

CIÊNCIA CIDADÃ DOCUMENTA EXPANSÃO DE ESPÉCIES INVASORAS DE *Callithrix* E EXCLUSÃO ESPACIAL DO SAGUI-DA-SERRA ESCURO, *C. aurita*, NO LESTE DO BRASIL

FERREIRA, Maira Cunha^{1*}; MELO, Fabiano Rodrigues de²; HINGST-ZAHER, Erika¹

¹Instituto Butantan, Museu Biológico;

²Universidade Federal de Viçosa (UFV), Centro de Conservação dos Saguis-da-Serra (CCSS)

*mairacf@alumni.usp.br

Resumo

A distribuição original de saguis do gênero *Callithrix* no Brasil, parapátrica e delimitada por barreiras geográficas, foi drasticamente alterada pela ação humana. Naturalmente, *C. jacchus* habita o Nordeste, *C. penicillata* o Cerrado e *C. aurita* as áreas de altitude da Mata Atlântica. Contudo, o tráfico e a soltura de animais expandiram as populações de *C. jacchus* e *C. penicillata* para o leste do país. Esse contato artificial resultou na hibridização com o nativo *C. aurita*, agravando seu risco de extinção. Investigamos a dinâmica espacial e os direcionadores ambientais da ocorrência de *Callithrix* utilizando dados validados de ciência cidadã da plataforma iNaturalist. Todos os registros passaram por triagem manual para identificação de fenótipos híbridos, resultando em 256 registros validados para *C. aurita*, 1.063 para *C. jacchus* e 1.314 para *C. penicillata*. Fenótipos híbridos representaram 31,4% de todos os registros. As análises espaciais, utilizando grids hexagonais, incluíram correlação de Pearson, Modelos Lineares Generalizados Mistos e testes de Qui-Quadrado. As espécies invasoras apresentaram distribuição mais ampla, com *C. penicillata* ocupando 46,3% dos grids, em comparação a 18,4% para *C. aurita*. A análise de correlação confirmou a exclusão espacial da espécie nativa e uma forte associação entre *C. jacchus* e híbridos ($r = 0,90$). Os GLMMs mostraram que *C. aurita* está positivamente associado à altitude e negativamente à urbanização, enquanto as espécies invasoras exibiram o padrão oposto. O conjunto dos resultados reforça a urgência de ações de manejo das populações invasoras para garantir a conservação de *C. aurita* frente à expansão de congêneres exóticos e à hibridização.

Palavras-chave: Bioinvasão. Ecologia. Hibridização. iNaturalist. Mata Atlântica.

Introdução

As distribuições naturais e parapátricas de *Callithrix* no leste brasileiro foram drasticamente alteradas por fatores antropogênicos, como a fragmentação de habitats, urbanização, tráfico e soltura de animais (Gestich et al. 2023, Zaluar et al. 2025). A plasticidade ecológica de *C. jacchus* e *C. penicillata* facilitou sua expansão sobre áreas urbanas e a área de ocorrência de *C. aurita*, espécie de altitude ameaçada que sofre com a hibridização e a perda de integridade populacional (Guimarães-Lopes et al., 2021; Schiel & Souto 2017). Esse cenário impõe desafios à conservação e demanda monitoramento contínuo para estratégias de manejo (Moraes et al. 2019, Malukiewicz et al. 2020), contexto no qual a ciência cidadã surge como ferramenta eficaz (Schneider et al. 2023). A documentação fotográfica disponível em plataformas como iNaturalist, é crucial para o gênero, pois permite validar ocorrências em larga escala e identificar fenótipos híbridos através da pelagem.

Objetivos

Este estudo investiga a dinâmica espacial e os determinantes ambientais da ocorrência de espécies de *Callithrix* no leste do Brasil, utilizando dados curados de ciência cidadã. Especificamente, buscamos identificar variáveis ambientais e antropogênicas associadas à

distribuição de *C. aurita*, *C. jacchus*, *C. penicillata* e seus híbridos, e avaliar as correlações espaciais entre esses grupos para testar se a presença de espécies invasoras está associada à exclusão da espécie nativa e à ocorrência de híbridos.

Metodologia

Obtiveram-se registros de "grau de pesquisa" do iNaturalist para *C. aurita*, *C. jacchus* e *C. penicillata* nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, abrangendo os domínios da Mata Atlântica e transição para o Cerrado até março de 2025. O processamento envolveu filtragem de registros duplicados, imprecisos ou incompletos e uma triagem visual para excluir imagens de baixa qualidade. Em seguida, as imagens foram identificadas manualmente identificando fenótipos híbridos por critérios de pelagem da literatura (Cezar et al. 2023, Malukiewicz et al. 2024).

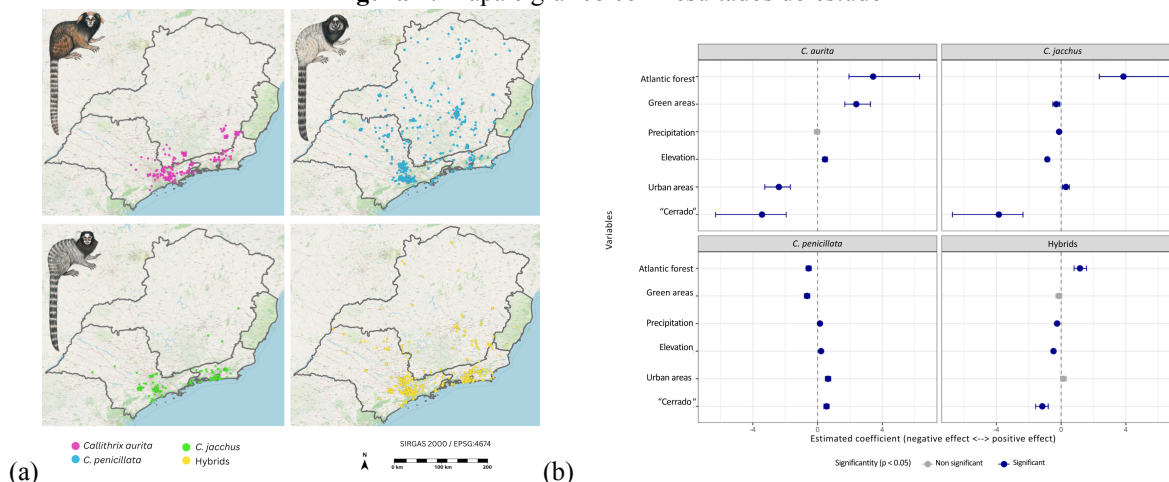
Para avaliar a confiabilidade inter-observador, 100 registros foram reclassificados por um especialista (F.R. Melo). A concordância foi analisada pelo coeficiente Kappa de Cohen e testes de Qui-Quadrado e Exato de Fisher, seguindo práticas recomendadas para ciência cidadã. No software QGIS (v. 3.44.0), registros e variáveis ambientais (MapBiomas, WorldClim, SRTM e IBGE) foram integrados espacialmente. Utilizou-se correlação de Pearson para testar padrões de coexistência e Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMMs) com distribuição de Poisson para relacionar as contagens aos preditores ambientais, considerando a autocorrelação espacial.

Resultados e Discussão

Após validação de dados do iNaturalist, o conjunto final totalizou 2.633 registros validados. As proporções resultantes foram: *C. penicillata* (38,5%), *C. jacchus* (22,0%), *C. aurita* (8,0%) e uma expressiva parcela de híbridos fenotípicos (31,4%). A validação entre o triador e o especialista apresentou 73% de concordância geral, com Kappa de 0,227 e associação estatística significativa ($p < 0,05$) (Figura 1a).

Os GLMMs (Figura 1b) revelaram a ocorrência de *Callithrix aurita* associada positivamente com a altitude e negativamente com a urbanização, confirmando sua restrição a remanescentes florestais de maior altitude. Em contraste, os invasores e híbridos estão associados a ambientes alterados, com *C. jacchus* e híbridos concentrados em baixas altitudes da Mata Atlântica, enquanto *C. penicillata* associa-se positivamente ao Cerrado, altitude e precipitação, padrão que pode refletir tanto a expansão da espécie quanto registros dentro de sua área de ocorrência nativa.

Figura 1: Mapa e gráfico com resultados do estudo



Legenda: (1a) Mapa com dados de observações validados de cada espécie e híbridos; (1b) Gráfico com resultados do GLMM, organizado por espécie e híbridos.

Conclusão

Este estudo corrobora o status crítico de conservação de *Callithrix aurita*, evidenciando sua exclusão espacial progressiva frente à expansão de *C. jacchus*, *C. penicillata*. A ocorrência da espécie nativa restringe-se a remanescentes florestais de maior altitude, enquanto as espécies invasoras e os híbridos concentram-se em áreas urbanizadas. A elevada proporção de fenótipos híbridos (31,4%) e a forte correlação entre *C. jacchus* e híbridos indicam que a hibridização é um processo extensivo, que compromete a persistência das populações remanescentes da espécie nativa.

Os resultados demonstram ainda que dados validados de ciência cidadã constituem uma ferramenta eficaz para o monitoramento dessa dinâmica em larga escala. O manejo ativo de populações invasoras, aliado ao monitoramento contínuo, é essencial para a conservação de *C. aurita*.

Referências

- CEZAR, A. M. *et al.* Morphological and Genetic Variation Among *Callithrix* Hybrids in Rio de Janeiro, Brazil. **Evolutionary Biology**, [s. l.], v. 50, n. 3, p. 365–380, 2023. DOI: 10.1007/s11692-023-09610-7. Acesso em: 29 mar. 2026.
- GESTICH, C. C. *et al.* Local and Landscape Contrasts of the Occurrence of Native and Invasive Marmosets in the Atlantic Forest Biome. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 32, n. 10, p. 3379–3396, 2023. DOI: 10.1007/s10531-023-02668-x. Acesso em: 29 mar. 2026.
- GUIMARÃES-LOPES, V. D. P. *et al.* Histometric parameters of the large intestine of hybrid marmosets *Callithrix* sp. under the influence of seasonality. **Anatomia, Histologia, Embriologia**, [s. l.], v. 50, p. 888–896, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ahe.12732>. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MALUKIEWICZ, J. *et al.* An Introduction to the *Callithrix* Genus and Overview of Recent Advances in Marmoset Research. **ILAR Journal**, [s. l.], v. 61, n. 2-3, p. 110–138, 2020. DOI: 10.1093/ilar/ilab027. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MALUKIEWICZ, J. *et al.* Pelage Variation and Morphometrics of Closely Related *Callithrix* Marmoset Species and Their Hybrids. **BMC Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 1–15, 2024. DOI: 10.1186/s12862-024-02305-3. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MORAES, A. M. *et al.* Predicting the Potential Hybridization Zones between Native and Invasive Marmosets within Neotropical Biodiversity Hotspots. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. e00706, 2019. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00706. Acesso em: 29 mar. 2026.
- SCHIEL, N.; SOUTO, A. The Common Marmoset: An Overview of Its Natural History, Ecology and Behavior. **Developmental Neurobiology**, [s. l.], v. 77, n. 3, p. 244–262, 2017. DOI: 10.1002/dneu.22458. Acesso em: 29 mar. 2026.
- SCHNEIDER, L. M. *et al.* Peregrine Falcon *Falco peregrinus* in Brazil: natural history through the lens of citizen science. **Ornitologia Neotropical**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 43–52, 2023. Acesso em: 29 mar. 2026.
- ZALUAR, M. T. *et al.* Invasive marmosets and conservation of the biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Oecologia Australis**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 283–292, 2025. DOI: 10.4257/oeco.2025.2904.01. Acesso em: 29 mar. 2026.

CIÊNCIA CIDADÃ DOCUMENTA EXPANSÃO DE ESPÉCIES INVASORAS DE *Callithrix* E EXCLUSÃO ESPACIAL DO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, *C. aurita*, NO LESTE DO BRASIL

AUTORES: Ferreira, Maíra Cunha¹, De Melo, Fabiano², Hingst-Zaher, Erika¹;

¹Instituto Butantan, ²Universidade Federal de Viçosa

mairacf@alumni.usp.br



INTRODUÇÃO

As distribuições naturais e parapátricas de *Callithrix* no leste brasileiro foram drasticamente alteradas por fatores antropogênicos, como a fragmentação de habitats, urbanização, tráfico e soltura de animais (Gestich et al. 2023, Zaluvar et al. 2025). A plasticidade ecológica de *C. jacchus* e *C. penicillata* facilitou sua expansão sobre áreas urbanas e a área de ocorrência de *C. aurita*, espécie de altitude, **ameaçada**, que sofre com a hibridização e a perda de integridade populacional (Gestich et al. 2023, Zaluvar et al. 2025). Esse cenário impõe **desafios** à conservação e demanda monitoramento contínuo para estratégias de manejo (Moraes et al. 2019, Malukiewicz et al. 2020), contexto no qual a **ciência cidadã** surge como ferramenta eficaz (Schneider et al. 2023). A documentação fotográfica disponível em plataformas como iNaturalist, é crucial para o gênero, pois permite **validar** ocorrências em larga escala e identificar fenótipos híbridos através da pelagem.

OBJETIVOS

Este estudo investiga a **dinâmica espacial** e os **determinantes ambientais** da ocorrência de espécies de *Callithrix* no leste do Brasil, utilizando dados validados de ciência cidadã. Especificamente, buscamos identificar **variáveis ambientais e antropogênicas** associadas à distribuição de *C. aurita*, *C. jacchus*, *C. penicillata* e seus híbridos, e avaliar as **correlações** espaciais entre esses grupos para testar se a presença de espécies invasoras está **associada** à exclusão da espécie nativa e à ocorrência de híbridos.

METODOLOGIA



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após validação de dados do iNaturalist, o conjunto final totalizou **2.633 registros validados**. As proporções resultantes foram: ***C. penicillata* (38,5%), *C. jacchus* (22,0%), *C. aurita* (8,0%) e uma expressiva parcela de híbridos fenotípicos (31,4%)**. A validação entre o triador e o especialista apresentou 73% de concordância geral, com Kappa de 0,227 e associação estatística significativa ($p < 0,05$) (**Figura 1**).

Os GLMMs (**Figura 2**) revelaram a ocorrência de *Callithrix aurita* associada positivamente com a altitude e negativamente com a urbanização, confirmando sua restrição a remanescentes florestais de maior altitude. Em contraste, os **invasores e híbridos** estão associados a ambientes alterados, com *C. jacchus* e híbridos concentrados em baixas altitudes da Mata Atlântica, enquanto *C. penicillata* associa-se positivamente ao Cerrado, altitude e precipitação, padrão que pode refletir tanto a **expansão** da espécie quanto registros dentro de sua área de ocorrência nativa.

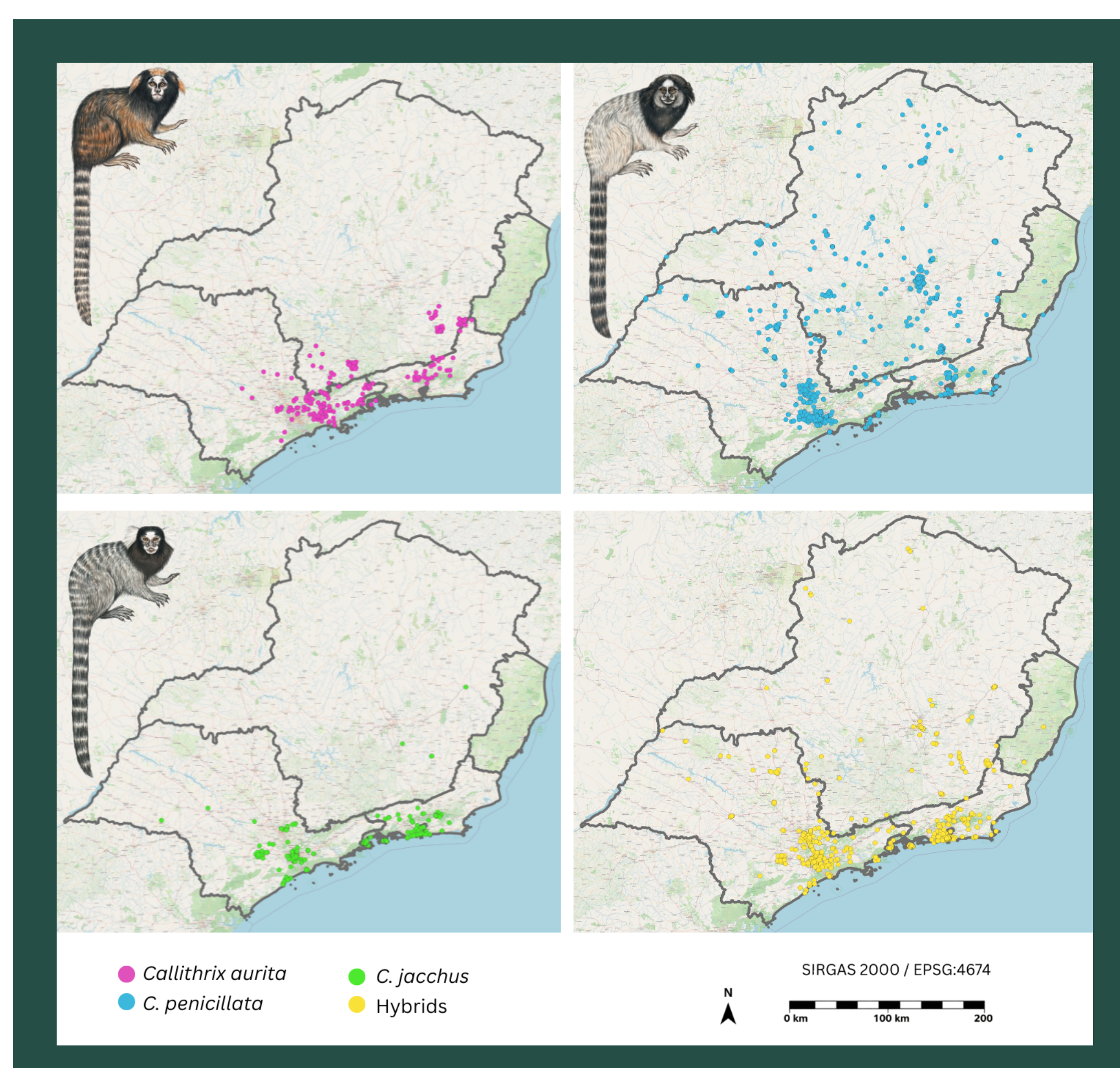


Figura 1: Mapa com dados de observações validados de cada espécie e híbridos

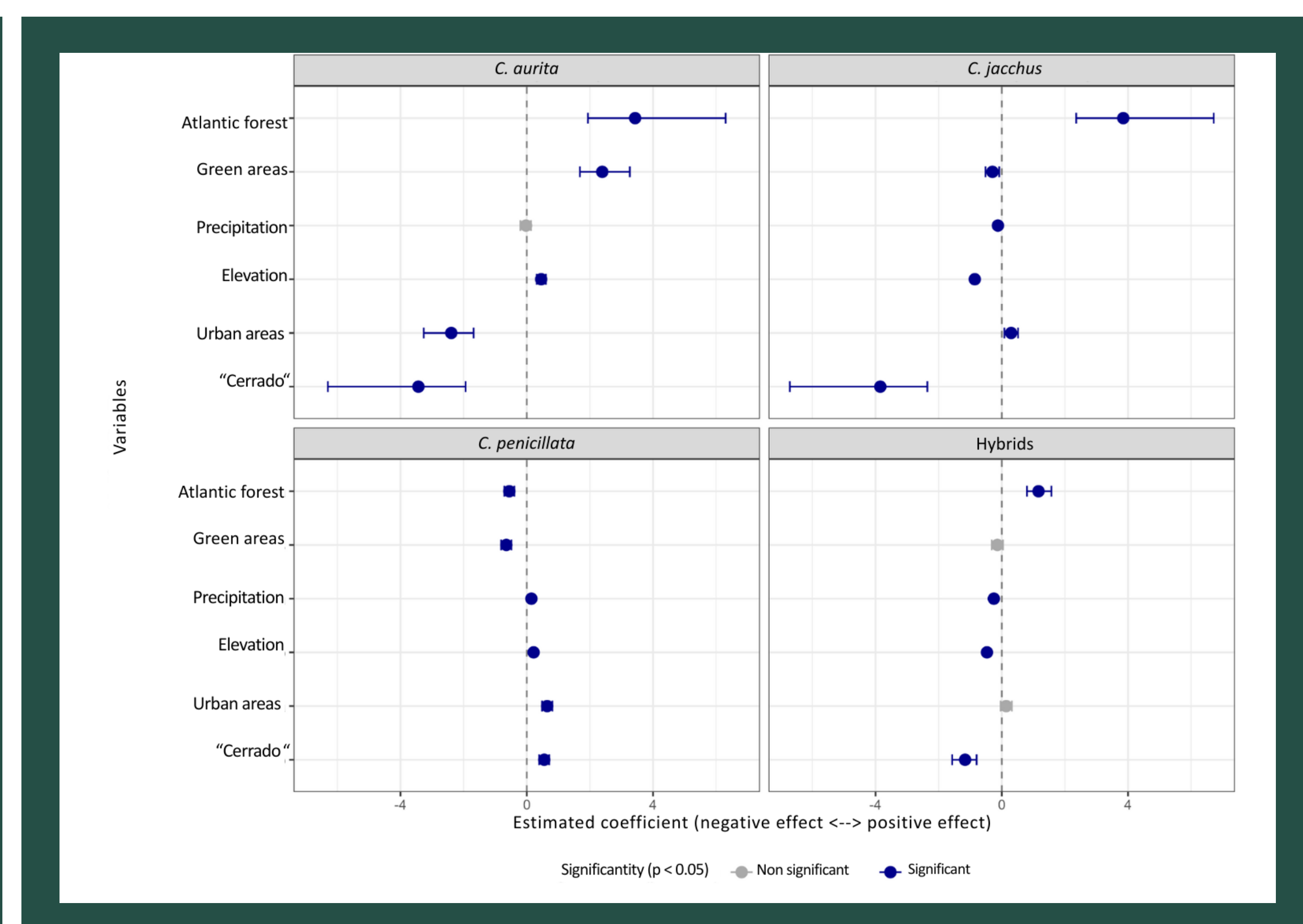


Figura 2: Gráfico com resultados do GLMM, organizado por espécie e híbridos.

CONCLUSÃO

Este estudo corrobora o status crítico de conservação de *Callithrix aurita*, evidenciando sua **exclusão espacial progressiva** frente à expansão de *C. jacchus* e *C. penicillata*. A ocorrência da espécie nativa restringe-se a remanescentes florestais de maior altitude, enquanto as **espécies invasoras e os híbridos concentram-se em áreas urbanizadas**. A elevada proporção de fenótipos híbridos (31,4%) e a forte correlação entre *C. jacchus* e híbridos indicam que a **hibridização é um processo extensivo**, que compromete a persistência das populações remanescentes da espécie nativa. Os resultados demonstram ainda que dados validados de ciência cidadã constituem uma **ferramenta eficaz para o monitoramento** dessa dinâmica em larga escala. O manejo ativo de populações invasoras, aliado ao monitoramento contínuo, é essencial para a conservação de *C. aurita*.

REFERÊNCIAS

- CEZAR, A. M. et al. Morphological and Genetic Variation Among Callithrix Hybrids in Rio de Janeiro, Brazil. *Evolutionary Biology*, [s. l.], v. 50, n. 3, p. 365–380, 2023. DOI: 10.1007/s11692-023-09610-7. Acesso em: 29 mar. 2026.
- GESTICH, C. C. et al. Local and Landscape Contrasts of the Occurrence of Native and Invasive Marmosets in the Atlantic Forest Biome. *Biodiversity and Conservation*, [s. l.], v. 32, n. 10, p. 3379–3396, 2023. DOI: 10.1007/s10531-023-02668-x. Acesso em: 29 mar. 2026.
- GUIMARÃES-LOPES, V. D. P. et al. Histometric parameters of the large intestine of hybrid marmosets Callithrix sp. under the influence of seasonality. *Anatomia, Histologia, Embriologia*, [s. l.], v. 50, p. 888–896, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ah.12732>. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MALUKIEWICZ, J. et al. An Introduction to the Callithrix Genus and Overview of Recent Advances in Marmoset Research. *ILAR Journal*, [s. l.], v. 61, n. 2-3, p. 110–138, 2020. DOI: 10.1093/ilar/ilab027. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MALUKIEWICZ, J. et al. Pelage Variation and Morphometrics of Closely Related Callithrix Marmoset Species and Their Hybrids. *BMC Ecology and Evolution*, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 1–15, 2024. DOI: 10.1186/s12862-024-02305-3. Acesso em: 29 mar. 2026.
- MORAES, A. M. et al. Predicting the Potential Hybridization Zones between Native and Invasive Marmosets within Neotropical Biodiversity Hotspots. *Global Ecology and Conservation*, [s. l.], v. 20, n. 1, p. e00706, 2019. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00706. Acesso em: 29 mar. 2026.
- SCHIEL, N.; SOUTO, A. The Common Marmoset: An Overview of Its Natural History, Ecology and Behavior. *Developmental Neurobiology*, [s. l.], v. 77, n. 3, p. 244–262, 2017. DOI: 10.1002/dneu.22458. Acesso em: 29 mar. 2026.
- SCHNEIDER, L. M. et al. Peregrine Falcon Falco peregrinus in Brazil: natural history through the lens of citizen science. *Ornitologia Neotropical*, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 43–52, 2023. Acesso em: 29 mar. 2026.
- ZALUAR, M. T. et al. Invasive marmosets and conservation of the biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest. *Oecologia Australis*, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 283–292, 2025. DOI: 10.4257/oeco.2025.2904.01. Acesso em: 29 mar. 2026.