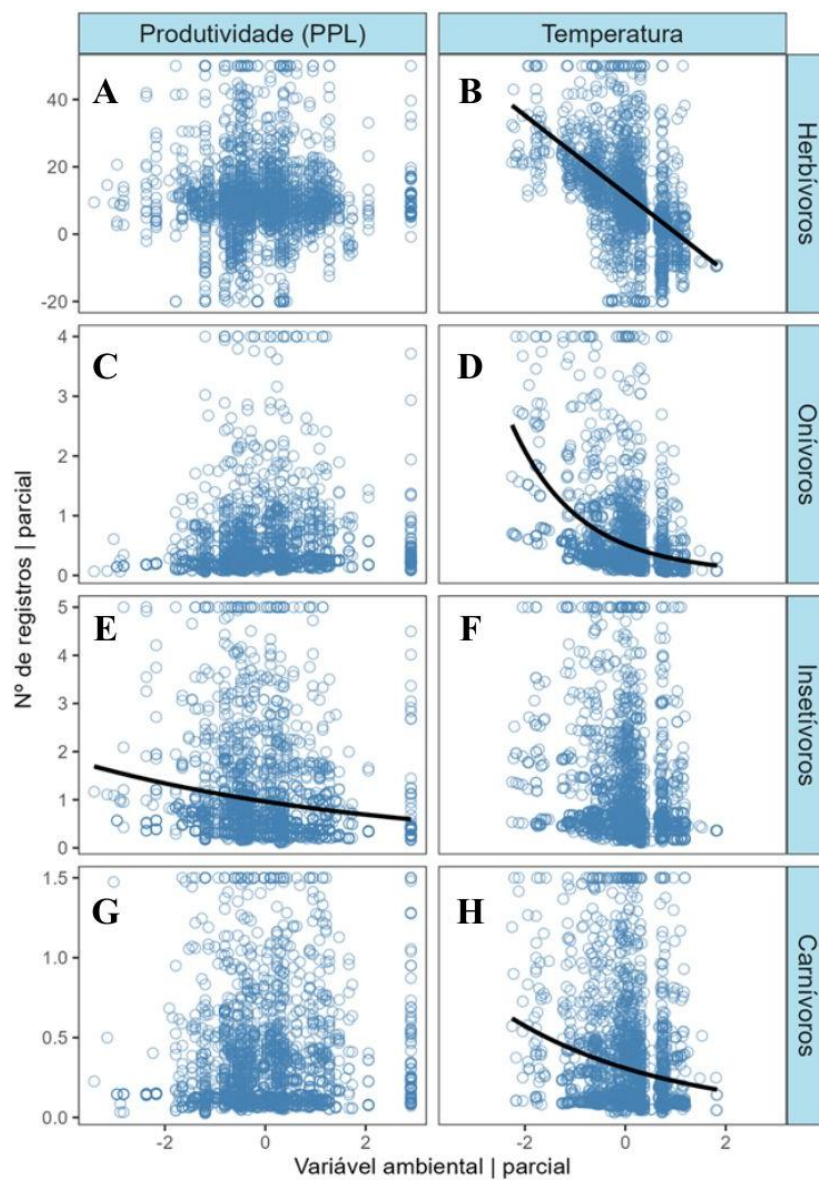


Figura 4. Relação entre intensidade do uso do habitat relativa de mamíferos classificados em guildas tróficas (carnívoros, onívoros, insetívoros e herbívoros) com a produtividade primária (PPL) e temperatura anuais. A intensidade de uso do habitat de cada guilda trófica está representada no eixo Y dos gráficos, e seus valores são apresentados de forma padronizada, indicando número total de registros de cada guilda trófica pela unidade de tempo de operação de cada armadilha fotográfica. Os valores das variáveis ambientais estão apresentados como a média entre os anos em que os estudos foram realizados, os quais ocorreram entre 2001 e 2024. Os gráficos representam as seguintes respostas: (A) ausência de relação entre intensidade do uso do habitat de herbívoros/frugívoros e PPL; (B) relação linear negativa entre intensidade do uso do habitat de herbívoros/frugívoros e temperatura; (C) ausência de relação entre intensidade do uso do habitat de onívoros e PPL; (D) relação não linear negativa entre intensidade do uso do habitat de onívoros e temperatura; (E) relação não linear negativa entre intensidade do uso do habitat de insetívoros e PPL; (F) ausência de relação entre intensidade do uso do habitat de insetívoros e temperatura; (G) ausência de relação entre intensidade do uso do habitat de carnívoros e PPL; e (H) relação não linear negativa entre intensidade do uso do habitat de carnívoros e temperatura.

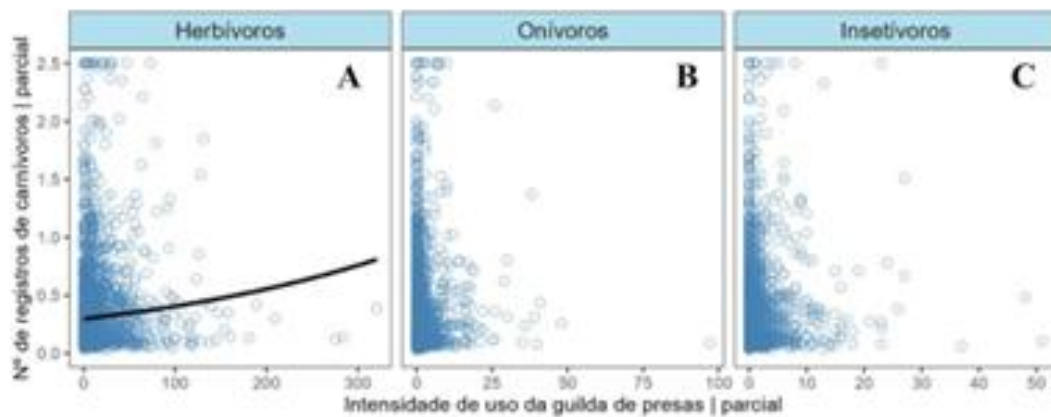


Figura 5. Relação da intensidade de uso do habitat por mamíferos carnívoros (eixo Y) com a intensidade de uso do habitat por herbívoros, onívoros e insetívoros (representados no eixo X dos gráficos A, B e C, respectivamente). Os gráficos mostram (A) a relação linear positiva entre a intensidade de uso do habitat por carnívoros com a intensidade de uso do habitat por herbívoros; (B) a ausência de relação entre a intensidade de uso do habitat por carnívoros com a intensidade de uso do habitat por onívoros; e (C) ausência de relação da intensidade de uso do habitat por carnívoros com a intensidade de uso do habitat por insetívoros. Os valores das intensidades de uso do habitat de mamíferos para cada guilda trófica foram apresentados de forma padronizada, representando o número de registro de cada guilda pelo tempo de funcionamento das armadilhas fotográficas utilizadas nos estudos.

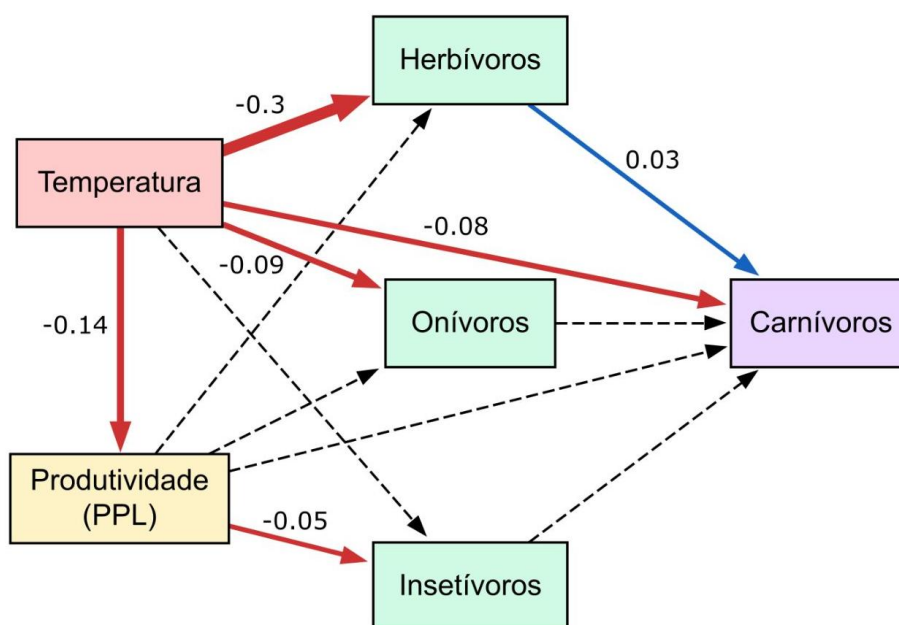


Figura 6. Modelo de Equações Estruturais (SEM). O diagrama representa as relações diretas da PPL e da temperatura sobre a intensidade de uso do habitat pelas diferentes guildas tróficas de mamíferos amazônicos. Os números que acompanham as setas, bem como a largura das setas, representam a força de cada relação. Os efeitos negativos são representados pelas setas vermelhas e os efeitos positivos pela seta azul. A ausência de efeitos é representada por setas tracejadas. O efeito da temperatura sobre a intensidade de uso do habitat de mamíferos herbívoros, onívoros e carnívoros está representado pelas setas vermelhas que conecta a temperatura à estas guildas tróficas. O efeito da PPL sobre a intensidade de uso do habitat de mamíferos insetívoros também é representado por uma seta vermelha que conecta ambas as variáveis. As setas tracejadas representam ausência de relação significativa entre as variáveis predictoras e respostas, indicando que a temperatura não é fortemente relacionada com a intensidade de uso do habitat por mamíferos insetívoros e que a PPL não se relaciona significativamente com a intensidade de uso do habitat por mamíferos herbívoros, onívoros e carnívoros. Considerando o efeito negativo da temperatura sobre a PPL no modelo, a seta azul representa o efeito da intensidade de uso do habitat por mamíferos herbívoros sobre a intensidade de uso do habitat por mamíferos carnívoros.

DISCUSSÃO

Nossos principais resultados mostram que, em escala Pan-Amazônica, e ao longo de um amplo gradiente latitudinal, a temperatura exerce um efeito mais forte e consistente do que a PPL sobre a riqueza e a intensidade de uso do habitat por mamíferos terrestres de médio e grande porte no bioma. Esse padrão contrasta com previsões clássicas da hipótese espécie-energia (Wright, 1983; Waide et al. 1999; Chase et al. 2010), sugerindo que, em sistemas altamente produtivos como a Amazônia, a limitação energética pode não atuar como o principal

fator estruturante da diversidade. Em vez disso, diferentemente do que esperávamos, as restrições térmicas operam como um filtro dominante, mesmo em animais endotérmicos e dentro de um gradiente relativamente estreito de variação de temperatura.

Nesse contexto, considerando que florestas em estágios sucessionais iniciais e intermediários apresentam maior produtividade, os estágios sucessionais desempenham importante papel na relação produtividade-biomassa (Rödig et al. 2018) e na dinâmica trófica da comunidade (Schrama et al. 2013). Assim sendo, nos estágios mais produtivos da sucessão, a complementariedade de nicho pode favorecer a riqueza de espécies vegetais (Niklaus et al. 2017), possibilitando o estabelecimento de uma maior diversidade de espécies de diferentes níveis tróficos. Todavia, diferentemente do observado ao longo da sucessão ecológica e do que esperávamos inicialmente, nossos resultados mostram que são nos ambientes com níveis intermediários de PPL, os quais geralmente apresentam maior riqueza de espécies vegetais (Tilman, 1982, Kalacska et al. 2004), que há maior variedade e disponibilidade de recursos alimentares para as espécies integrantes da comunidade. Desse modo, é possível que as condições climáticas destes ambientes favoreçam a coexistência de espécies generalistas e especialistas, havendo simultaneamente maior especialização e partição de nicho, o que favorece uma maior diversidade. Por outro lado, em ambientes cada vez mais produtivos, constatamos a saturação da riqueza de espécies, o que pode ser devido ao reflexo do favorecimento de espécies competidoras superiores e da limitação da capacidade de utilização de recursos alimentares em ambientes mais produtivos (Kondoh et al 2001, Storch & Okie, 2019).

Embora estudos conduzidos em gradientes altitudinais tenham documentado maior riqueza em ambientes mais produtivos (Gebert et al. 2019; Lasmar et al. 2021), nossos resultados evidenciam que o contexto ambiental determina a forma da relação espécie-energia. Os valores de PPL registrados em nossos dados são mais de 10 vezes superiores aos registrados em Lasmar et al. (2021), indicando que a Amazônia representa um sistema em que a disponibilidade de energia no ambiente é continuamente alta o suficiente para não restringir a ocorrência ou a diversidade das espécies. Nesse cenário, é provável que a produtividade deixe de ser fator limitante, fazendo com que possa ocorrer saturação da riqueza, o que resulta em uma relação unimodal fraca ou em declínio sob valores extremos de PPL.

De forma semelhante, enquanto gradientes altitudinais na Mata Atlântica abrangeram temperaturas entre 12°C e 20°C (Lasmar et al. 2021), nossos dados variaram entre 26°C e 33°C.

Esse deslocamento absoluto do gradiente térmico sugere que, acima de determinados limiares fisiológicos ($\sim 20^{\circ}\text{C}$ para muitos mamíferos de médio e grande porte), aumentos adicionais de temperatura impõem custos metabólicos crescentes, promovendo alterações comportamentais no período de atividade e impactos no período reprodutivo, podendo levar à exclusão local de espécies mais sensíveis (Verzuh et al. 2022; Stiegler et al. 2023). Assim, não apenas a variação relativa da temperatura que importa, mas também sua posição em relação a limites fisiológicos críticos. Além disso, diferentemente de estudos altitudinais que enfatizam efeitos indiretos mediados por produtividade (Lasmar et al. 2021; Gebert et al. 2019), encontramos que os efeitos ambientais diretos superam os indiretos para herbívoros, onívoros e insetívoros. Entretanto, esses estudos são restritos a escalas locais e ambientes com alta variação altitudinal, o que pode subestimar efeitos ambientais sobre determinados grupos, como predadores, cuja baixa densidade e grandes áreas de vida dificultam a detecção, independente do método de amostragem utilizado (Carbone & Gittleman, 2002).

Nesse contexto, a literatura tem reiteradamente apontado a disponibilidade energética como um determinante central da riqueza de mamíferos (Adkins et al. 2023). No entanto, nossos resultados estão alinhados às abordagens macroecológicas que destacam a temperatura como variável integradora de múltiplos processos fisiológicos e demográficos (Peters et al. 2016). O efeito negativo consistente da temperatura sobre herbívoros, onívoros e carnívoros sugere que custos energéticos associados à termorregulação e ao balanço hídrico podem superar benefícios potenciais da maior produtividade em ambientes quentes (Rocha et al. 2022). O tamanho corporal emerge como mecanismo plausível subjacente a esse padrão, principalmente devido à semelhança entre a resposta da comunidade de mamíferos ao aumento da temperatura com a resposta do uso do habitat pela maioria das guildas tróficas.

O maior efeito da temperatura sobre o uso de habitat por herbívoros também reforça essa ideia, dado que essa guilda trófica apresenta a maior proporção de espécies de grande porte. Nesse sentido, mamíferos de grande porte apresentam menor razão superfície-volume e menor eficiência de dissipação de calor, tornando-os mais vulneráveis a ambientes quentes (Riddell et al. 2019). Isso sugere que o aumento da temperatura pode atuar seletivamente sobre espécies maiores, promovendo mudanças estruturais na composição funcional da comunidade. Além disso, tem-se discutido a possibilidade de redução da massa corporal de indivíduos de diferentes populações como resposta ao aumento substancial da temperatura (Mitchell, Fuller & Maloney, 2009; Sheridan & Bickford, 2011; Gardner et al. 2011; Mitchell et al. 2018).

Entretanto, interpretar o padrão exclusivamente via tamanho corporal seria reducionista. Fatores como condutância térmica, taxa metabólica basal, comportamento de atividade e uso de microhabitats também podem modular respostas térmicas (Fristoe et al. 2015; Ruperto et al. 2022). Ainda assim, mesmo sem incorporar explicitamente essas variáveis fisiológicas, o forte efeito detectado da temperatura indica que processos bioenergéticos são centrais na organização espacial da comunidade.

A temperatura também teve um efeito negativo sobre a intensidade de uso do habitat por mamíferos herbívoros, onívoros e carnívoros. Com a maior geração de calor pela digestão devido ao tipo de dieta, mamíferos herbívoros sofrem os maiores impactos com o aumento da temperatura (Beale et al. 2018). O maior efeito negativo da temperatura sobre herbívoros é consistente com respostas similares na abundância e seleção de habitat às variações térmicas encontradas em outros estudos. Por exemplo, como o aumento da temperatura eleva suas demandas metabólicas, isso pode reduzir suas populações ou até levar à extinção local, especialmente em sistemas onde os herbívoros já são regulados por predadores ou outras limitações ecológicas (O'Connor, Gilbert & Brown, 2011). Nesse contexto, mamíferos de diferentes grupos tróficos selecionam habitats florestais com dossel fechado como refúgio a temperaturas extremas (van Beest, van Moorter & Milner, 2012), sendo uma estratégia mais explorada por herbívoros e posteriormente por predadores primários de maior porte (Tourani et al. 2023). Essa estratégia pode reduzir os efeitos da radiação solar, da perda de calor por evaporação e pode evitar que o metabolismo exceda a taxa metabólica basal em ambientes cuja temperatura supera a zona termo neutra (Mitchell et al. 2018).

De forma similar, alguns comportamentos comuns em espécies de mamíferos insetívoros, bem como características de suas presas, podem justificar a falta de relação encontrada entre a intensidade de uso do habitat por mamíferos dessa guilda e a temperatura. Nesse sentido, o hábito fossorial de algumas espécies insetívoras, como de tatus, aliado à tolerância térmica elevada de muitos artrópodes do solo, permitem, respectivamente, maior proteção a temperaturas extremas e recursos alimentares abundantes, mesmo em elevadas temperaturas (Baudier et al. 2015; Mitchell et al. 2018). Sendo assim, a ausência de correlação entre a intensidade de uso do habitat por insetívoros e a temperatura pode ser um artifício da maior quantidade de registros de tatus (1563 registros considerando todas as espécies), cujo hábito fossorial é predominante, em comparação com a quantidade de registros de tamanduás (1004 registros considerando todas as espécies). Os efeitos negativos da PPL sobre o uso do

habitat por mamíferos dessa guilda podem sugerir mecanismos adicionais. Sabe-se que a diversidade de insetívoros é modulada pelo tipo de microhabitat de forrageio, os quais podem ser dominados por insetos grandes ou pequenos, e que insetívoros maiores são melhores competidores que insetívoros menores na utilização de grandes insetos como recurso alimentar (Dickmann, 1988). Com isso, é possível que níveis maiores de PPL favoreçam microhabitats dominados por insetos maiores e que a utilização destes locais seja restrita a insetívoros de maior porte, reduzindo a intensidade de uso de habitat geral por mamíferos dessa guilda.

Em alguns casos, apesar das densidades variarem em diferentes níveis de PPL, a proporção presas-herbívoras:predadores-carnívoros é constante, sugerindo que os efeitos da PPL sobre os consumidores são conservados em todos os níveis tróficos (Stoner et al. 2018). Nossos resultados estão de acordo com essa ideia, à medida que as intensidades de uso do habitat por herbívoros e carnívoros estão linearmente correlacionadas, como reflexo dos efeitos indiretos de PPL e temperatura sobre os carnívoros. Além disso, essa relação entre carnívoros e herbívoros reflete a já conhecida dependência destes predadores por suas presas herbívoras de médio e grande porte, como ungulados, antas e queixadas (Ávila-Nájera et al. 2018, Foster & Harmsen, 2024). Portanto, encontramos fortes evidências de um possível controle *bottom-up* parcial, principalmente considerando que os herbívoros sofrem mais fortemente com os efeitos diretos da temperatura, afetando indiretamente seus predadores carnívoros em temperaturas cada vez mais elevadas. Nesse sentido, a liberação de mesopredadores e a consequente redução de presas herbívoras menores pode ser uma resposta possível ao declínio de grandes predadores (Ritchie & Johnson 2009), embora não ocorra em todos os casos (van Schaik, van Kuijk & Sterck, 2025).

Apesar da variação térmica relativamente pequena entre sítios amazônicos, detectamos efeitos substanciais na estrutura da comunidade ao longo do gradiente de temperatura. Isso demonstra que sistemas tropicais, frequentemente considerados climaticamente estáveis, podem ser altamente sensíveis a pequenas mudanças absolutas de temperatura. Em um cenário de aquecimento global contínuo, nossos resultados sugerem possível redução na riqueza e na intensidade de uso do habitat, particularmente para espécies de maior porte. Além disso, mudanças na estrutura corporal média das populações podem ocorrer como resposta adaptativa ao aquecimento, fenômeno já documentado em múltiplos grupos (Sheridan & Bickford, 2011). Tais alterações podem reconfigurar a estrutura trófica da comunidade de mamíferos e fluxos de energia em ecossistemas tropicais.

Em síntese, nossos resultados sugerem que, em florestas tropicais altamente produtivas, restrições térmicas podem superar limitações energéticas como força estruturante da comunidade de mamíferos. A predominância de efeitos diretos da temperatura, combinada com efeitos tróficos indiretos sobre predadores, indica que o aquecimento climático tem potencial para reconfigurar não apenas a riqueza, mas a arquitetura funcional das redes tróficas amazônicas. Contudo, devemos considerar que outros fatores, como precipitação, heterogeneidade estrutural da vegetação, pressão antrópica e história evolutiva regional, provavelmente também devem desempenhar papéis importantes. A incorporação de traços funcionais, métricas de composição e substituição de espécies (*turnover*) e variáveis climáticas adicionais pode revelar mecanismos mais finos de reorganização comunitária.

REFERÊNCIAS

- ADKINS, Jaron et al. Environmental variables drive spatial patterns of trophic diversity in mammals. **Ecology letters**, [Hoboken], v. 26, n. 11, p. 1940-1950, 2023. DOI: 10.1111/ele.14306. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.14306>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- ANTUNES, Ana Carolina et al. AMAZONIA CAMTRAP: a data set of mammal, bird, and reptile species recorded with camera traps in the Amazon forest. **Ecology**, [S. l.], 103:e3738, 2022. DOI: 10.1002/ecy.3738. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecy.3738>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- ÁVILA-NÁJERA, Dulce. M. et al. Jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) diets in Quintana Roo, Mexico. **Animal Biodiversity and Conservation**, [Barcelona], v. 41, n. 2, p. 257-266, 2018. DOI: 10.32800/abc.2018.41.0257. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/ABC/article/view/10.32800-abc.2018.41.0257>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- BAUDIER, Kaitlin M. et al. Microhabitat and body size effects on heat tolerance: implications for responses to climate change (army ants: Formicidae, Ecitoninae). **Journal of Animal Ecology**, London, v. 84, n. 5, p. 1322-1330, 2015. DOI: 10.1111/1365-2656.12388. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.12388>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- BEALE, Phillipa K. et al. A hot lunch for herbivores: physiological effects of elevated temperatures on mammalian feeding ecology. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 93, n. 1, p. 674-692, 2018. DOI: 10.1111/brv.12364. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/brv.12364>. Acesso em: 25 mar. 2026.

BEAUDROT, Lydia et al. Local temperature and ecological similarity drive distributional dynamics of tropical mammals worldwide. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 28, n. 7, p. 976-991, 2019. DOI: 10.1111/geb.12908. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/GEB.12908>. Acesso em: 25 mar. 2026.

BERGMANN, Carl. **Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse**. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1848.

BOHDALKOVÁ, Eliška et al. Universality in biodiversity patterns: variation in species–temperature and species–productivity relationships reveals a prominent role of productivity in diversity gradients. **Ecography**, Lund, v. 44, n. 9, p. 1366-1378, 2021. DOI: 10.1111/ecog.05613. Disponível em: <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecog.05613>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CARBONE, Chris & GITTLEMAN, John L. A common rule for the scaling of carnivore density. **Science**, Washington, D.C., v. 295, n. 5563, p. 2273-2276, 2002. DOI: 10.1126/science.1067994. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1067994>. Acesso em: 25 mar. 2025.

CARNICER, Jofre et al. Community-based processes behind species richness gradients: contrasting abundance–extinction dynamics and sampling effects in areas of low and high productivity. **Global Ecology and Biogeography**, Hoboken, v. 16, n. 6, p. 709-719, 2007. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00324.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1466-8238.2007.00324.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CHASE, Jonathan M. Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. **Science**, [S. l.], v. 328, n. 5984, p. 1388-1391, 2010. DOI: 10.1126/science.1187. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1187820>. Acesso em: 25 mar. 2026.

DA SILVA, Karen Carolina et al. Biodiversity assessments vary with time-to-independence filter in camera trap studies. **Wildlife Research**, [S. l.], v. 53, n. 2, p. WR25048, 2026. DOI: 10.1071/WR25048. Disponível em: <https://connectsci.au/wr/article-abstract/53/2/WR25048/268532/Biodiversity-assessments-vary-with-time-to>. Acesso em: 25 mar. 2026.

DÍAZ, Sandra & CABIDO, Marcelo. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in ecology & evolution**, [S. l.], v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001. DOI: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(01\)02283-2](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(01)02283-2). Acesso em: 25 mar. 2026.

DICKMAN, Chris. R. Body size, prey size, and community structure in insectivorous mammals. **Ecology**, [S. l.], v. 69, n. 3, p. 569-580, 1988. DOI: 10.2307/1941006. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1941006>. Acesso em: 25 mar. 2026.

EVANS, Karl L.; WARREN, Philip H. & GASTON, Kevin J. Species–energy relationships at the macroecological scale: a review of the mechanisms. **Biological Reviews**, Cambridge v.

80, n. 1, p. 1-25, 2005. DOI: 10.1017/S1464793104006517. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/biological-reviews/article/abs/speciesenergy-relationships-at-the-macroecological-scale-a-review-of-the-mechanisms/9C4B9099646F04A6B1ABFA31B65268D4>. Acesso em 25 mar 2026.

FOSTER, Rebecca J. & HARMSSEN, Bart J. Dietary similarity among jaguars (*Panthera onca*) in a high-density population. **Plos one**, [California], v. 17, n. 10, p. e0274891, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0274891. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0274891>. Acesso em: 25 mar. 2026.

FRISTOE, Trevor S. et al. Metabolic heat production and thermal conductance are mass-independent adaptations to thermal environment in birds and mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, D. C., v. 112, n. 52, p. 15934-15939, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1521662112. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1521662112>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GARDNER, Janet L. et al. Declining body size: a third universal response to warming?. **Trends in ecology & evolution**, [S. l.], v. 26, n. 6, p. 285-291, 2011. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(11\)00075-9](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(11)00075-9). Acesso em: 25 mar. 2026.

GEBERT, Friederike et al. Primary productivity and habitat protection predict elevational species richness and community biomass of large mammals on Mt. Kilimanjaro. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 88, n. 12, p. 1860-1872, 2019. DOI: 10.1111/1365-2656.13074. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.13074>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GIAM, Xingli & OLDEN, Julian D. Environment and predation govern fish community assembly in temperate streams. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 25, n. 10, p. 1194-1205, 2016. DOI: 10.1111/geb.12475. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12475>. Acesso em: 25 mar. 2026.

GONÇALVES, André L.S. et al. Composition of terrestrial mammal assemblages and their habitat use in unflooded and flooded blackwater forests in the Central Amazon. **PeerJ**, London v. 10, p. e14374, 2022. DOI: 10.7717/peerj.14374. Disponível em: <https://peerj.com/articles/14374/>. Acesso em 25 mar. 2026

GONÇALVES, Carlos W. P. **Amazônia, Amazônias**. São Paulo: Contexto, 2005. 179 p.

HERRERA, Rafael et al. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciencia**, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 223-231, 1978.

HIRT, Myriam R. et al. Rethinking trophic niches: Speed and body mass colimit prey space of mammalian predators. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. 7094-7105, 2020. DOI: 10.1002/ece3.6411. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6411>. Acesso em: 25 mar. 2026.

HOLZMANN, Kim L. et al. Net primary productivity but not its remote-sensing proxies predict mammal diversity in Andean-Amazonian rainforests. **Ecology**, Washington, D. C., v. 106, n. 3, p. e70059, 2025. DOI: 10.1002/ecy.70059. Disponível em:

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecy.70059>. Acesso em: 25 mar. 2026.

ICMBio. **Sumário executivo do plano de ação nacional para a conservação das aves da Amazônia**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2016

KABAT, Pavel et al. (Ed.). **Vegetation, water, humans and the climate: A new perspective on an interactive system**. [Dordrecht]: Springer Science & Business Media, 2012.

KALASCKA, Margaret et al. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. **Forest ecology and management**, 200(1-3), 227-247, 2004. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112704004918>. Acesso em: 18 mai. 2028.

KHALIQ, Imran et al. Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, [Dordrecht], v. 281, n. 1789, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.1097. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rspb/article-abstract/281/1789/20141097/77219/Global-variation-in-thermal-tolerances-and?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 25 mar. 2026.

KRAFT, Nathan JB et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional ecology**, London, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015. DOI: 10.1111/1365-2435.12345. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2435.12345>. Acesso em: 25 mar. 2026

KONDOH, Michio. Unifying the relationships of species richness to productivity and disturbance. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 268, n. 1464, p. 269-271, 2001. DOI: 10.1098/rspb.2000.1384. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rspb/article-abstract/268/1464/269/71056/Unifying-the-relationships-of-species-richness-to>. Acesso em: 18 mai. 2026.

LASMAR, Chaim J. et al. Temperature and productivity distinctly affect the species richness of ectothermic and endothermic multitrophic guilds along a tropical elevational gradient. **Oecologia**, [Berlin, Heidelberg], v. 197, n. 1, p. 243-257, 2021. DOI: 10.1007/s00442-021-05011-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-021-05011-9>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LACHER JR, Thomas E. et al. The functional roles of mammals in ecosystems. **Journal of mammalogy**, Oxford, v. 100, n. 3, p. 942-964, 2019. DOI: 10.1093/jmammal/gyy183. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article-abstract/100/3/942/5498004?login=false>. Acesso em: 25 mar. 2026

LEFCHECK, Jonathan S. piecewiseSEM: Piecewise structural equation modelling in r for ecology, evolution, and systematics. **Methods in ecology and evolution**, [S. l.] v. 7, n. 5, p. 573-579, 2016. DOI: 10.1111/2041-210X.12512. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12512>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LI, Luyi et al. Exploring the individualized effect of climatic drivers on MODIS net primary productivity through an explainable machine learning framework. **Remote Sensing**, Basel, v.

14, n. 17, p. 4401, 2022. DOI: 10.3390/rs14174401. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/17/4401>. Acesso em: 25 mar. 2026.

LYU, Tianshu et al. Convergent genomic signatures of high-altitude adaptation among six independently evolved mammals. **Animals**, Basel, v. 12, n. 24, p. 3572, 2022. DOI: 10.3390/ani12243572. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/24/3572>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MITCHELL, Duncan; FULLER, Andrea & MALONEY, Shane K. Homeothermy and primate bipedalism: is water shortage or solar radiation the main threat to baboon (*Papio hamadryas*) homeothermy? **Journal of Human Evolution**, Amsterdam, v. 56, n. 5, p. 439-446, 2009. DOI: 10.1016/j.jhevol.2009.03.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0047248409000396>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MITCHELL, Duncan et al. Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 87, n. 4, p. 956-973, 2018. DOI: 10.1111/1365-2656.12818. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.12818>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MITTELBAACH, Gary G. & SCHEMSKE, Douglas W. Ecological and evolutionary perspectives on community assembly. **Trends in ecology & evolution**, Amsterdam, v. 30, n. 5, p. 241-247, 2015. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(15\)00048-8](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(15)00048-8). Acesso em: 25 mar. 2026.

MÜNKEMÜLLER, Tamara et al. Dos and don'ts when inferring assembly rules from diversity patterns. **Global Ecology and Biogeography**, [Hoboken], v. 29, n. 7, p. 1212-1229, 2020. DOI: 10.1111/geb.13098. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.13098>. Acesso em: 25 mar. 2026.

NIKLAUS, P. A., BARUFFOL, M., HE, J. S., MA, K., & Schmid, B. (2017). Can niche plasticity promote biodiversity–productivity relationships through increased complementarity?. **Ecology**, 1104-1116. Acesso em: 18 mai. 2026.

O'CONNOR, Mary I.; GILBERT, Benjamin & BROWN, Christopher J. Theoretical predictions for how temperature affects the dynamics of interacting herbivores and plants. **The American Naturalist**, Chicago, v. 178, n. 5, p. 626-638, 2011. DOI: 10.1086/662171. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/662171>. Acesso em: 25 mar. 2026.

OWEN, James G. Patterns of mammalian species richness in relation to temperature, productivity, and variance in elevation. **Journal of mammalogy**, Oxford, v. 71, n. 1, p. 1-13, 1990. DOI: 10.2307/1381311. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article-abstract/71/1/1/984468?login=false>. Acesso em: 25 mar. 2026

PAGLIA, Adriano et al. *Lista anotada dos mamíferos do Brasil / Annotated checklist of Brazilian mammals*. 2. ed. Arlington, VA: **Conservation International**, 2012. (Occasional papers in conservation biology, n. 6). 76 p.

PAU, Stephanie et al. Tropical forest temperature thresholds for gross primary productivity. **Ecosphere**, [S. L.] v. 9, n. 7, p. e02311, 2018. DOI: 10.1002/ecs2.2311.

Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.2311>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PETERS, Marcell K. et al. Predictors of elevational biodiversity gradients change from single taxa to the multi-taxa community level. **Nature communications**, London, v. 7, n. 1, p. 13736, 2016. DOI: 10.1038/ncomms13736. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms13736>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PORTER, Warren P. & GATES, David M. Thermodynamic equilibria of animals with environment. **Ecological monographs**, Washington, D. C., v. 39, n. 3, p. 227-244, 1969. DOI: 10.2307/1948545. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1948545>. Acesso em: 26 mar. 2026.

RABE, Jack W. et al. Prey size mediates interference competition and predation dynamics in a large carnivore community. **Communications biology**, London, v. 8, n. 1, p. 424, 2025. DOI: 10.1038/s42003-025-07779-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s42003-025-07779-5>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RIDDELL, Eric A. et al. Cooling requirements fueled the collapse of a desert bird community from climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [St Louis], v. 116, n. 43, p. 21609-21615, 2019. DOI: 10.1073/pnas.1908791111. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1908791116>. Acesso em 25 mar. 2026.

RITCHIE, Euan G. & JOHNSON, Christopher N. Predator interactions, mesopredator release and biodiversity conservation. **Ecology letters**, [Hoboken] v. 12, n. 9, p. 982-998, 2009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01347.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2009.01347.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.

ROCHA, Miguel. et al. Comfort over safety: thermoregulation overshadows predation risk effects in the activity of a keystone prey. **Journal of Zoology**, [Hoboken] v. 316, n. 3, p. 209-222, 2022. DOI: 10.1111/jzo.12947. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jzo.12947>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RÖDIG, Edna et al. The importance of forest structure for carbon fluxes of the Amazon rainforest. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, p. 054013, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aabc6. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabc61/meta> Acesso em: 18 mai. 2026.

RUPERTO, Emmanuel Fabián et al. Behavioral plasticity in two endemic rodents from the Andes Mountains: strategies for thermal and energetic balance. **Mammalian Biology**, [S. l.], v. 102, n. 5, p. 1661-1671, 2022. DOI: 10.1007/s42991-022-00263-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42991-022-00263-1>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SCHRAMA, Maarten et al. Food web assembly at the landscape scale: using stable isotopes to reveal changes in trophic structure during succession. **Ecosystems**, v. 16, n. 4, p. 627-638, 2013. DOI: 10.1007/s10021-013-9636-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-013-9636-5>. Acesso em: 18 mai. 2026.

SHERIDAN, Jennifer A. & BICKFORD, David. Shrinking body size as an ecological response to climate change. **Nature climate change**, [S. l.], v. 1, n. 8, p. 401-406, 2011. DOI:

10.1038/nclimate1259. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1259>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SMITH, Felisa A. et al. The evolution of maximum body size of terrestrial mammals. **science**, [Berlin, Heidelberg], v. 330, n. 6008, p. 1216-1219, 2010. DOI: 10.1126/science.1194830. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1194830>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SMITH, Felisa A.; LYONS, S. Kathleen. How big should a mammal be? A macroecological look at mammalian body size over space and time. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [London] v. 366, n. 1576, p. 2364-2378, 2011. DOI: 10.1098/rstb.2011.0067. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article-abstract/366/1576/2364/21624/How-big-should-a-mammal-be-A-macroecological-look?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 25 mar. 2026.

STIEGLER, Jonas et al. The heat is on: impacts of rising temperature on the activity of a common European mammal. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Potsdam, v. 11, p. 1193861, 2023. DOI: 10.3389/fevo.2023.1193861. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2023.1193861/full>. Acesso em: 25 mar. 2026.

STONER, David C. et al. Climatically driven changes in primary production propagate through trophic levels. **Global Change Biology**, [Hoboken], v. 24, n. 10, p. 4453-4463, 2018. DOI: 10.1111/gcb.14364. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14364>. Acesso em: 25 mar. 2026.

STORCH, David; BOHDALKOVÁ, Eliška & OKIE, Jordan. The more-individuals hypothesis revisited: the role of community abundance in species richness regulation and the productivity–diversity relationship. **Ecology letters**, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.12941>. Acesso em: 25 mar. 2026.

STORCH, David; OKIE, Jordan G. The carrying capacity for species richness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 10, p. 1519-1532, 2019. DOI: 10.1111/geb.12987. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12987>. Acesso em: 18 mai. 2026.

THOMPSON, Patrick L. et al. A process-based metacommunity framework linking local and regional scale community ecology. **Ecology letters**, [Hoboken], v. 23, n. 9, p. 1314-1329, 2020. DOI: 10.1111/ele.13568. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.13568>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TILMAN, David. The resource-ratio hypothesis of plant succession. **The American Naturalist**, Chicago, v. 125, n. 6, p. 827-852, 1985. DOI: 10.1086/284382. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/284382>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TOURANI, Mahdieh et al. Maximum temperatures determine the habitat affiliations of North American mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [Washington, D. C.], v. 120, n. 50, p. e2304411120, 2023. DOI: 10.1073/pnas.2304411120. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2304411120>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TOWNSEND, Colin R. & HILDREW, Alan G. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. **Freshwater biology**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 265-275, 1994. DOI:

10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x>. Acesso em: 25 mar. 2026.

VAN BEEST, Floris M.; VAN MOORTER, Bram & MILNER, Jos M. Temperature-mediated habitat use and selection by a heat-sensitive northern ungulate. **Animal behaviour**, Amsterdam, v. 84, n. 3, p. 723-735, 2012. DOI: 10.1016/j.anbehav.2012.06.032. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003347212003065>. Acesso em: 25 mar. 2026.

VAN SCHAIK, Thomas; VAN KUIJK, Marijke & STERCK, Elisabeth HM. Understanding mesopredator responses to changes in apex predator populations in Europe: implications for the mesopredator release hypothesis. **Mammal Review**, [Hoboken] v. 55, n. 1, p. e12357, 2025. DOI: 10.1111/mam.12357. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mam.12357>. Acesso em: 25 mar. 2026.

VERZUH, Tana L. et al. Behavioural responses of a large, heat-sensitive mammal to climatic variation at multiple spatial scales. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 92, n. 3, p. 619-634, 2023. DOI: 10.1111/1365-2656.13873. Disponível em:
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2656.13873>. Acesso em: 25 mar. 2026.

WAIDE, R. B. et al. The relationship between productivity and species richness. **Annual review of Ecology and Systematics**, [S. l.] v. 30, n. 1, p. 257-300, 1999. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.30.1.257. Disponível em:
<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.257>. Acesso em: 25 mar. 2026.

WEN, Zhixin et al. Altitudinal dispersal process drives community assembly of montane small mammals. **Ecography**, Lund, v. 2022, n. 9, p. e06318, 2022. DOI: 10.1111/ecog.06318. Disponível em:
<https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecog.06318>. Acesso em: 25 mar. 2026.

WRIGHT, David Hamilton. Species-energy theory: an extension of species-area theory. **Oikos**, [Hoboken], p. 496-506, 1983. DOI: 10.2307/3544109. Disponível em:
<https://www.jstor.org/stable/3544109>. Acesso em: 25 mar. 2026.

ZHANG, Lijin et al. Topography and soil properties determine biomass and productivity indirectly via community structural and species diversity in karst forest, Southwest China. **Sustainability**, Basel v. 14, n. 13, p. 7644, 2022. DOI: 10.3390/su14137644. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/13/7644>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1: Espécies de mamíferos de médio e grande porte registrados em seis dos nove países que compõem a Pan-Amazônia.

Espécie	País
<i>Atelocynus microtis</i>	Bolívia; Brasil; Equador; Peru
<i>Blastocerus dichotomus</i>	Bolívia
<i>Cabassous centralis</i>	Colômbia; Equador
<i>Cabassous sp</i>	Brasil
<i>Cabassous unicinctus</i>	Brasil; Equador; Guiana Francesa
<i>Cerdocyon thous</i>	Brasil; Colômbia
<i>Cuniculus paca</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Bolívia
<i>Dasyprocta prymnolopha</i>	Brasil
<i>Dasyprocta azarae</i>	Brasil
<i>Dasyprocta croconota</i>	Brasil
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Brasil; Colômbia; Equador; Peru
<i>Dasyprocta leporina</i>	Brasil; Guiana Francesa
<i>Dasyprocta punctata</i>	Colômbia; Equador
<i>Dasyprocta sp</i>	Brasil; Peru
<i>Dasyprocta variegata</i>	Bolívia; Peru
<i>Dasypus beniensis</i>	Brasil
<i>Dasypus kappleri</i>	Bolívia; Brasil; Equador; Guiana Francesa
<i>Dasypus novemcinctus</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Dasypus septemcinctus</i>	Brasil
<i>Dasypus sp</i>	Brasil; Guiana Francesa; Peru
<i>Dicotyles tajacu</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Didelphis imperfecta</i>	Guiana Francesa
<i>Didelphis marsupialis</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Didelphis sp</i>	Brasil; Guiana Francesa
<i>Dinomys branickii</i>	Brasil
<i>Eira barbara</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Euphractus sexcinctus</i>	Bolívia; Brasil
<i>Galictis sp</i>	Brasil
<i>Galictis vittata</i>	Brasil; Colômbia
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Guiana Francesa; Peru
<i>Hydrochoerus isthmius</i>	Colômbia
<i>Leopardus pardalis</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Leopardus sp</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Peru
<i>Leopardus tigrinus</i>	Bolívia
<i>Leopardus wiedii</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Bolívia
<i>Mazama americana</i>	Bolívia; Brasil; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Mazama gouazoubira</i>	Brasil
<i>Mazama sp</i>	Brasil; Equador; Peru
<i>Myoprocta acouchy</i>	Brasil; Guiana Francesa

Espécie	País
<i>Myoprocta pratti</i>	Brasil; Equador; Peru
<i>Myoprocta sp</i>	Brasil; Colômbia
<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Nasua narica</i>	Equador
<i>Nasua nasua</i>	Bolívia; Brasil; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Odocoileus virginianus</i>	Colômbia
<i>Panthera onca</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Passalites nemorivagus</i>	Bolívia; Brasil; Guiana Francesa; Peru
<i>Priodontes maximus</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Procyon cancrivorus</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Puma concolor</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Speothos venaticus</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Sylvilagus sp</i>	Bolívia; Brasil; Equador; Peru
<i>Tamandua mexicana</i>	Colômbia; Equador
<i>Tamandua tetradactyla</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Tapirus terrestres</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru
<i>Tayassu pecari</i>	Bolívia; Brasil; Colômbia; Equador; Guiana Francesa; Peru

Tabela S2: Espécies de mamíferos de médio e grande porte, classificados em guildas tróficas, registrados ao longo da Pan-Amazônia.

Guilda Trófica	Espécies
Herbívoros	<i>Cuniculus paca</i> ; <i>Cuniculus taczanowskii</i> ; <i>Dasyprocta azarae</i> ; <i>Dasyprocta croconata</i> ; <i>Dasyprocta fuliginosa</i> ; <i>Dasyprocta leporina</i> ; <i>Dasyprocta prymnolopha</i> ; <i>Dasyprocta punctata</i> ; <i>Dasyprocta variegata</i> ; <i>Dinomys branickii</i> ; <i>Myoprocta acouchy</i> ; <i>Myoprocta pratti</i> ; <i>Blastocerus dichotomus</i> ; <i>Mazama americana</i> ; <i>Mazama gouazoubira</i> ; <i>Odocoileus virginianus</i> ; <i>Passalites nemorivagus</i> ; <i>Tapirus terrestris</i> ; <i>Tayassu pecari</i>
Onívoros	<i>Cerdocyon thous</i> ; <i>Didelphis imperfecta</i> ; <i>Didelphis marsupialis</i> ; <i>Eira barbara</i> ; <i>Nasua narica</i> ; <i>Nasua nasua</i> ; <i>Procyon cancrivorus</i>
Insetívoros	<i>Cabassous centralis</i> ; <i>cabassous unicinctus</i> ; <i>Dasypus beniensis</i> ; <i>Dasypus kappleri</i> ; <i>Dasypus novemcinctus</i> ; <i>Dasypus septemcinctus</i> ; <i>Euphractus sexcinctus</i> ; <i>Tamandua mexicana</i> ; <i>Tamandua tetradactyla</i> ; <i>Myrmecophaga tridactyla</i> ; <i>Priodontes maximus</i>
Carnívoros	<i>Atelocynus microtis</i> ; <i>Galictis vitata</i> ; <i>Herpailurus yagouaroundi</i> ; <i>Leopardus pardalis</i> ; <i>Leopardus tigrinus</i> ; <i>Leopardus wiedii</i> ; <i>Speothos venaticus</i> ; <i>Panthera onca</i> ; <i>Puma concolor</i>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em escala Pan-Amazônica, demonstramos que a temperatura é o principal fator estruturante da comunidade de mamíferos terrestres de médio e grande porte, superando a influência da produtividade primária líquida (PPL). A riqueza de espécies e a intensidade de uso do habitat diminuíram consistentemente com o aumento da temperatura, enquanto a PPL apresentou efeito limitado, restrito a uma relação unimodal fraca com a riqueza e ausência de efeito sobre o uso do habitat.

Os efeitos da temperatura foram predominantemente diretos para herbívoros, onívoros e insetívoros, enquanto carnívoros responderam também a efeitos indiretos mediados pela intensidade de uso do habitat por herbívoros, evidenciando um componente de controle *bottom-up*. Entre as guildas, apenas insetívoros apresentaram padrão distinto, com resposta negativa à PPL e ausência de relação com a temperatura.

Nossos resultados indicam que, em um sistema altamente produtivo como a Amazônia, a limitação energética não é o principal mecanismo estruturante, e que restrições térmicas dominam a organização da comunidade. Mesmo variações relativamente pequenas de temperatura foram suficientes para gerar mudanças significativas na riqueza e na atividade dos mamíferos.

Diante do aquecimento global, esses padrões sugerem redução da riqueza, diminuição do uso do habitat e alterações na estrutura trófica, especialmente em guildas mais sensíveis à temperatura. Estudos futuros devem integrar outras variáveis ambientais e traços funcionais para refinar a previsão das respostas da mastofauna amazônica às mudanças climáticas.