



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais
Laboratório de Zoologia de Vertebrados



Modelagem de nicho ecológico em espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* (Anura: Hylodidae)

Aluna: Gabriela Luiza de Deus

Orientadora: Prof. Dra. Maria Rita Silvério Pires

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silva de Paula

Ouro Preto - MG

2022

Modelagem de nicho ecológico em espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* (Anura: Hylodidae)

Aluna: Gabriela Luiza de Deus

Orientadora: Prof. Dra. Maria Rita Silvério Pires

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silva de Paula

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito de obtenção de título de Mestre em Ecologia.

Ouro Preto - MG

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D278m De Deus, Gabriela Luiza.

Modelagem de nicho ecológico em espécies do grupo Hylodes lateristrigatus (Anura: Hylodidae). [manuscrito] / Gabriela Luiza De Deus. - 2022.

59 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Maria Rita Silvério Pires.

Coorientador: Prof. Alexandre Silva De Paula.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente.

Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais.

Área de Concentração: Evolução e Funcionamento de Ecossistemas.

1. Mata Atlântica. 2. Mudanças climáticas. 3. Fauna e Flora. I. De Paula, Alexandre Silva. II. Pires, Maria Rita Silvério. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 574

Bibliotecário(a) Responsável: Luciana De Oliveira - SIAPE: 1.937.800



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriela Luiza de Deus

Modelagem de Nicho Ecológico em Espécies do Grupo *Hylodes lateristrigatus* (Anura: Hylodidae)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia de Biomas Tropicais

Aprovada em 22 de fevereiro de 2022

Membros da banca

Dra. Maria Rita Silvério Pires - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Ubirajara Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais
Dra. Rachel Montesinos - Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Maria Rita Silvério Pires, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 16/08/2022



Documento assinado eletronicamente por **Maria Rita Silverio Pires, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/08/2022, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0381670** e o código CRC **46E97E73**.

Epígrafe

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças. ”

Leon C. Megginson

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Manoel e Auxiliadora, que me incentivaram desde sempre a estudar. A minha irmã, Manuela, por sempre ouvir meus pensamentos altos, mesmo sem saber do que estou falando exatamente. A presença de vocês nos piores e melhores momentos, sempre me motivou a seguir em frente.

Agradeço à orientadora Maria Rita Silvério Pires, que muito mais do que me guiar durante todos esses anos na universidade, sempre me cuidou com o carinho de uma mãe. Não desistiu desse projeto, mesmo quando não fazia parte integralmente e não pensou duas vezes ao me acolher na metade do trajeto.

Agradeço ao Alexandre Silva de Paula, que me acolheu com muita paciência e me orientou em cada etapa desse projeto, sempre com muito bom humor, dedicação e excelentes conselhos. Sem a sua ajuda, eu, literalmente, não teria saído do lugar.

Agradeço aos pesquisadores Rachel Montesinos, Emannuel Teixeira e Adriano Silveira, por me ajudarem na coleta de informações e nas recomendações, que contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço ao Paulo Afonso, companheiro de laboratório, no pouco tempo que passei no LGEP. Você que me orientou como amigo e foi um pontinho de luz nesse mestrado. Agradeço ao Beiral e a Fran, amigos do 19.2, pela ajuda e encorajamento.

Agradeço as meninas do “Time girinos do Turu-Turu”, Tayenne Luna e Débora Bohrer, companheiras de reclamações, de campos e da vida. Obrigada pelas conversas e por toda ajuda emocional durante todos esses anos.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais e a UFOP, por me acolherem como aluna e me proporcionarem conhecimento e a oportunidade de criar laços. Agradeço à FAPEMIG, pela minha bolsa de fomento, que permitiu focar nos meus estudos com maior tranquilidade.

Agradeço a Deus, por ser meu alicerce e meu ouvinte preferido.

Sumário

Resumo.....	6
Abstract	7
Lista de figuras	8
Lista de tabelas.....	9
Lista material suplementar	9
Introdução.....	10
Hipóteses.....	15
Métodos	16
Resultados	21
No caminho da mineração	40
Discussão.....	41
Considerações finais.....	44
Referências.....	45
Material suplementar 1.....	55

Resumo

A Mata Atlântica abriga uma das maiores diversidades de espécies da fauna e flora. Contudo, está entre os biomas mais ameaçados do mundo. Sua complexidade de ambientes sempre verdes e úmidos abriga centenas de espécies de anfíbios anuros, muitas delas endêmicas desse bioma. O gênero *Hylodes* é um dos táxons de anfíbios anuros que se diversificou na Mata Atlântica. As espécies desse gênero são caracterizadas por apresentar comportamento diurno, territorialista e viverem associadas aos riachos de correnteza de altitude. O presente estudo aborda quatro espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* que vivem nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro, *H. babax*, *H. lateristrigatus*, *H. otavioi* e *H. uai*. Essas espécies formam um clado evidenciado pelo compartilhamento características de sinapomorfias baseadas em caracteres morfológicos e moleculares. São espécies pouco conhecidas quanto às tendências populacionais, uma vez que poucas localidades de coleta são disponíveis. Dessa forma, podem ser raras ou apresentar distribuição geográfica restrita, podendo se encontrar ameaçadas pelas mudanças climáticas e perda de hábitat. Este trabalho teve como objetivo analisar as tendências de distribuição das espécies do grupo *H. lateristrigatus* e propor uma metodologia de validação dos modelos de nicho ecológico para espécies com poucos pontos de presença. Os pontos de presença de cada espécie do grupo foram obtidos de plataformas de dados online e da literatura geral disponível. Os dados dos modelos gerados pelo MaxEnt foram comparados com análises realizadas com o programa SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses). Os resultados mostraram que os modelos que utilizam menos parâmetros combinados, em comparação a configuração padrão do MaxEnt, apresentam desempenho melhor, gerando mapas de distribuição potencial mais robustos. Os modelos de distribuição mais simples indicaram que a área de ocorrência potencial do grupo se estende muito além da distribuição conhecida atualmente. O Módulo de Análises de Regressão do SAGA se mostrou uma ferramenta importante para validar os modelos de nicho ecológico. Além disso, as previsões futuras indicaram perda de habitat e declínio das espécies nas próximas décadas, considerando um cenário de aquecimento global em decorrência da ausência de uma política climática.

PALAVRAS-CHAVE: *Hylodes*, MaxEnt, Modelo de nicho ecológico, SAGA

Abstract

The Atlantic Forest is home to one of the greatest diversity of species of fauna and flora. However, it is among the most threatened biomes in the world. Its complexity of evergreen and humid environments is home to hundreds of anuran amphibian species, many of them endemic to this biome. The genus *Hylodes* is one of the anuran amphibian taxa that has diversified in the Atlantic Forest. The species of this genus are characterized by having diurnal, territorial behavior and living associated with high-altitude streams. The present study addresses four species of the *Hylodes lateristrigatus* group that live in the states of Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo and Rio de Janeiro, *H. babax*, *H. lateristrigatus*, *H. otavioi* and *H. uai*. These species form a clade evidenced by the sharing of synapomorphy characteristics based on morphological and molecular characters. These species are little known in terms of population trends, since few collection locations are available. Thus, they may be rare or have a restricted geographic distribution, and may be threatened by climate change and habitat loss. This work aimed to analyze the distribution trends of species of the *H. lateristrigatus* group and to propose a methodology for validating ecological niche models for species with few points of presence. Presence points for each species in the group were obtained from online data platforms and from the general available literature. The data from the models generated by MaxEnt were compared with analyzes performed with the SAGA program (System for Automated Geoscientific Analyses). The results showed that models that use fewer combined parameters, compared to the default MaxEnt configuration, perform better, generating more robust potential distribution maps. The simplest distribution models indicated that the group's potential range of occurrence extends far beyond the currently known distribution. The SAGA Regression Analysis Module proved to be an important tool to validate ecological niche models. In addition, future forecasts indicated habitat loss and species decline in the coming decades, considering a scenario of global warming due to the absence of a climate policy.

KEYWORDS: *Hylodes*, MaxEnt, Ecological Niche Model, SAGA

Lista de figuras

Figura 1: Área de estudo apresentando o limite legal do bioma Mata Atlântica (em verde) e distribuição do grupo *Hylodes lateristrigatus* (*sensu* Pereira 2017) (pontos de presença utilizados nesse estudo).

Figura 2: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes babax*.

Figura 3: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes lateristrigatus*.

Figura 4: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes otavioi*.

Figura 5: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes uai*.

Figura 6: Distribuição potencial da espécie *Hylodes babax* no cenário preditivo de aquecimento global para o futuro (2040).

Figura 7: Distribuição potencial da espécie *Hylodes lateristrigatus* no cenário preditivo de aquecimento global para o futuro (2040).

Figura 8: Distribuição potencial da espécie *Hylodes otavioi* no cenário preditivo de aquecimento global para o futuro (2040).

Figura 9: Distribuição potencial da espécie *Hylodes uai* no cenário preditivo de aquecimento global para o futuro (2040).

Figura 10: Comparação entre a distribuição potencial do grupo *Hylodes lateristrigatus* atual e futura (2040) considerando os melhores modelos de AUC.

Figura 11: Comparação entre a distribuição potencial do grupo *Hylodes lateristrigatus* atual e futura (2040) considerando os melhores modelos obtidos com R².

Figura 12: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial para a espécie *Hylodes babax* (AUC e R²).

Figura 13: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial para a espécie *Hylodes lateristrigatus* (AUC e R²).

Figura 14: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial para a espécie *Hylodes otavioi* (AUC e R²).

Figura 15: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial para a espécie *Hylodes uai* (AUC e R²).

Figura 16: Variação média das variáveis climáticas entre o período atual e futuro (2040) para cada espécie do grupo *Hylodes lateristrigatus*

Figura 17: Distribuição do grupo *Hylodes lateristrigatus* e pontos de áreas de mineração.

Lista de tabelas

Tabela 1: Resultados das análises realizadas no SAGA e da análise de AUC dos modelos de distribuição potencial atual das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*.

Tabela 2: Valores de coeficiente Kappa para comparação entre os cenários preditivos da distribuição potencial para o presente e futuro do grupo *Hylodes lateristrigatus*.

Tabela 3: Sobreposição de áreas de distribuição potencial atual entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo AUC.

Tabela 4: Sobreposição de áreas de distribuição potencial atual entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo R².

Tabela 5: Sobreposição de áreas de distribuição potencial futura (2040) entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo AUC.

Tabela 6: Sobreposição de áreas de distribuição potencial futura (2040) entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo R².

Anexos

Tabela 7: Lista de variáveis climáticas

Lista material suplementar

Tabela 7: Resultados compilados das análises do SAGA e resultados da análise de AUC dos modelos de distribuição potencial atual das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*.

Introdução

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical pluvial do continente americano. Originalmente, o domínio da Mata Atlântica se estendia descontinuamente ao longo do litoral brasileiro, entre o Rio Grande do Norte e o Rio Grande do Sul, além de se estender ao leste do Paraguai, extremo sul da Argentina e ao longo da costa do Uruguai (Galindo-Leal & Câmara 2003). Da vegetação primária original da Mata Atlântica, restam hoje menos de 12% da floresta que existia originalmente (SOS Mata Atlântica & INPE 2020). Essa floresta remanescente está criticamente fragmentada devido à degradação e exploração do ambiente pela ação humana que se iniciou com a colonização do país.

A Mata Atlântica compõe a lista dos “*hotspot*” mundiais de biodiversidade, ou seja, está entre as áreas mais ricas e ameaçadas do planeta (Brooks *et al.* 2002; Myers *et al.* 2000). A Mata Atlântica é caracterizada por variações de latitude, compreendendo a extensão em 17 estados brasileiros, e de altitude, indo do nível do mar, até 2700m (Da Silva & Casteleti 2005). Dessa forma, podem ser observados três tipos de vegetação: a planície costeira, as florestas de encosta e as florestas de alta altitude (Joly 1991). Essa variação de ambientes sustenta uma grande diversidade de microhabitats, o que pode explicar a enorme biodiversidade de flora e fauna que a Mata Atlântica abriga, incluindo uma alta porcentagem de espécies endêmicas. Nesse sentido os anfíbios se destacam, pois dentre os vertebrados, as espécies de anfíbios anuros correspondem ao grupo com maior porcentagem de espécies endêmicas da Mata Atlântica (41%) (Haddad *et al.* 2013).

O Brasil é o país com maior diversidade de anuros, compreendendo 1.144 espécies descritas para a ordem Anura (Segalla *et al.* 2021), sendo que 625 dessas espécies são conhecidas para o bioma Mata Atlântica (Rossa-Feres *et al.* 2017), incluindo os representantes de Hylodidae. Anfíbios são animais caracterizados por apresentarem ciclo de vida com fase larval aquática e fase adulta terrestre, sendo assim, são animais altamente dependentes de ambientes úmidos (Duellman & Trueb 1994), que são os predominantes na Mata Atlântica.

Hylodidae Gunther, 1858 apresenta 46 espécies, distribuídas em 3 gêneros – *Hylodes* Fitzinger; 1826; *Crossodactylus* Duméril & Bibron, 1841 e *Megaelosa* Miranda-Ribeiro, 1923 (Frost 2021). A distribuição geográfica da família Hylodidae inclui as regiões nordeste, sudeste e sul do Brasil e a região noroeste da Argentina (Frost

2021). Esses anuros são popularmente conhecidos como sapos de torrente, uma vez que vivem associados a riachos de correnteza permanentes e de altitude (AmphibiaWeb 2020; Canelas & Bertoluci 2007; Eterovick *et al.* 2020; Pirani *et al.* 2010). Ocupam predominantemente o bioma Mata Atlântica, com exceção de três espécies – *C. bokermanni* (Caramaschi & Sazima, 1985), *H. otavioi* Sazima & Bokermann, 1983 e *C. trachystomus* (Reinhardt & Lutken, 1862) – que também ocorrem em áreas de transição com o bioma Cerrado (Laia & Rocha 2012).

Hylodes Fitzinger, 1826 inclui 26 espécies reunidas em quatro grupos propostos por Heyer (1982): *H. glaber*, *H. lateristrigatus*, *H. mertensi* e *H. nasus* (Frost 2021). O grupo *Hylodes lateristrigatus* (*sensu* Heyer 1982), reúne nove espécies, sendo elas *H. babax* Heyer, 1982; *H. lateristrigatus* (Baumann, 1912); *H. magalhaesi* (Bokermann, 1964); *H. meridionalis* (Mertens, 1927); *H. ornatus* (Bokermann, 1967); *H. otavioi* Sazima & Bokermann, 1982; *H. perplicatus* (Miranda-Ribeiro, 1926); *H. regius* Gouvêa, 1979 e *H. vanzolinii* Heyer, 1982. As espécies desse grupo compartilham características morfológicas como tamanho corpóreo pequeno a moderado, corpo delgado tipo ranóide, dorso liso e com listras na posição dorso-lateral em alguns membros do grupo. Posteriormente, novas espécies foram sendo descritas e alocadas no gênero, tais como *Hylodes amnicola* Pombal, Feio & Haddad, 2002; *H. caete* Malagoli de Sá, Canedo & Haddad 2017; *H. charadranaetes* Heyer & Cocroft, 1986; *H. fredii* Canedo & Pombal 2007; *H. heyeri* Haddad, Pombal & Bastos, 1996; *H. japi* de Sá, Canedo, Lyra & Haddad 2015; *H. perere* Silva & Benmaman 2008; *H. phyllodes* Heyer & Cocroft, 1986; *H. pipilans* Canedo & Pombal 2007; *H. sazimai* Haddad & Pombal, 1995 e *H. uai* Nascimento, Pombal Jr. & Haddad, 2001; completando assim 20 espécies conhecidas para o grupo (Canedo & Pombal 2007; Malagoli *et al.* 2017; Sá *et al.* 2015; Da Silva & Benmaman 2008).

Uma revisão recente sobre o “*status*” atual da filogenia dos hilodídeos com base em caracteres morfológicos e moleculares propôs uma nova composição para o grupo *H. lateristrigatus*, evidenciando quatro espécies mais proximamente relacionadas entre si do que com as demais (Montesinos 2017). Essa nova configuração (*sensu* Montesinos 2017) manteve no grupo *H. lateristrigatus* as espécies *H. babax*, *H. lateristrigatus*, *H. otavioi* e *H. uai* em função do compartilhamento de sinapomorfias entre os indivíduos machos, como franja pré-axial no terceiro dedo que ultrapassa o tubérculo subarticular, uma faixa lateral oblíqua completa e o exoccipital livre, além de evidências moleculares. Essas

quatro espécies ocorrem nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo. Dessa forma, o clado *H. lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017) é o alvo do presente estudo.

Uma característica marcante entre as espécies do gênero *Hylodes* é a atividade diurna. Os machos vocalizam durante o dia em ambientes sombreados próximos a riachos de altitude no interior de florestas à temperatura do ar variando entre 14° e 26°C (Haddad *et al.* 2003; Salles *et al.* 2012; Vrcibradic *et al.* 2014). No grupo *H. lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017), machos de *H. babax* foram observados vocalizando entre 13 e 16 horas no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e às 10 horas na Floresta Estadual do Uaimií. As temperaturas registradas nessas localidades na ocasião foram de 18°C e de 20,2°C, respectivamente, e a altitude de 1021m (Pirani *et al.* 2010). Indivíduos de *Hylodes uai* foram observados vocalizando em diferentes horários durante o dia no Parque das Mangabeiras (Belo Horizonte, Minas Gerais), à temperatura do ar de 26°C, tendo sido observado que sua atividade de vocalização aumentou ao longo da estação chuvosa. É possível que *H. uai* apresente comportamento territorialista, uma vez que foi observado um indivíduo emitindo cantos em dias consecutivos no mesmo local, além do registro de canto territorialista quando o indivíduo foi confrontado por gravação de vocalização de machos vizinhos (Nascimento *et al.* 2001).

Por outro lado, algumas espécies do gênero *Hylodes* podem apresentar atividade noturna. Machos de *H. perere* foram encontrados vocalizando após as 20 horas (Silva & Benmaman 2008), enquanto machos de *H. meridionalis* foram observados vocalizando após à meia noite, apresentando dois registros após à 01:00h (Lingnau *et al.* 2013). Lingnau & Bastos (2007) observaram que, em temperaturas mais baixas, *H. heyeri* apresenta canto de maior duração e a repetição do canto diminui com a elevação da temperatura ao longo do dia, indicando que a duração do canto dessa espécie pode estar associada à temperatura.

Quanto ao estado de conservação, as espécies do grupo *H. lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017) apresentam dados insuficientes para avaliações quanto à ameaça de extinção, sendo categorizadas como “*Data deficient*” (DD) (IUCN 2021). Com exceção da espécie *H. lateristrigatus*, que é categorizada como “*Least concern*” (LC) e tendência populacional indicando diminuição (IUCN 2021). A falta de dados populacionais para as espécies desse grupo é preocupante, pois suas áreas de distribuição se encontram

próximas às áreas de mineração, que é conhecidamente uma das causas de perda de biodiversidade (Pena *et al.* 2017b; Sonter *et al.* 2018). As áreas de distribuição de anuros de topo de montanha da Serra do Espinhaço, Minas Gerais, se encontram direta ou indiretamente impactadas pela mineração (Pena *et al.* (2017). Essa perda de hábitat pode ser potencializada ainda em consequência da exploração madeireira, introdução de espécies invasoras e avanços na agricultura (Hoffmann *et al.* 2010).

Além das ameaças decorrentes da perda de hábitat por mineração ou perda de vegetação, outro fator preocupante para anuros são as mudanças climáticas. Segundo Costa *et al.* (2012), o aquecimento global afeta principalmente os microambientes utilizados por esses animais. Para espécies que apresentam atividade diurna, o aquecimento global é ainda mais preocupante devido ao fato de que os animais estão sujeitos às altas temperaturas do dia quando realizam atividades cruciais para a reprodução, como o encontro de parceiros para reprodução. Em altitudes elevadas, a amplitude térmica pode ser ainda maior durante o período diurno (Navas 1997), o que pode impactar particularmente os anuros do grupo *H. lateristrigatus*. A alta temperatura também pode contribuir para o aumento dos casos de anfíbios infectados por quitridiomycose, doença causada pelo fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* Longcore, Pessier & D. K. Nichols, 1999, apontada como uma das responsáveis pelo declínio de espécies de anfíbios (Pounds *et al.* 2006). Esse fungo já infecta espécies do gênero *Hylodes*, como foi reportado em girinos de *H. magalhaesi*, representando o primeiro registro da contaminação pelo fungo na Mata Atlântica (Toledo *et al.* 2006).

Temperaturas extremas também podem gerar consequências negativas para o metabolismo de anuros. Newman (1988) adverte sobre as alterações na fisiologia desses animais consequentes da exposição por um longo período às condições desfavoráveis do aquecimento global. Assim, pode ocorrer alterações no tempo de metamorfose (Mosavi *et al.* 2017), na locomoção pelo microambiente (Sanabria *et al.* 2013), na taxa de consumo de alimentos (Timpone *et al.* 2020) e na taxa de repetição de vocalização (Röhr & Juncá 2013).

A vocalização exerce importante papel para a reprodução dos anuros. Cada espécie exibe um canto exclusivo, que é emitido pelos machos para atrair as fêmeas para reprodução. Além disso, diferentes tipos de cantos são emitidos para defesa de território, agonia e comunicação entre indivíduos da mesma espécie (Duellman & Trueb 1994).

Qualquer ação extrema que culmine na alteração do canto de um indivíduo macho, como a temperatura (Duellman & Trueb 1994; Gibbs & Breisch 2001) pode acarretar no desencontro com a fêmea, que não reconhecerá o canto de anúncio (vocalização para atrair a fêmea) e, como consequência, inviabilizando a reprodução. Dessa forma, os anfíbios são extremamente ameaçados pelo aumento da temperatura global e perda de habitat (Cordier *et al.* 2019; Costa *et al.* 2012; Hoffmann *et al.* 2010; Wake & Vredenburg 2009).

No sentido de prever distribuição de espécies, prever cenários de distribuição passada, avaliar a distribuição em cenários preditivos de mudanças climáticas (e.g. aquecimento global), analisar a distribuição de espécies invasoras, entre outras funcionalidades, vários estudos propõem o uso dos modelos de nicho ecológico (MNEs) (Costa *et al.* 2012; Giovanelli 2009; Giovanelli *et al.* 2008; Pie *et al.* 2013; Thuiller *et al.* 2005). Esses modelos vêm sendo usados para subsidiar estratégias de conservação, auxiliar análises de tendências populacionais, impactos ambientais e padrões evolutivos, sendo também uma ferramenta poderosa para estudos ecológicos.

Os algoritmos utilizados para gerar os modelos preditivos utilizam dados de presença e ausência, ou somente presença de espécies em localidades e são executados utilizando um conjunto de variáveis climáticas para analisar o nicho da espécie e prever cenários de distribuição (Carpenter *et al.* 1993; Xu & Hutchinson 2011). Os MNEs são mais facilmente utilizados quando se dispõe de amplo conjunto de dados georreferenciados sobre as espécies de interesse, pois espécies pouco amostradas podem ser limitadas pelo viés amostral (Elith *et al.* 2011; Phillips & Dudík 2008). Todavia, a baixa quantidade de pontos de presença de uma espécie pode estar associada a uma distribuição restrita ou se tratar de espécie rara. Assim, analisar espécies com poucos dados de presença (menos de 10 ocorrências) tem sido um desafio. Nesse sentido, metodologias vem sendo desenvolvidas para obter modelos menos complexos e mais condizentes com a distribuição potencial da espécie estudada (Elith *et al.* 2006; Galante *et al.* 2018; Morales *et al.* 2017; Shcheglovitova & Anderson 2013; Wisz *et al.* 2008). O software MaxEnt (Phillips *et al.* 2006) tem se mostrado potencialmente eficaz para analisar modelos com dados de presença, inclusive para espécies com poucos pontos de ocorrência (Galante *et al.* 2018; Morales *et al.* 2017; Shcheglovitova & Anderson 2013; Wisz *et al.* 2008).

O presente estudo teve como objetivo modelar a distribuição potencial atual e futura das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017), considerando o impacto da mineração e das mudanças climáticas, visando auxiliar estudos sobre tendências populacionais dessas espécies e contribuir para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. Além de testar métodos de comparação de modelos para espécies para as quais se dispõem de amostras pequenas.

Hipóteses

Premissa 1: Modelos de nicho ecológico elaborados para conjunto de dados formado por poucos pontos de presença (e.g., espécies raras ou pouco amostradas) podem apresentar viés amostral. O software MaxEnt tem mostrado bom desempenho para espécies com poucos pontos de ocorrência conhecidos. Porém, a configuração padrão do programa pode acarretar modelos muito complexos e pouco realistas (i.e., resultados pouco robustos).

Hipótese 1: Modelos de distribuição menos complexos apresentam melhor ajuste, gerando mapas de distribuição mais robustos para conjuntos de dados pequenos.

Premissa 2: As espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* da Mata Atlântica, vocalizam em locais sombreados, ocorrendo em riachos de correnteza de altitude durante o dia. Essas espécies são observadas em ambientes conservados. No cenário de aquecimento global, os microambientes podem ser diretamente afetados, podendo ocorrer mudanças na distribuição de espécies de anuros na Floresta Atlântica (Costa *et al.* 2012).

Hipótese 2: A distribuição das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* sofrerão modificações nas áreas de distribuição no cenário preditivo de aquecimento global para o futuro (2040).

Premissa 3: Minas Gerais é um estado rico em minério de ferro e manganês. A mineração é um setor forte e de grande importância econômica no estado. Parte das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* tem a distribuição conhecida em regiões próximas ao polo minerário de Minas Gerais. Dessa forma, essas espécies podem estar ameaçadas por perda de habitat em decorrência da mineração, que está entre as maiores causas de perda de biodiversidade no mundo (Sonter *et al.* 2018).

Hipótese 3: As espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus* estão ameaçados pela atividade minerária, que ocorre próxima a área de distribuição conhecida para o grupo.

Métodos

Área de estudo

A área de estudo definida para esse trabalho compreende a distribuição do grupo *Hylodes lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017) que inclui as espécies *H. babax*, *H. lateristrigatus*, *H. otavioi* e *H. uai*. Dessa forma, foi definida como área de estudo o limite geográfico legal do bioma Mata Atlântica, que corresponde ao total de 78.348 Km² na porção brasileira, representando cerca de 12,4% da floresta original remanescente (SOS Mata Atlântica; INPE, 1992; 2020) (Figura 1). A distribuição do grupo *H. lateristrigatus* compreende os estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro (Figura 1).

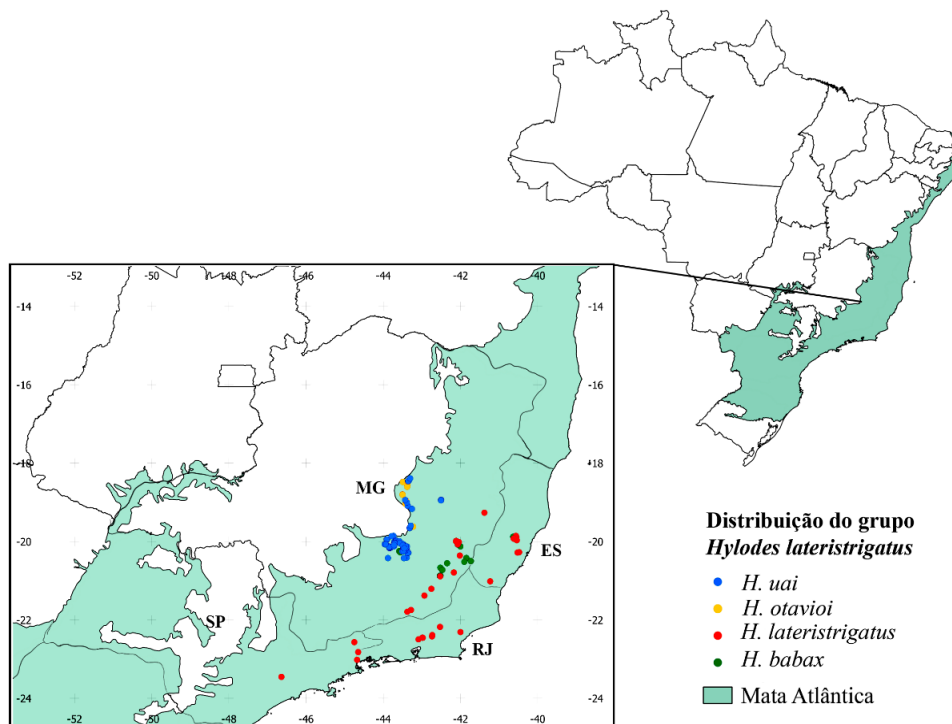


Figura 1: Área de estudo representando o limite legal do bioma Mata Atlântica, em verde, e distribuição do grupo *Hylodes lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017) representada

pelos pontos de presença, sendo os círculos verdes - *H. babax*; círculos vermelhos - *H. lateristrigatus*; círculos laranjas - *H. otavioi* e círculos azuis - *H. uai*.

Espécies analisadas

Foram utilizados pontos de presença georreferenciados adquiridos a partir da plataforma SpeciesLink, da literatura geral disponível (Canelas & Bertoluci 2007; Nascimento *et al.* 2001; Pirani *et al.* 2010, 2011; Salles *et al.* 2012; Santos *et al.* 2012; Vrcibradic *et al.* 2014) e das coleções herpetológicas MUZUSP e UFMG, disponibilizados por Rachel Montesinos Martins Pereira (Universidade de São Paulo – USP), Adriano Lima Silveira (Biótica Estudos Ambientais) e Emanuel Teixeira da Silva (Universidade Estadual de Minas Gerais – UEMG).

Os dados passaram por verificação, tendo sido conferidas todas as localidades e excluídas as coordenadas duplicadas. Para a verificação dos registros de ocorrência, foi empregada uma metodologia para aproximação de dados (Chapman 2005) por meio da plataforma Google Earth (<https://earth.google.com/web/>). Nas localidades onde havia maior detalhamento na descrição da área de coleta, foi possível ajustar as coordenadas com maior precisão ao ponto real do registro. Coordenadas que apresentaram incongruências, como distribuição dentro de grandes centros urbanos e localização dentro de rios ou no mar, foram descartadas quando não puderam ser aproximadas ao ponto real de registro em função da falta de detalhamento na descrição da localidade.

Após a filtragem dos dados, os registros foram compilados em bancos de dados de ocorrência para cada espécie do grupo *Hylodes lateristrigatus*, compreendendo 18 localidades para *H. babax*, 36 pontos para *H. lateristrigatus*, 13 para *H. otavioi* e 79 para *H. uai*.

Distribuição potencial atual e futura

Foram utilizadas 19 variáveis climáticas (Anexo 2) disponíveis na plataforma WorldClim 2.1 (<https://www.worldclim.org/data/index.html>) (Fick & Hijmans 2017), que reúne informações climáticas e meteorológicas em um banco de dados global em alta resolução. As variáveis utilizadas correspondem à abordagem atual de projeções

climáticas estruturadas no relatório experimental do Projeto de Interpolação do Modelo Acoplado Fase 6 (CMIP6) (Eyring *et al.* 2016). Nesse estudo, foi utilizada a resolução de 2,5 minutos, que representam aproximadamente 5 km na linha do Equador.

Seguindo a metodologia modificada de Galante *et al.* (2018), foram definidos para o estudo dois tratamentos de dados para o distanciamento entre as localidades das espécies: tratamentos sem filtro e com filtro. Para o tratamento sem filtro (T1), foram utilizados todos os pontos de ocorrência. Para o tratamento com filtro (T2), os dados de distribuição passaram por um processo de filtragem para incluir apenas localidades com distanciamento mínimo de 5 km entre as coordenadas. Para isso, foi utilizado o pacote *spThin* disponível para o programa Rstudio 4.0.3 (R Core Team, 2020). A análise reduz o registro espacial das espécies para modelos de nicho ecológico (Aiello-Lammens *et al.* 2015). Foram realizadas 10.000 rotações para gerar conjuntos de dados aleatórios, com o máximo de pontos disponíveis que estivessem a mais de 5 km de distância. Esse valor foi definido levando em conta a resolução das variáveis climáticas e do conhecimento do possível comportamento territorialista das espécies do grupo *H. lateristrigatus* (Lingnau *et al.* 2013; Nascimento *et al.* 2001; de Sá *et al.* 2018). A escolha do conjunto de pontos de distribuição utilizado para o tratamento com filtro foi realizada aleatoriamente.

Para gerar os modelos de distribuição potencial atual das espécies do grupo *H. lateristrigatus* (*sensu* Montesinos 2017) foi utilizado o algoritmo de Máxima Entropia (MaxEnt, versão 3.4.4) (Phillips *et al.* 2006), aplicando várias combinações de parâmetros das classes de recursos para cada um dos tratamentos estabelecidos (Galante *et al.* 2018). Assim, para os dois tratamentos, com filtro e sem filtro, foram realizadas as seguintes combinações: a) Padrão; b) Linear (L); c) Dobradiça (H); d) Linear e Quadrática (LQ) e e) Linear e Quadrática e Dobradiça (LQH). O parâmetro Linear (*Linear features*) garante que o valor médio da projeção de uma determinada variável seja o mais próximo ao valor médio do local de ocorrência da espécie estudada, já o recurso Quadrática (*Quadratic features*) limita a variação de uma determinada variável do ponto previsto para a espécie ocorrer e assim coincidir com a observação original (Merow *et al.* 2013). O parâmetro Dobradiça (*Hinge features*) é um recurso que transforma um preditor contínuo em binário, gerando valores de 0 e 1, abaixo e acima do limite, respectivamente, porém utiliza para a análise uma função linear e não uma função escalonada (Phillips & Dudík 2008). Por último, o parâmetro Padrão combina todos os recursos anteriores, *Linear features*, *Quadratic features* e *Hinge features*, acrescentando mais um recurso de Produto (*Product*

features), o qual restringe a covariância de uma determinada variável utilizando outros preditores e pode ser equivalente a termos de interação de uma regressão (Merow *et al.* 2013). Para cada combinação de parâmetro foram utilizadas três medidas de multiplicador de regularização, 1; 0,5 e 2. O multiplicador de regularização afeta a distribuição potencial da espécie, pois implica no ajuste de saída da projeção. Assim, um multiplicador de regularização menor que o padrão (1,0) ajusta a distribuição para mais focada aos pontos de presença utilizados no treinamento, o que pode gerar uma falta de generalização do modelo para dados de teste independentes (sobreajuste), enquanto que usar um valor maior que o padrão gera previsão menos localizada e, por isso, mais ampla (Phillips 2017). Dessa forma, foram obtidas 30 alternativas de análises para cada espécie, sendo 15 modelos para o tratamento sem filtro e 15 modelos para o tratamento com filtro.

A validação dos modelos foi realizada a partir da análise dos valores de AUC (área sob a curva), gerados pelo próprio MaxEnt. A curva AUC apresenta valores de 0 a 1, onde os valores muito próximos de 0 indicam que o modelo é pior que o aleatório e valores próximos a 1 significam que o modelo não é aleatório.

Os modelos para a projeção futura foram realizados a partir dos melhores modelos validados pela análise de AUC. Foram utilizadas as 19 variáveis climáticas na resolução de 2,5 minutos, adquiridas na plataforma WorlClim 2.1. O cenário escolhido para a projeção foi do Modelo Climático Global (GCM) BCC-CSM2-MR, que avalia a variabilidade dos trópicos, reproduzindo os principais padrões de temperatura atmosférica e vento, precipitação e temperatura do ar (Wu *et al.* 2019). O Caminho Socioeconômico Compartilhado (SPP) escolhido foi o SPP3-7.0, que avalia projeções intermediárias entre o pior cenário e o cenário mais otimista de aquecimento global, no contexto em que o mundo não conseguiria implementar nenhuma política climática (Carbon Brief 2022). Para esse trabalho, foi utilizada a projeção para 2040, uma vez que ocorreu recentemente a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2021 (COP 26), quando foi discutido o compromisso de ações para que o planeta não ultrapasse 1,5°C na temperatura média global.

Análises geoestatísticas

Para avaliar a distribuição espacial do grupo *H. lateristrigatus* a partir da colinearidade entre as camadas climáticas, foram utilizadas três análises para cada modelo

gerado pelo MaxEnt. A primeira análise foi a Estatística da Camada Raster, que consiste em um algoritmo que calcula, a partir de valores de uma determinada faixa, as estatísticas básicas, tais como desvio padrão, somas dos quadrados, valores máximos e mínimos, entre outras análises. A segunda foi o Módulo de Análise de Regressão Múltipla (Raster e Preditor de Raster), usada com método “*stepwise*”, com nível de significância de 5,000000 como limite para seleção automática de preditor e validação cruzada de 10 subamostras. A terceira análise correspondeu ao Índice de Moran, que calcula os valores de uma variável a partir do grau de correlação em função de diferenças espaciais, gerando valores de -1 (autocorrelação negativa) e 1 (autocorrelação positiva), e valores próximos a 0 que correspondem à ausência de autocorrelação. Nesse estudo utilizamos na rotação “*Queen*”. As análises foram realizadas por meio do programa, de código aberto, Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas (SAGA) versão 7.8.2, para manipulação de geodados (Conrad *et al.* 2015).

A validação dos modelos consistiu na análise da explicação de cada modelo de distribuição gerado no programa MaxEnt, a partir dos resultados de R^2 obtidos com o Módulo de Regressão Múltipla realizados no programa SAGA (i.e., grid and predictor grids). Foram comparados os melhores modelos definidos pela análise de AUC com os modelos que apresentaram maior poder de explicação das distribuições obtidas.

Análises Kappa

A análise Kappa foi empregada para comparações entre células dos mapas escolhidos, visando avaliar se essas são semelhantes ou não. A estatística Kappa gera valores de -1 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam concordância perfeita e valores próximos a 0 indicam falta de concordância, quando os modelos são piores que o aleatório (van Vliet *et al.* 2011).

Os mapas de distribuição potencial atual e futura das espécies do grupo *H. lateristrigatus* foram comparados utilizando a ferramenta estatística Kappa, no programa MAP COMPARISON (MCK) versão 3.2 (Visser & De Nijs 2006). Também foram comparados os mapas de distribuição das projeções atual e futura para cada validação, AUC e R^2 , a fim de verificar se existe sobreposição de áreas de distribuição entre as espécies do grupo *H. lateristrigatus*.

Resultados

A partir das análises realizadas com o MaxEnt, foram gerados 120 modelos de distribuição potencial do grupo *Hylodes lateristrigatus*. Estes corresponderam a 30 modelos para cada espécie do grupo.

No geral, o tratamento sem filtro (T1) apresentou os melhores resultados, com maiores valores de AUC obtidos por meio do algoritmo MaxEnt. Em contrapartida, os resultados obtidos a partir das análises do SAGA mostraram que os modelos com maior poder de explicação (R^2) foram gerados do tratamento com filtro (T2). Com os modelos mais complexos, utilizando combinação de parâmetros e regularização de 0,5, foi obtido maior desempenho e apresentaram melhores resultados de AUC, sendo observada uma redução desse desempenho à medida que o valor de regularização aumentou. Na análise de R^2 , os modelos mais simples apresentaram maior poder de explicação utilizando um único parâmetro na regularização de 2,0. O poder de explicação dos modelos diminuiu à medida que o valor de regularização decresceu (Tabela 1; Material suplementar 1). A exceção foram os modelos gerados para a espécie *H. babax*, nos quais não pôde ser observado um padrão (Material suplementar 1).

Dessa forma, pelos resultados de AUC, os melhores modelos de distribuição potencial foram: *H. babax*, tratamento com filtro, parâmetro LQH, regularização de 0,5 (T2-LQH-0,5), AUC=0,993 e $R^2=20,586$. Para *H. lateristrigatus*, tratamento sem filtro, parâmetro Padrão, regularização de 0,5 (T1-Padrão-0,5), com AUC=0,980 e $R^2=30,077$ e tratamento sem filtro, parâmetro LQH, regularização de 0,5 (T1-LQH-0,5), com AUC=0,980 e $R^2=30,077$. Para *H. otavioi*, tratamento sem filtro, parâmetro H, regularização de 0,5 (T1-H-0,5), com AUC=0,998 e $R^2=21,753$ e tratamento sem filtro, parâmetro LQH, regularização de 0,5 (T1-LQH-0,5), com AUC=0,998 e $R^2=13,340$. Para a espécie *H. uai*, os tratamentos sem filtro, parâmetros Padrão, H e LQH, todos com regularização de 0,5 (T1-Padrão-0,5, T1-H-0,5 e T1-LQH-0,5), todos com AUC=0,995 e com R^2 igual a 16,796, 17,848, 16,796, respectivamente, e os tratamentos com filtro, parâmetros Padrão, H e LQH, regularização de 0,5 (T2-Padrão-0,5, T2-H-0,5 e T2-LQH-0,5), todos com AUC=0,995 e R^2 igual a 18,132, 19,843 e 18,132, respectivamente (Tabela 1). Para as espécies que apresentaram modelos com valores iguais de validação de AUC, foi utilizado o R^2 para definir o modelo e definir o mapa de distribuição. Para

as espécies *H. lateristrigatus* e *H. uai*, os modelos com parâmetros Padrão e LQH obtiveram resultados iguais em todas as análises. Em *H. lateristrigatus*, ambos os modelos tiveram melhores resultados de AUC, dessa forma, foi definido manter o modelo T1-Padrão-0,5.

Considerando apenas o valor de R^2 de cada modelo, os melhores modelos selecionados são descritos a seguir. Para *H. babax*, modelo tratamento com filtro, parâmetro L, regularização de 2,0 (T2-L-2,0), com AUC=0,946 e $R^2=79,749$. Para *H. lateristrigatus*, modelo tratamento com filtro, parâmetro L, regularização de 2,0 (T2-L-2,0), com AUC=0,912 e $R^2=83,030$. Para *H. otavioi*, modelo com filtro, parâmetro H, regularização de 2,0 (T2-H-2,0), com AUC=0,991 $R^2=65,367$. Para *H. uai*, modelo com filtro, parâmetro H, regularização de 2,0 (T2-H-2,0), com AUC=0,990 e $R^2=39,888$, respectivamente (Tabela 1).

Distribuição potencial atual

Os mapas de distribuição potencial foram obtidos a partir dos maiores valores de AUC e de R^2 . Os resultados indicam dois cenários para a distribuição potencial atual das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*. O primeiro cenário, composto pelos modelos com maiores valores de AUC, compreendeu uma distribuição mais limitada para o grupo, sendo que a área não se estende muito mais do que os limites já conhecidos para cada espécie. O segundo cenário, composto pelos modelos com maiores valores de R^2 , demonstrou que a área de distribuição potencial extrapola muito a área de distribuição conhecida para o grupo (Figuras 2, 3 e 4). Porém, para *H. uai*, nota-se que essa diferença na área de distribuição potencial é menor, com os dois modelos apresentando áreas mais semelhantes entre si, se comparados aos mapas das outras espécies (Figura 5).

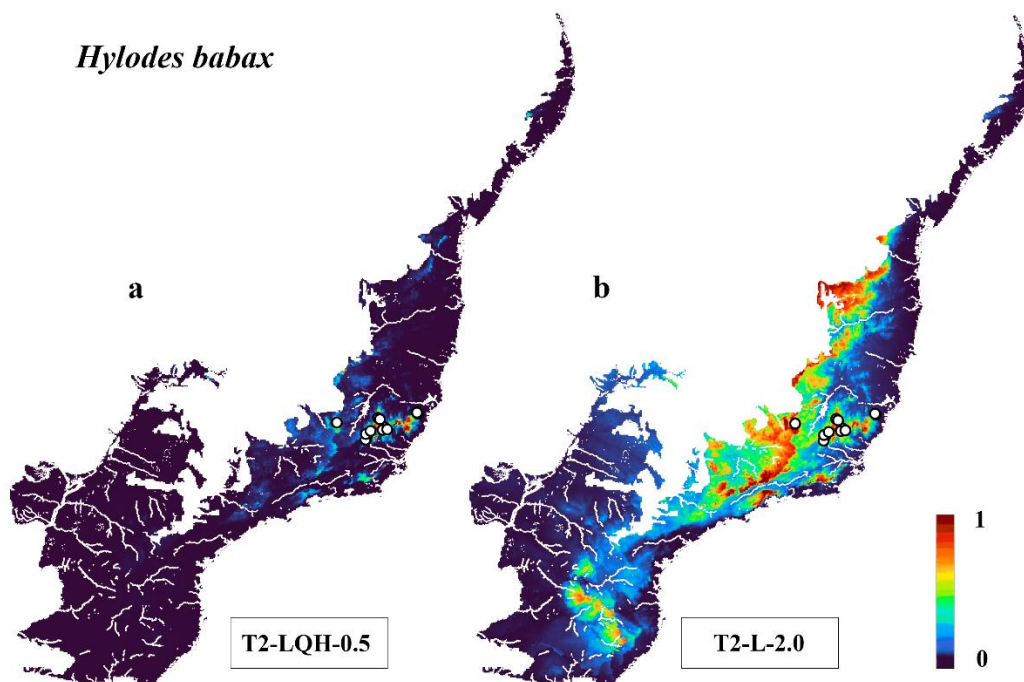


Figura 2: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes babax*. Os círculos brancos representam os pontos de presença da espécie. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R^2 . Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T2-LQH-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear e Quadrática e Dobradiça, regularização 0,5) e T2-L-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização 2,0).

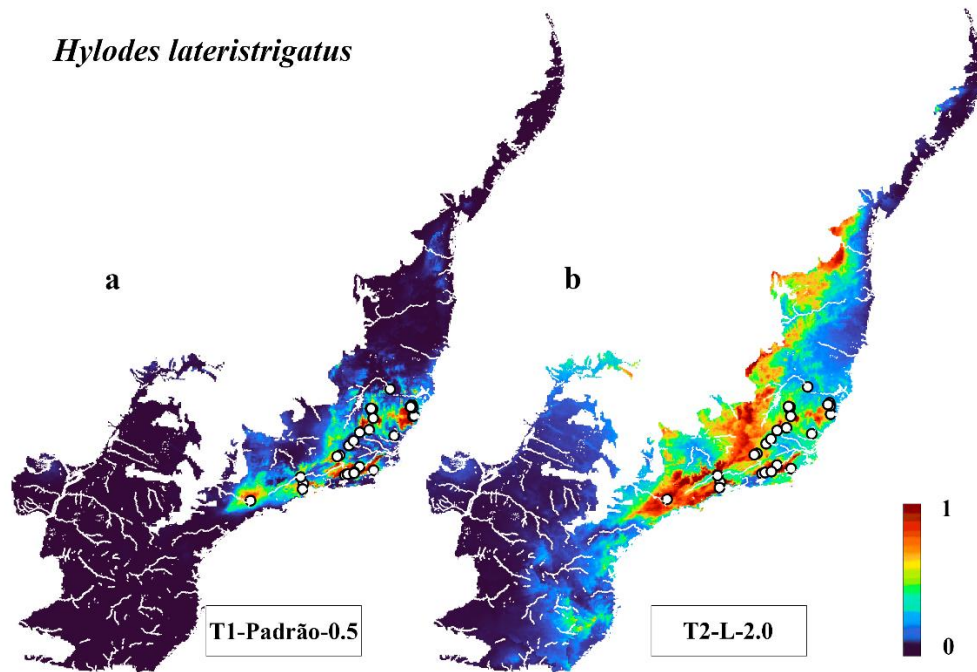


Figura 3: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes lateristrigatus*. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R^2 . Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T1-Padrão-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Padrão, regularização 0,5) e T2-L-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização 2,0).

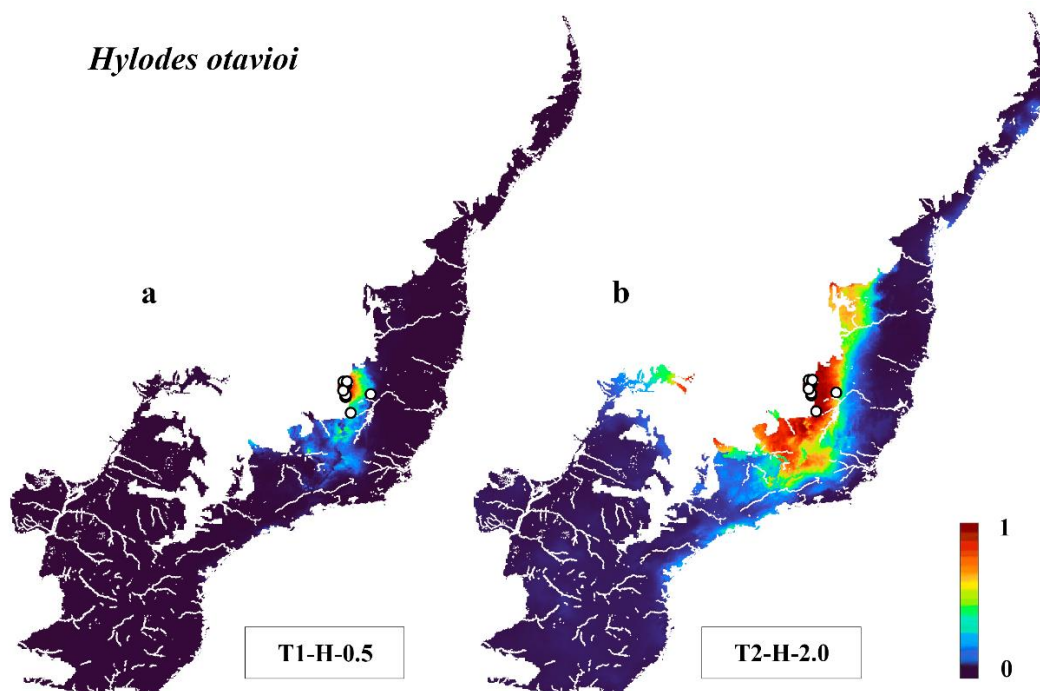


Figura 4: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes otavioi*. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R^2 . Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T1-H-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 0,5) e T2-H-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 2,0).

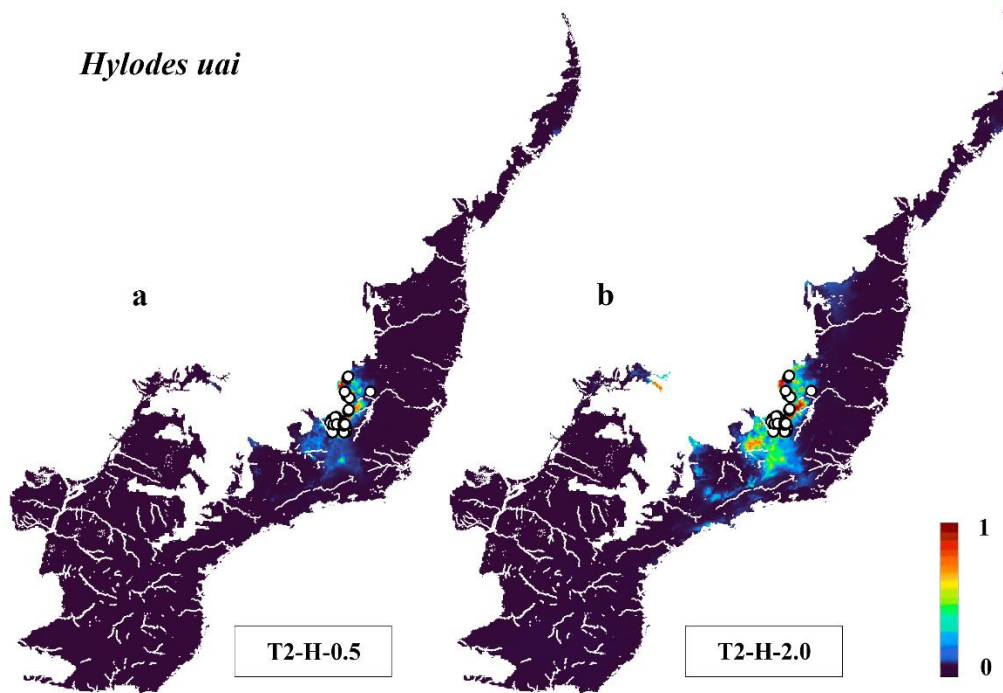


Figura 5: Distribuição potencial atual da espécie *Hylodes uai*. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R². Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T2-H-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 0,5) e T2-H-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 2,0).

Projeção futura

Os mapas de distribuição do grupo *H. lateristrigatus* projetados para o futuro obtiveram os seguintes resultados de AUC: *H. babax* – T2-LQH-0,5 = 0,993 e T2-L-2,0 = 0,946; *H. lateristrigatus* – T1-Padrão-0,5 = 0,980 e T2-L-2,0 = 0,912; *H. otavioi* – T1-H-0,5 = 0,998 e T2-H-2,0 = 0,991; *H. uai* – T2-H-0,5 = 0,995 e T2-H-2,0 = 0,990. Os modelos analisados nesse estudo indicaram que a distribuição potencial do grupo sofrerá mudanças, pois as áreas potenciais que correspondem ao nicho das espécies indicam redução, ou seja, a diminuição das áreas potenciais onde o grupo poderá existir. Porém, um pequeno deslocamento para o sul foi observado nos modelos com maiores valores de AUC (Figuras 10 e 11). Avaliando apenas os modelos T2_LQH-0,5 e T1-H-0,5 das espécies *H. babax* e *H. otavioi*, respectivamente, as áreas potenciais dessas espécies foram mais reduzidas, se comparadas as demais espécies do grupo (Figuras 6-11).

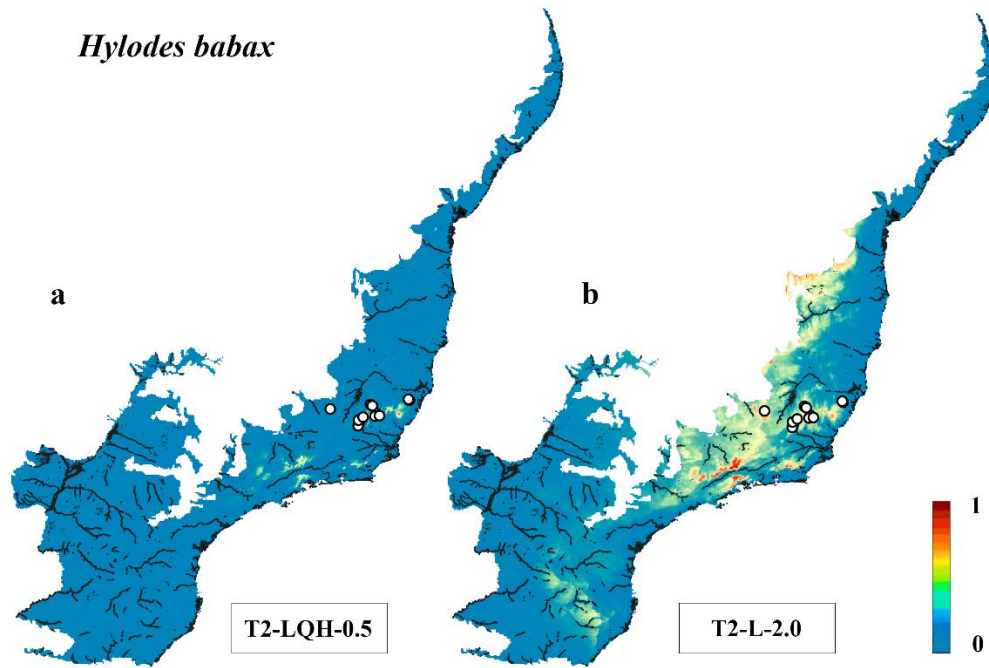


Figura 6: Distribuição potencial da espécie *Hylodes babax*, no cenário preditivo de aquecimento global. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R². Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T2-LQH-0.5 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear e Quadrática e Dobradiça, regularização de 0,5) e T2-L-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização de 2,0). (Projeção usada, para o período entre 2021 e 2040, spp 370).

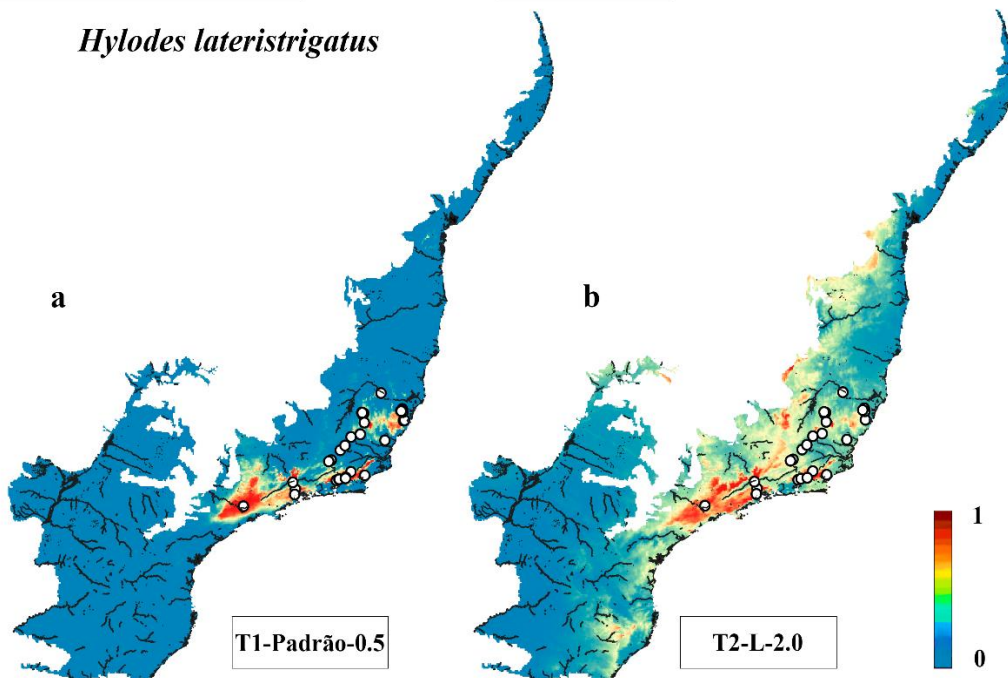


Figura 7: Distribuição potencial da espécie *Hylodes lateristrigatus*, no cenário preditivo de aquecimento global. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R². Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T1-Padrão-0.5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Padrão, regularização de 0,5) e T2-L-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização de 2,0). (Projeção usada, para o período entre 2021 e 2040, spp 370).

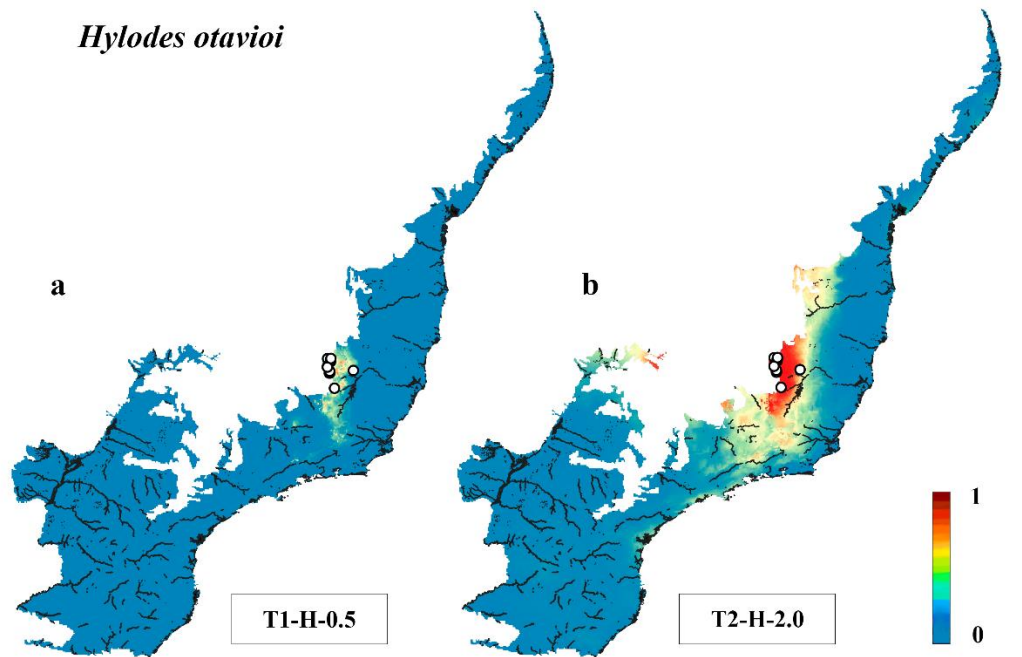


Figura 8: Distribuição potencial da espécie *Hylodes otavioi*, no cenário preditivo de aquecimento global. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R^2 . Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T1-H-0.5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 0,5) e T2-H-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 2,0). (Projeção usada, para o período entre 2021 e 2040, spp 370).

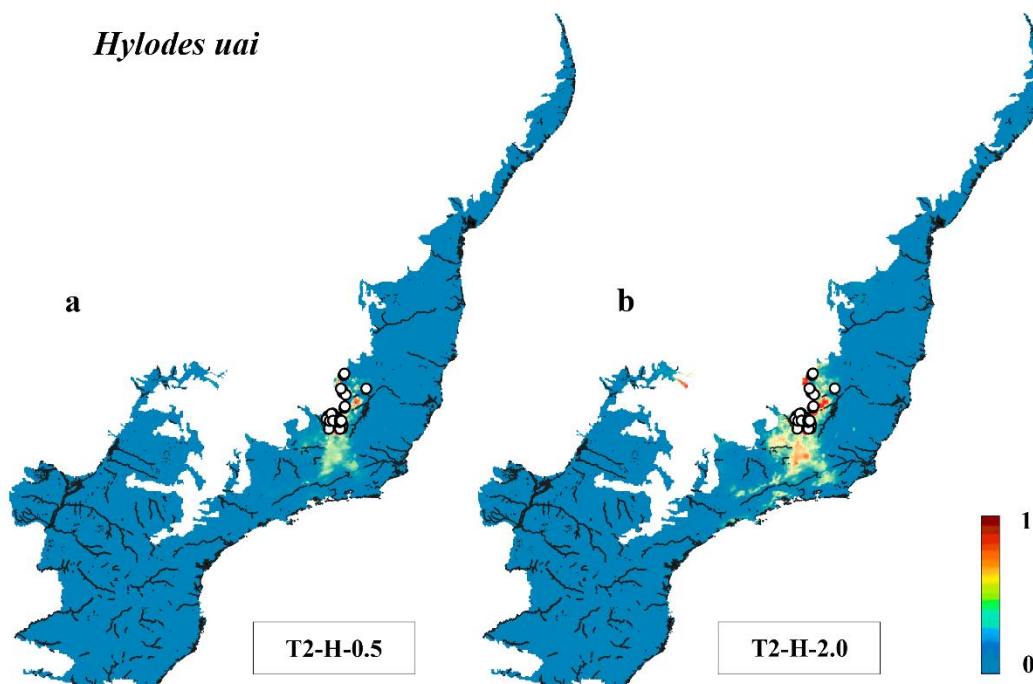


Figura 9: Distribuição potencial da espécie *Hylodes uai*, no cenário preditivo de aquecimento global. Os círculos brancos representam os pontos de presença. Onde a – melhor modelo AUC e b – melhor modelo R^2 . Valores mais próximos de 1, maior a probabilidade da espécie ocorrer na área. T2-H-0.5 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 0,5) e T2-H-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 2,0). (Projeção usada, para o período entre 2021 e 2040, spp 370).

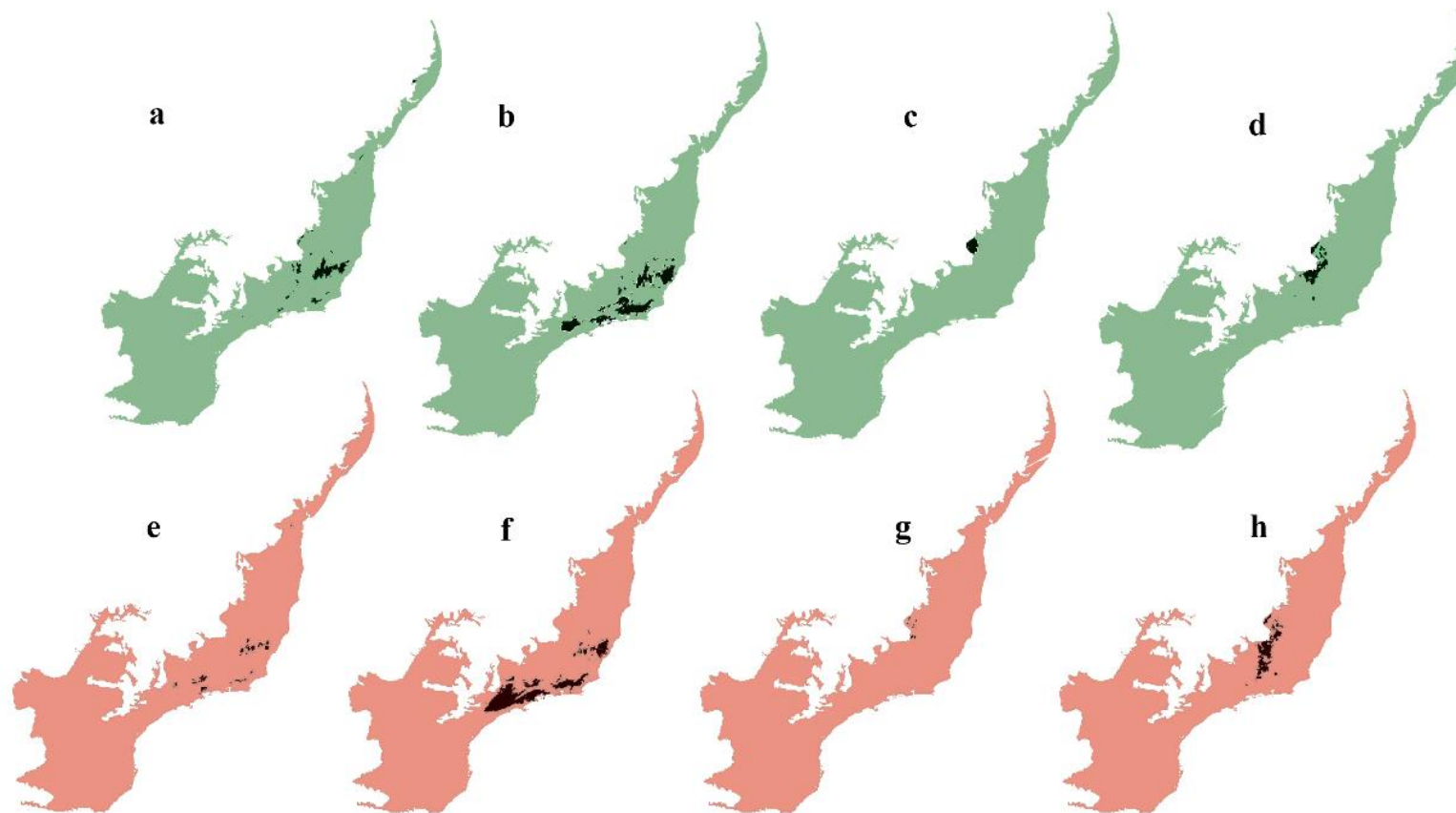


Figura 10: Comparação entre a distribuição potencial do grupo *Hylodes lateristrigatus* no presente e no futuro, dos melhores modelos de AUC. Período atual, em verde, onde a-*H. babax*, modelo T2-LQH-0,5; b- *H. lateristrigatus*, modelo T1-Padrão-0,5; c- *H. otavioi*, modelo T1-H-0,5 e d- *H. uai*, modelo T2-H-0,5. Cenário futuro (2040), em vermelho, onde e-*H. babax*, modelo T2-LQH-0,5; f- *H. lateristrigatus*, modelo T1-Padrão-0,5; g- *H. otavioi*, modelo T1-H-0,5 e h- *H. uai*, modelo T2-H-0,5. Regiões escuras, áreas que correspondem ao nicho da espécie e regiões claras, áreas fora do nicho da espécie.

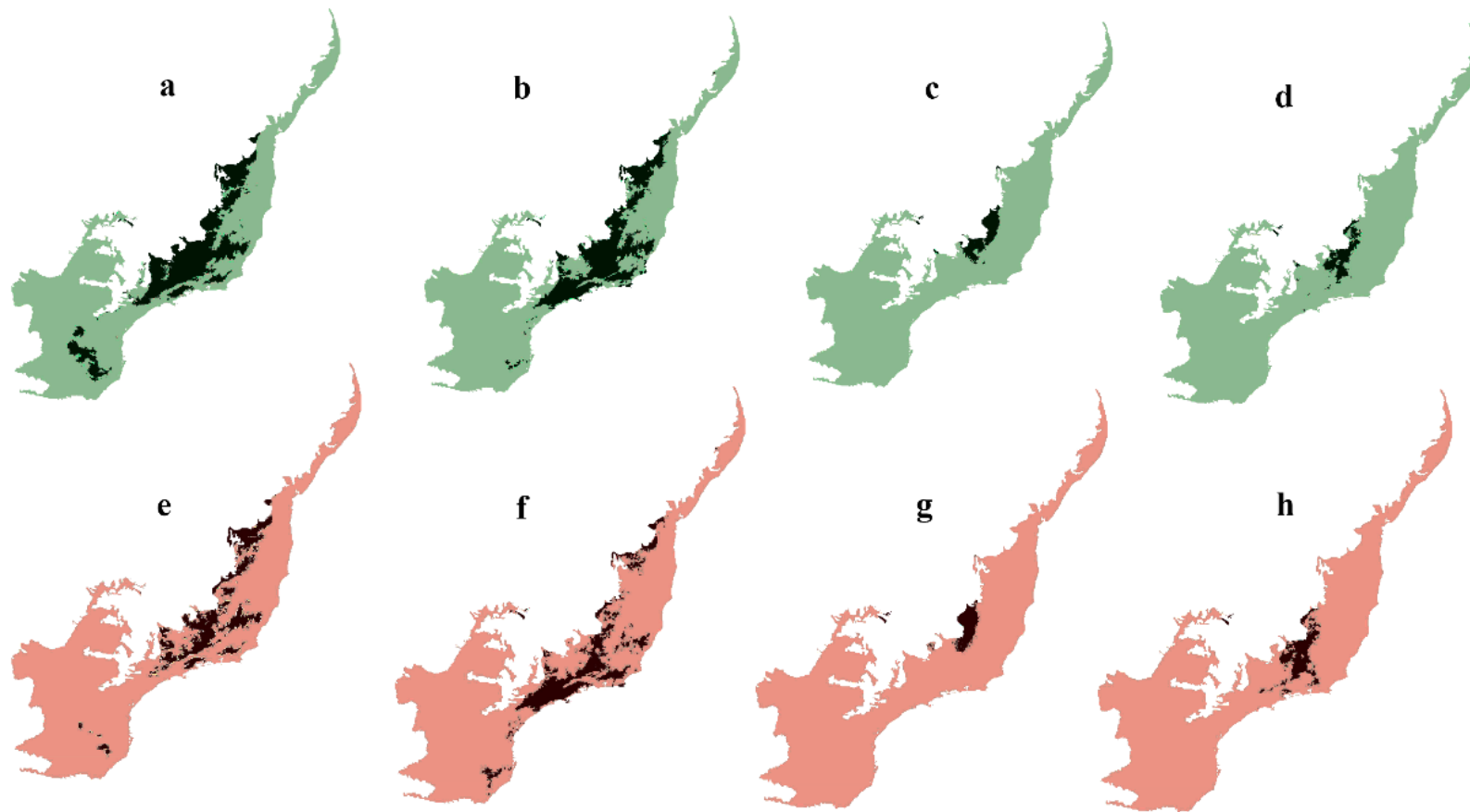


Figura 11: Comparação entre a distribuição potencial do grupo *Hylodes lateristrigatus* no presente e no futuro, dos melhores modelos de R^2 . Período atual, em verde, onde a-*H. babax*, modelo T2-LQH-0,5; b- *H. lateristrigatus*, modelo T1-Padrão-0,5; c- *H. otavioi*, modelo T1-H-0,5 e d- *H. uai*, modelo T2-H-0,5. Cenário futuro (2040), em vermelho, onde e-*H. babax*, modelo T2-LQH-0,5; f- *H. lateristrigatus*, modelo T1-Padrão-0,5; g- *H. otavioi*, modelo T1-H-0,5 e h- *H. uai*, modelo T2-H-0,5. Regiões escuras, áreas que correspondem ao nicho da espécie e regiões claras, áreas fora do nicho da espécie.

A partir da análise do coeficiente Kappa, foi possível comparar os valores de concordância entre os modelos de cada espécie, para a projeção atual e futura. Assim, *H. babax* obteve concordância de 0,311, modelo T2-LQH-0,5, e 0,596, modelo T2-L-2,0. *H. lateristrigatus* obteve concordância de 0,574, modelo T1-Padrão-0,5, e 0,610, modelo T2-L-2,0. A espécie *H. otavioi* obteve 0,067, modelo T1-H-0,5, e 0,685, modelo T2-H-2,0. Por fim, a espécie *H. uai* obteve concordância de 0,579, modelo T2-H-0,5, e 0,796, modelo T2-H-2,0 (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de coeficiente Kappa da comparação entre os cenários preditivos da distribuição potencial para o presente e futuro (2040) do grupo *Hylodes lateristrigatus*, para os melhores modelos de AUC e R². T2-LQH-0.5 – Tratamento com filtro, parâmetros Linear e Quadrática e Dobradiça, regularização 0,5; T2-L-2,0 – Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização de 2,0; T1-Padrão-0,5 – Tratamento sem filtro, parâmetro Padrão, regularização de 0,5; T1-H-0,5 – Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 0,5; T2-H-2,0 – Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 2,0 e T2-H-0,5 – Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização de 0,5.

Espécie	Modelo	Kappa	Fração correta
<i>H. babax</i>	T2-LQH-0.5	0.311	0.987
	T2-L-2.0	0.569	0.886
<i>H. lateristrigatus</i>	T1-Padrao-0.5	0.574	0.970
	T2-L-2.0	0.610	0.900
<i>H. otavioi</i>	T1-H-0.5	0.067	0.996
	T2-H-2.0	0.685	0.982
<i>H. uai</i>	T2-H-0.5	0.579	0.991
	T2-H-2.0	0.796	0.987

O coeficiente Kappa também evidenciou a concordância das áreas entre as espécies do grupo *H. lateristrigatus*, no cenário atual. Dos modelos validados pelo AUC, a espécie *H. babax* teve concordância de 0,388; 0,026 e 0,138 com *H. lateristrigatus*, *H. otavioi* e *H. uai*, respectivamente. *H. lateristrigatus* teve concordância de -0,004 e -0,007 com *H. otavioi* e *H. uai*, respectivamente. Por último, *H. otavioi* e *H. uai* compartilharam 0,245 de concordância entre suas distribuições (Tabela 3). Para os modelos validados pelo R², a espécie *H. babax* compartilhou 0,704 com a espécie *H. lateristrigatus*; 0,229 com a espécie *H. otavioi* e 0,210 com a espécie *H. uai*. Enquanto *H. lateristrigatus* teve concordância de 0,240 com *H. otavioi* e 0,231 com *H. uai*. A concordâncias entre os modelos de *H. otavioi* e *H. uai* foi de 0,656 (Tabela 4).

Tabela 3: Sobreposição de áreas de distribuição potencial atual entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, obtida a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo AUC. Valores próximos a 1, indicam maior concordância entre os modelos.

Espécie	<i>H. babax</i>	<i>H. lateristrigatus</i>	<i>H. otavioi</i>	<i>H. uai</i>
<i>H. babax</i>	1.000	0.388	0.026	0.138
<i>H. lateristrigatus</i>	0.388	1.000	-0.004	-0.007
<i>H. otavioi</i>	0.026	-0.004	1.000	0.245
<i>H. uai</i>	0.138	-0.007	0.245	1.000

Tabela 4: Sobreposição de áreas de distribuição potencial atual entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, obtida a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo R². Valores próximos a 1, indicam maior concordância entre os modelos.

Espécie	<i>H. babax</i>	<i>H. lateristrigatus</i>	<i>H. otavioi</i>	<i>H. uai</i>
<i>H. babax</i>	1.000	0.704	0.229	0.210
<i>H. lateristrigatus</i>	0.704	1.000	0.240	0.231
<i>H. otavioi</i>	0.229	0.240	1.000	0.656
<i>H. uai</i>	0.210	0.231	0.656	1.000

A concordância entre os mapas de distribuição no cenário futuro para as espécies do grupo *H. lateristrigatus*, obtida pela análise de Kappa, é descrita a seguir. Para os modelos validados pelo AUC, *H. babax* teve concordância de 0,200 com *H. lateristrigatus*, porém os modelos discordaram em -0,001 com *H. otavioi* e -0,007 com *H. uai*. A espécie *H. lateristrigatus* também apresentou discordância de distribuição potencial de -0,001 e -0,017 com *H. otavioi* e *H. uai*, respectivamente. *H. otavioi* e *H. uai* corresponderam em 0,055 em seus mapas de distribuição (Tabela 5). Já para os modelos validados pelo R², *H. babax* compartilhou com *H. lateristrigatus*, 0,503 com *H. otavioi*, 0,132 e com *H. uai*, 0,328. A espécie *H. lateristrigatus* compartilhou com *H. otavioi*, 0,148 e com *H. uai*, 0,311. Por último, para a distribuição de *H. otavioi* e *H. uai* ocorreu 0,397 de concordância (Tabela 6).

Tabela 5: Sobreposição de áreas de distribuição potencial futura (2040) entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, obtida a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo AUC. Valores próximos a 1, indicam maior concordância entre os modelos.

Espécie	<i>H. babax</i>	<i>H. lateristrigatus</i>	<i>H. otavioi</i>	<i>H. uai</i>
<i>H. babax</i>	1.000	0.200	-0.001	-0.007
<i>H. lateristrigatus</i>	0.200	1.000	-0.001	-0.017
<i>H. otavioi</i>	-0.001	-0.001	1.000	0.055
<i>H. uai</i>	-0.007	-0.017	0.055	1.000

Tabela 6: Sobreposição de áreas de distribuição potencial futura (2040) entre as espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, obtida a partir da análise Kappa, para os modelos validados pelo R². Valores próximos a 1, indicam maior concordância entre os modelos.

Espécie	<i>H. babax</i>	<i>H. lateristrigatus</i>	<i>H. otavioi</i>	<i>H. uai</i>
<i>H. babax</i>	1.000	0.503	0.132	0.328
<i>H. lateristrigatus</i>	0.503	1.000	0.148	0.311
<i>H. otavioi</i>	0.132	0.148	1.000	0.397
<i>H. uai</i>	0.328	0.311	0.397	1.000

Variáveis climáticas

Para cada modelo gerado pelo algoritmo MaxEnt, a análise apontou as estimativas das variáveis que mais contribuíram para gerar os modelos de distribuição. Dessa forma, dentre os melhores modelos definidos pelo AUC, as variáveis que mais contribuíram para explicar a distribuição das espécies são descritas a seguir. Para *H. babax*, no modelo T2-LQH-0,5 a variável que mais contribuiu foi a BIO 8 (temperatura média do trimestre mais chuvoso), com 51,7% de contribuição (Figura 12). Para *H. lateristrigatus*, no modelo T1-Padrão-0,5, a variável que mais contribuiu foi a BIO 15 (sazonalidade de precipitação), com 31,1% de contribuição (Figura 13). Para *H. otavioi*, os modelos T1-H-0,5 e T1-LQH-0,5 indicaram que a variável que mais contribuiu foi a BIO 19 (precipitação do trimestre mais frio) com 44,2% e 39,1% de contribuição, respectivamente (Figura 14). Para *H. uai*, nos modelos T1-Padrão-0,5, T1-H-0,5, T2-Padrão-0,5 e T2-H-0,5, a variável que mais contribuiu foi a BIO 13 (Precipitação do mês mais chuvoso) com 40,4; 41,4; 38,9 e 40,2%, respectivamente (Figura 15).

As variáveis que mais contribuíram para os modelos escolhidos pelo R^2 são descritas a seguir. Para *H. babax*, no modelo T2-L-2,0, a variável climática BIO 10 (temperatura média do trimestre mais quente) contribuiu com 53,5% (Figura 12). Enquanto para *H. lateristrigatus* foi a BIO 19 com 40,0% (Figura 13). Para *H. otavioi*, no modelo T2-H-2,0, a variável BIO 19 contribuiu com 72,2% de contribuição (Figura 14). A espécie *H. uai*, no modelo T2-H-2,0, a variável BIO 13 contribuiu com 50,5% (Figura 15).

Analisando os valores de R^2 das variáveis climáticas para cada modelo de distribuição, a contribuição das variáveis diferiu dos resultados obtidos com o MaxEnt. Assim, para *H. babax* a variável que melhor explicou cada modelo foi a BIO 18 (precipitação do trimestre mais quente) com $R^2=5,83$, modelo T2-LQH-0,5, e a BIO 19 com $R^2=16,2$ para o modelo T2-L-2,0 (Figura 12). Para a espécie *H. lateristrigatus*, a variável que mais contribuiu foi a BIO 19 com $R^2=1,81$ no modelo T1-Padrão-0,5, e $R^2=21,92$ no modelo T2-L-2,0 (Figura 13). *H. otavioi* apresentou a BIO 18 como a variável mais explicativa, com $R^2=4,36$ e $R^2=3,37$ nos modelos T1-H-0,5 e T1-LQH-0,5, respectivamente, e BIO 19 com $R^2=13,4$ no modelo T2-H-2,0 (Figura 14). Para a espécie *H. uai*, a variável que mais explicou a distribuição foi a BIO 13, com valores de R^2 iguais a 3,03; 3,24 e 3,35% para os modelos T1-Padrão-0,5, T1-H-0,5 e T2-Padrão-0,5, respectivamente, e BIO 19, com R^2 igual a 3,35; 3,49 e 8,84%, para os modelos T2-Padrão-0,5, T2-H-0,5 e T2-H-2,0, respectivamente (Figura 15).

H. babax

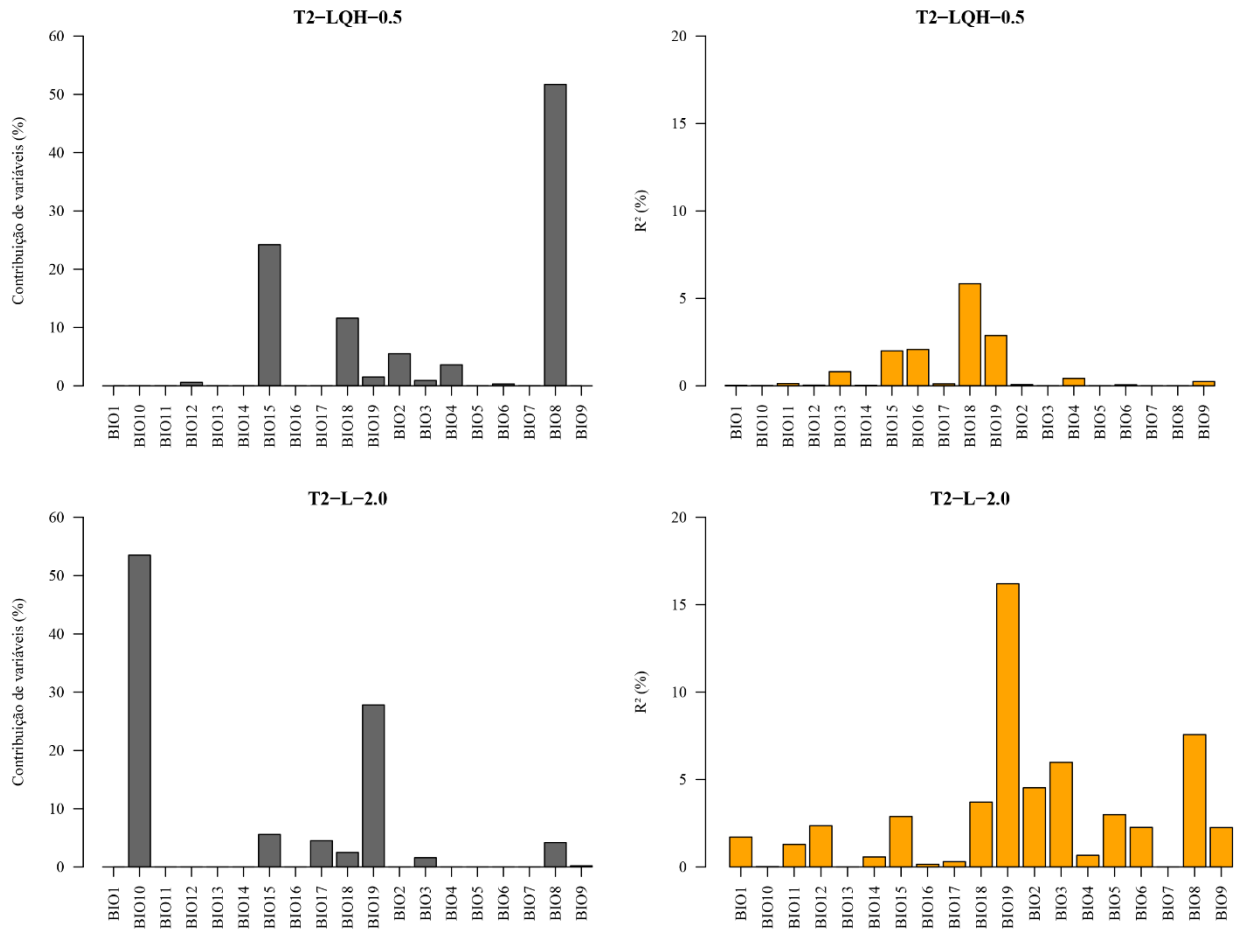


Figura 12: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial gerados para a espécie *Hylodes babax*, AUC (em cinza) e R² (em laranja). T2-LQH-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear Quadrática e Dobradiça, regularização 0,5) e T2-L-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização 2.0).

H. lateristrigatus

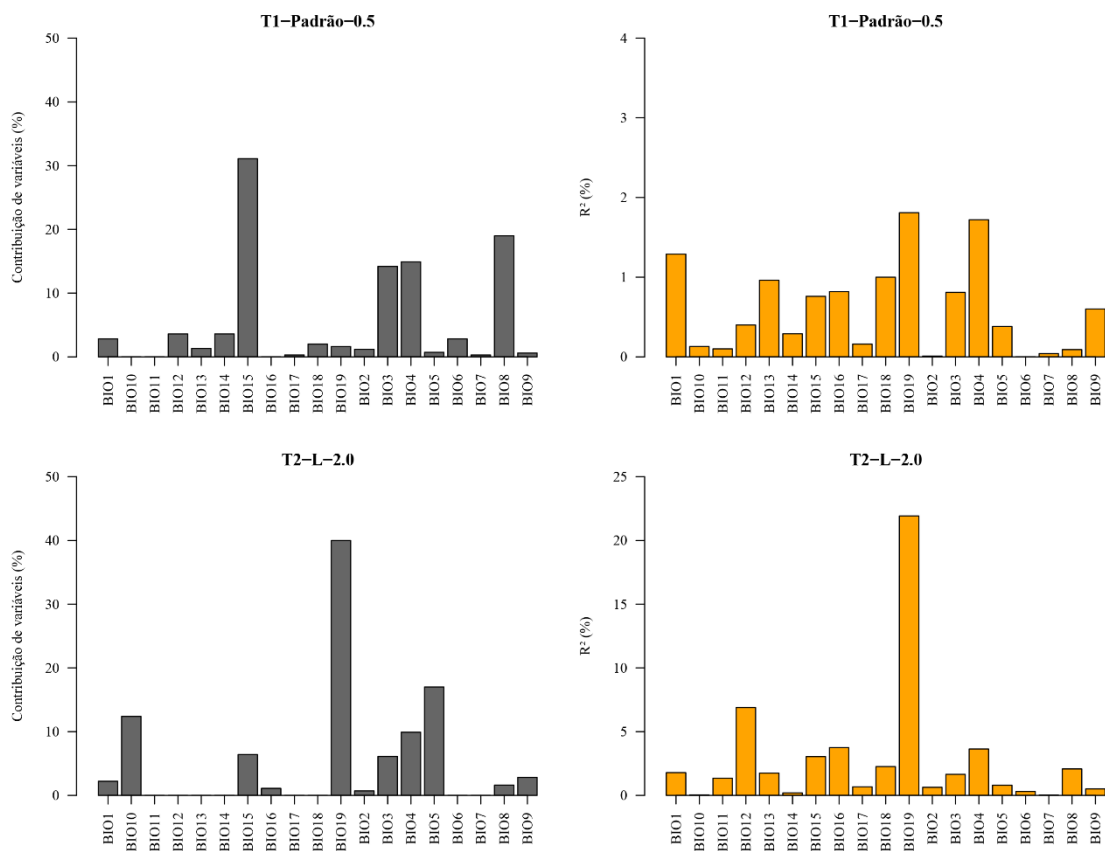


Figura 13: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial gerados para a espécie *Hylodes lateristrigatus*, AUC (em cinza) e R² (em laranja). T1-Padrão-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Padrão, regularização 0,5) e T2-L-2.0 (Tratamento com filtro, parâmetro Linear, regularização 2.0).

H. otavioi

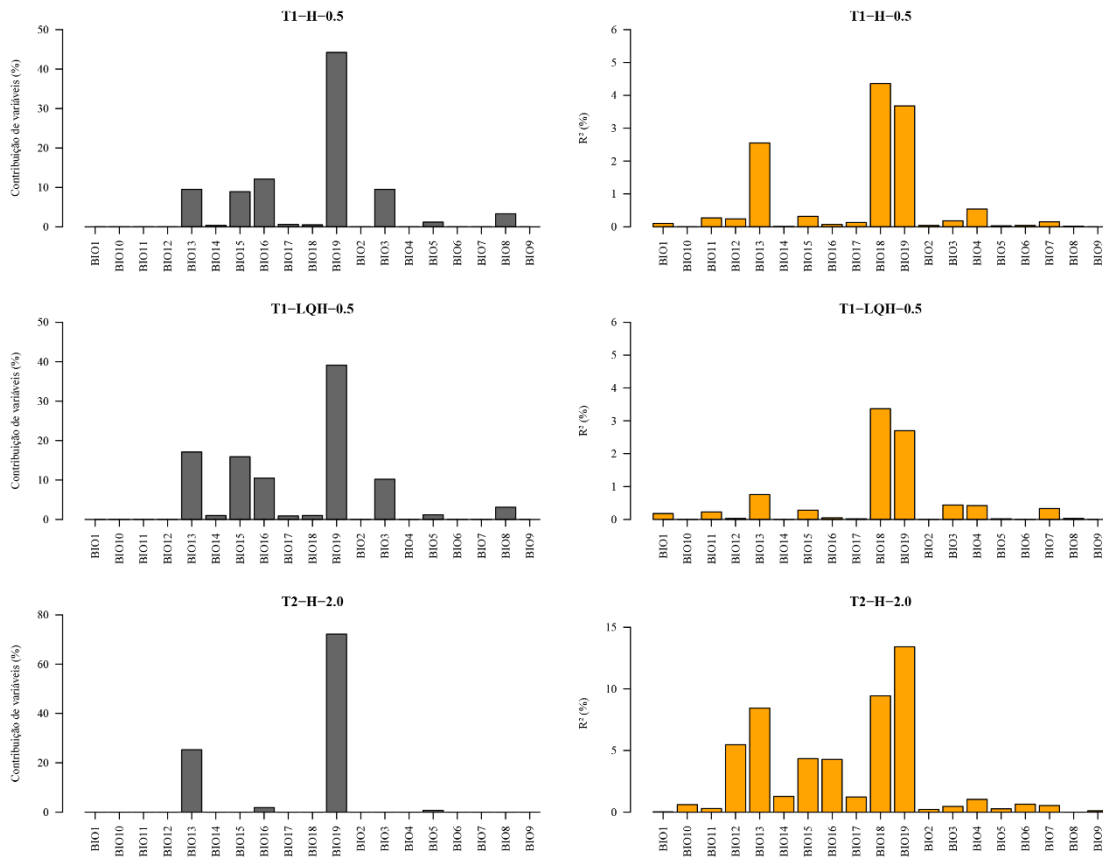


Figura 14: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial gerados para a espécie *Hylodes otavioi*, AUC (em cinza) e R² (em laranja). Melhores modelos AUC: T1-H-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 0,5) e T1-LQH-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Linear e Quadrática e Dobradiça, regularização 0,5); Melhor modelo R²: T2-H-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 2,0).

H. uai

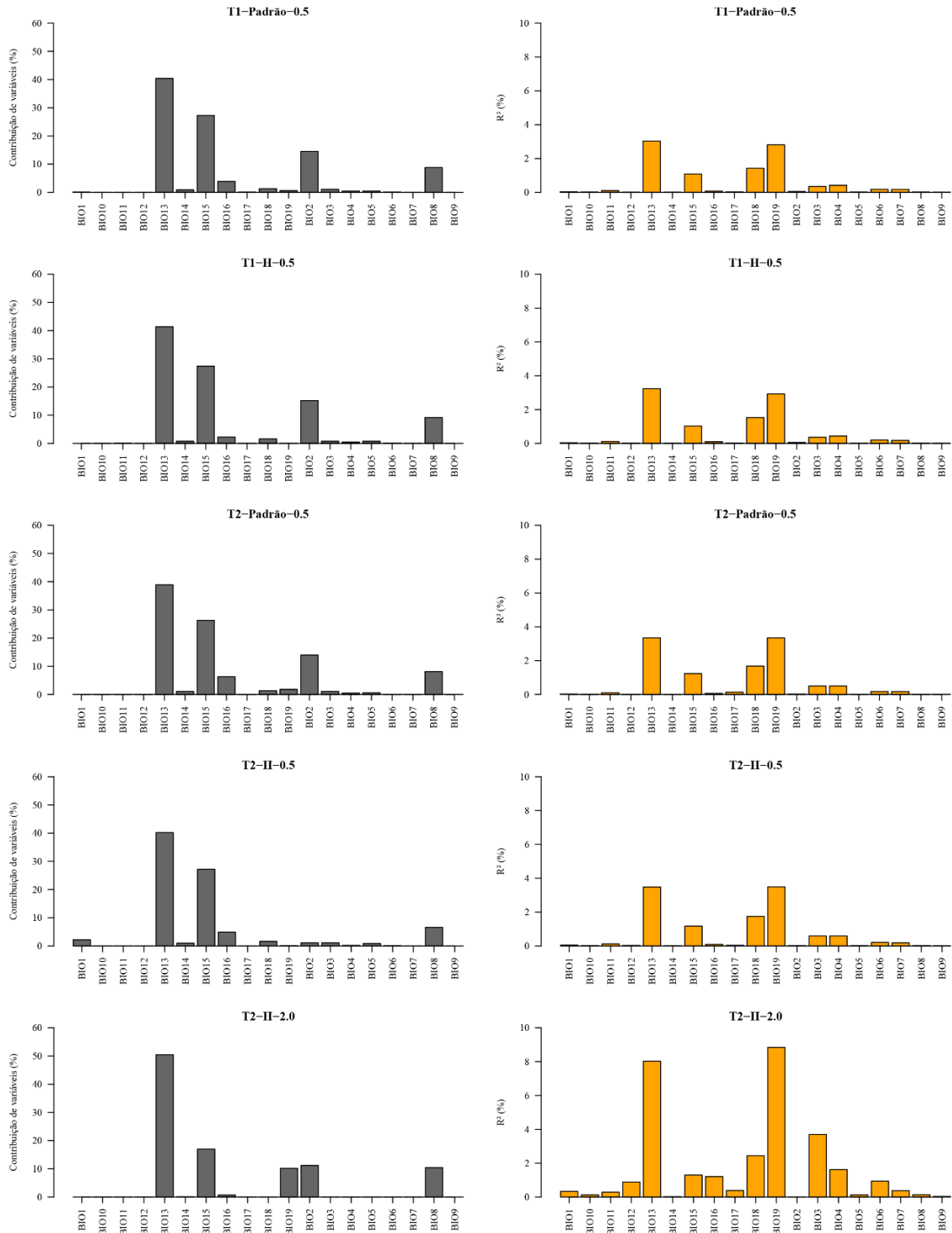


Figura 15: Contribuição das variáveis climáticas para os melhores modelos de distribuição potencial gerados para a espécie *Hylodes uai*, AUC (em cinza) e R² (em laranja). T1-Padrão-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Padrão, regularização 0,5), T1-H-0,5 (Tratamento sem filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 0,5), T2-Padrão-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Padrão, regularização 0,5), T2-H-0,5 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 0,5) e T2-H-2,0 (Tratamento com filtro, parâmetro Dobradiça, regularização 2,0).

Comparando a distribuição potencial atual e futura, foram observadas mudanças nas tendências de aumento ou queda entre variáveis climáticas dependendo das regiões onde os pontos do grupo foram coletados. Assim, a temperatura mínima do mês mais frio (BIO 6), temperatura média do trimestre mais seco (BIO 9) e temperatura média do trimestre mais frio (BIO 11) apresentaram um aumento aproximado de 20, 9 e 10%, respectivamente, no futuro para a região que compreende a distribuição de *H. babax*. Já para *H. lateristrigatus*, a BIO 6 e BIO 13 (precipitação do mês mais úmido) aumentou 14,2 e 9,28%, respectivamente, em comparação com o presente. A precipitação do trimestre mais quente (BIO18) aumentou cerca de 36% no futuro na região que compreende a distribuição da espécie *H. otavioi*. Por último, também é previsto aumento de 15.5 e 14,5% nas variáveis BIO 6 e BIO 18, respectivamente, para a região que compreende a distribuição de *H. uai* (Figura 16).

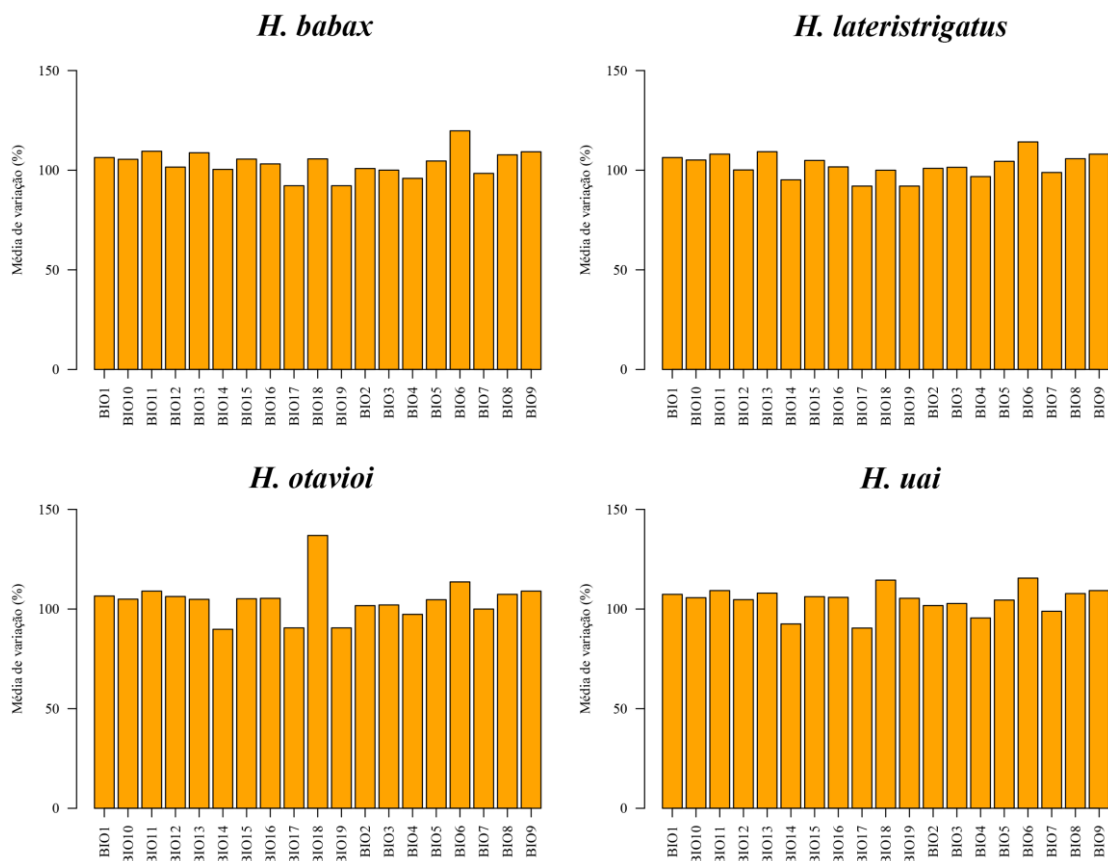


Figura 16: Variação média entre o período atual e o futuro (2040) das variáveis climáticas para cada espécie do grupo *Hylodes lateristrigatus*.

Para precipitação do trimestre mais seco e úmido, BIO 17 e BIO19, respectivamente, os modelos estimam redução da precipitação cerca de 7 a 10% nas regiões que compreendem a distribuição do grupo *H. lateristrigatus*. Com exceção de *H. uai*, que para a BIO19 o modelo estima aumento de quase 6% na precipitação para o futuro. A sazonalidade de temperatura (BIO4) também mostrou diminuição no futuro, cerca de 2 a 4,5%, além da faixa anual de temperatura (BIO7), que é estimado redução variando em 1% no futuro, para as regiões de distribuição do grupo (Figura 16).

No caminho da mineração

As áreas de distribuição das espécies do grupo *H. lateristrigatus* estão próximas às áreas de mineração (Figura 17), o que pode indicar risco para as espécies do grupo. Para as espécies *H. babax* e *H. uai* são ainda mais preocupantes devido a alguns pontos de ocorrência estarem próximos ou dentro dessas áreas de mineração (Figura 17 – Círculo vermelho). Regiões próximas ao município de Catas Altas, Santa Rita Durão, Bento Rodrigues e Belo Horizonte. Todas essas áreas ficam concentradas dentro do maior polo minerário de Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero.

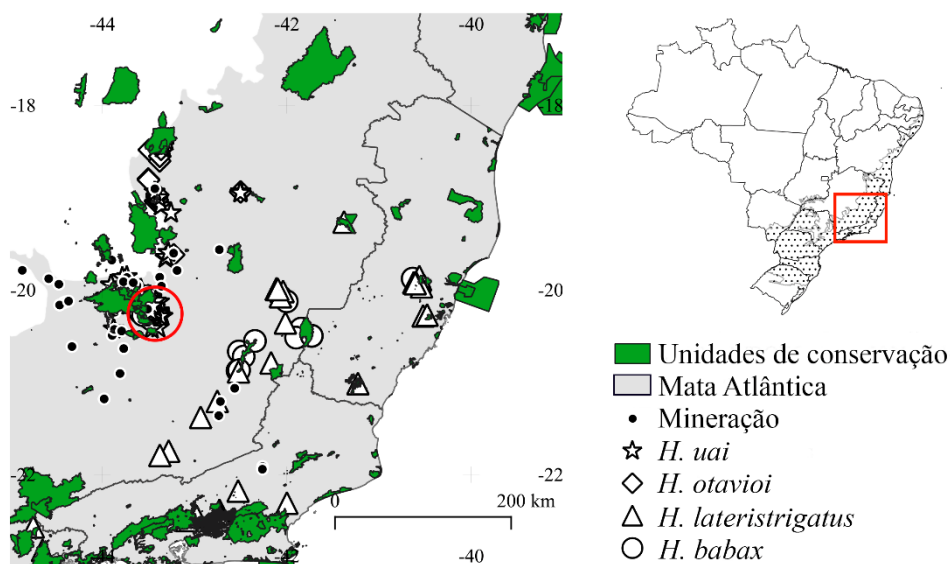


Figura 17: Distribuição do grupo *Hylodes lateristrigatus*, pontos de áreas de mineração e de unidades de conservação. Círculo vermelho mostra área onde o registro de ocorrência de *H. uai* é encontrada dentro de áreas de mineração.

Discussão

A partir do resultado do coeficiente Kappa foi possível comparar a sobreposição entre a distribuição potencial nos cenários atual e futuro das espécies do grupo *H. lateristrigatus*, além de comparar a sobreposição de áreas entre as espécies do grupo. A distribuição de *H. uai* apresentou maior concordância quanto à distribuição potencial entre os cenários atual e futuro do modelo T2-H-2,0 (tabela 2), indicando que para essa espécie, a distribuição potencial futura será menos afetada, comparado ao restante do grupo. Para *H. otavioi*, modelo T1-H-0,5, o coeficiente Kappa aponta pouca concordância entre as projeções atual e futura. Avaliando somente esse modelo, os resultados indicam que *H. otavioi* será a espécie mais afetada com o aquecimento global, no cenário futuro analisado neste estudo.

São observadas semelhanças na distribuição entre as espécies *H. babax* e *H. lateristrigatus* e entre as espécies *H. otavioi* e *H. uai*, que foram evidenciadas pelo coeficiente Kappa, 0,704 e 0,656, respectivamente, indicando que essas espécies podem compartilhar o nicho ecológico e viver em simpatria (Tabela 2). *Hylodes babax* e *H. lateristrigatus* já foram reportadas em campo vocalizando em uma mesma montanha ao mesmo tempo, respeitando um limite de altitude (observação de Emanuel Teixeira da Silva). A distribuição simpátrica também já foi registrada na literatura para outras espécies do gênero *Hylodes*, como *H. heyeri* e *H. perplicatus*, no Rio Júlio e Castelo dos Bugres (Monteiro *et al.* 2014). Entretanto, os resultados para o cenário futuro (2040), indicam que essas espécies terão menor compartilhamento entre as suas áreas de distribuição potencial.

O grupo de espécies *Hylodes lateristrigatus* apresentou maior associação com as variáveis climáticas relacionadas à precipitação e temperatura, sendo a precipitação uma medida indireta da umidade. Essas duas variáveis apresentam grande relação com a biologia dos anuros, animais extremamente dependentes de ambientes úmidos, sobretudo para reprodução (Babbit 2005; Haddad & Prado 2005; Nunes-De-almeida *et al.* 2021). A temperatura exerce grande influência na fisiologia desses animais, pois altera a taxa de repetição de vocalização (Röhr & Juncá 2013), bem como a duração da chamada, como registrado para *H. heyeri*, que diminuiu a taxa de vocalização durante o dia, enquanto a temperatura do ar aumentava (Lingnau & Bastos 2007).

Para os modelos apontados como melhores quanto ao poder de explicação (R^2), as projeções para as espécies *H. babax* e *H. lateristrigatus* (modelo T2-L-2,0) indicam que as espécies podem ocorrer ainda mais para o norte e sul no bioma Mata Atlântica. Entretanto, é questionável se a distribuição das espécies que vivem em topos de montanhas pode se estender até essa distância, bem como em função do comportamento territorialista reportado para espécies do gênero *Hylodes*, como *H. uai* (Nascimento *et al.* 2001), *H. regius* (de Sá *et al.* 2020) e *H. meridionalis* (de Sá *et al.* 2018).

Como evidenciado por Costa *et al.* (2012), mesmo que os modelos atuais prevejam a permanência da espécie, o aquecimento global influencia diretamente os microambientes utilizados pelos anuros. Babbit (2005) aponta a importância dos corpos d'água para a reprodução dos anuros, principalmente quanto ao tamanho e ao hidroperíodo, ou seja, se permanente ou temporário. Dessa forma, os girinos que vivem nos riachos de correnteza podem ser direta ou indiretamente afetados pelo aumento da temperatura, dependendo da forma como utilizam esse ambiente. Os indivíduos adultos podem usar rochas como sítios de vocalização (Lingnau *et al.* 2013; Nascimento *et al.* 2001; Pombal Jr *et al.* 2002; de Sá *et al.* 2018), estando sujeitos à temperatura das rochas. Para as fêmeas, a temperatura diurna pode influenciar na frequência auditiva, como reportado para o ranídeo chinês *Amolops torrentis* (Smith, 1923) (Sun *et al.* 2020), espécie que também vive associada a riachos de correnteza. Assim, além da possibilidade de alterar a taxa de vocalização, deve-se considerar como a chamada de anúncio será percebida pela fêmea, com o aumento da temperatura. Ainda, visto que o cenário de aquecimento global utilizado nesse estudo abrange um caminho intermediário (SSP3-7.0, projeção para 2040), a diminuição da distribuição potencial projetada para o futuro já é preocupante, devido à perda de hábitat que as espécies do grupo estarão sujeitas nas próximas décadas.

Somente para a região que compreende a distribuição potencial da espécie *H. otavioi* é observado aumento estimado de 36% na precipitação do trimestre mais quente (BIO18) e diminuição na precipitação do mês (BIO14) e trimestre mais seco (BIO17) (Figura 16). A distribuição dessa espécie é conhecida para a Serra do Cipó e seu entorno, região de Cerrado e campo rupestre, caracterizada por clima mais seco (Eterovick *et al.* 2020; Sazima & Bokermann 1982). A variação da precipitação na região pode significar preocupação para essa espécie que se reproduz de novembro a fevereiro, com seus girinos podendo ser encontrados de dezembro a fevereiro, em riachos com pouca ou nenhuma

correnteza (Eterovick *et al.* 2020). Assim, o aumento das chuvas na região pode influenciar na dinâmica desses riachos, submetendo os girinos a correntezas mais fortes.

A avaliação do poder explicativo de cada modelo revelou que a configuração padrão do MaxEnt pode não gerar os melhores modelos, sendo recomendável usar outras classes de recursos, combinadas ou, principalmente, isoladas. Assim, os modelos que tiveram maior valor de explicação foram aqueles que apresentaram configurações mais simples, com apenas um parâmetro e com a regularização de 2,0, gerando uma área de distribuição potencial maior. Já os modelos que apresentaram maior valor de AUC, mantiveram configuração mais complexa, com parâmetros combinados e regularização menor (0,5). Entretanto, nesse caso, foi utilizado um parâmetro a menos do que a configuração padrão do algoritmo, permitindo um modelo ainda mais simples, quando comparado com a versão padrão. Esses resultados corroboram com o observado pelo método proposto por Galante *et al.* (2018) para espécies com poucos dados.

Os modelos de distribuição precisam ser interpretados com cautela por se tratar de previsões baseadas em dados secundários e, principalmente, devido ao mau uso das configurações do programa, considerando ainda que frequentemente não são mencionados quais parâmetros foram usados para gerar os modelos de distribuição (Morales *et al.* (2017). Os resultados do presente trabalho reforçam a importância de se avaliar cuidadosamente o conjunto de dados disponível e configurar o programa para se adaptar ao conjunto de dados específicos (Galante *et al.* 2018; Morales *et al.* 2017). Dessa forma, mesmo que seja considerado que os modelos validados pela curva de AUC tenham sido potencialmente mais condizentes com as distribuições já conhecidas para as espécies do grupo *H. lateristrigatus*, o uso de R^2 foi essencial para escolher o modelo que melhor se adaptasse ao conjunto de dados utilizado nesse estudo. Vale ressaltar que pouco se conhece sobre as tendências populacionais dessas espécies e, nos últimos anos, novas espécies de *Hylodes* foram descritas, indicando que existem lacunas de conhecimento quanto às áreas de distribuição (Haddad *et al.* 2003; Pirani *et al.* 2010; de Sá *et al.* 2020; Toledo *et al.* 2006). Os *Hylodes* são animais muito semelhantes morfológicamente, sendo geralmente necessário o auxílio da vocalização para diferenciar as espécies (Lingnau *et al.* 2013; Lingnau & Bastos 2007; de Sá *et al.* 2018). Além disso, várias dessas espécies foram registradas somente em alguns poucos remanescentes florestais e, mesmo nessas localidades, nem sempre os indivíduos têm sido encontrados (de Sá *et al.* 2020). Essa

discussão se faz necessária, devido ao pouco que se conhece sobre o grupo de espécies estudado, e se aplica também a diversas outras espécies de anuros.

O setor minerário tem sido uma das grandes causas de perda de biodiversidade, a transformação da paisagem afeta direta ou indiretamente os animais que ocorrem na região (Sonter *et al.* 2018). Embora parte da distribuição das espécies do grupo *H. lateristrigatus* esteja protegida em unidades de conservação, vários registros de ocorrência estão fora dessas áreas. Mesmo estando dentro de unidades de conservação, a mineração continua sendo uma ameaça porque vem avançando nas áreas de entorno dos parques, como por exemplo a mineração que existe nos limites do Parque das Mangabeiras, em Belo Horizonte, Minas Gerais, onde há registros de *H. uai*. Da distribuição que não é compreendida dentro das unidades de conservação, vários registros estão próximos ou dentro das áreas de mineração. Embora, vários desses registros não apresente a data de coleta, um registro dentro de uma área minerada pode significar que a coleta é mais antiga que a mineração. Dessa forma, a mineração já tem propiciado a perda de habitat para essas espécies, indicando maior risco de extinção.

Considerações finais

A metodologia desenvolvida nesse estudo indica a importância de usar mais de um tipo de validação para os modelos de nicho ecológico. O Módulo de Análises de Regressão do programa SAGA se mostrou uma ferramenta poderosa na validação de modelos, em conjunto pequeno de dados de presença. Contudo, o uso dessas análises não deve ser limitado pelo tamanho, podendo ser aplicada, a conjuntos de dados maiores. Assim, é possível escolher o modelo que melhor explica a distribuição potencial, de acordo com o conjunto de dados disponível, garantindo mapas de distribuição mais realistas e confiáveis. Esse estudo contribui para o conhecimento da área de distribuição das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*, mostrando que ainda há muito para ser estudado. As projeções para o futuro mostram que essas espécies podem sofrer grande declínio já nas próximas décadas. Assim, esse trabalho traz informações relevantes para direcionar estudos que foquem em encontrar os indivíduos, a fim de conhecer a com maior precisão a situação populacional das espécies desse grupo, que já podem estar em risco de extinção, devido ao aumento da temperatura e da perda de hábitat devido à mineração e, dessa forma, estabelecer políticas para a conservação das espécies.

Referências

- Aiello-Lammens, M.E., Boria, R.A., Radosavljevic, A., Vilela, B. & Anderson, R.P. (2015) spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38, 541–545.
- AmphibiaWeb (2020) *Hylodes* Fitzinger, 1826 | Espécies de anfíbios do mundo. Available from: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/Amphibia/Anura/Hylodidae/Hylodes> (July 7, 2021).
- Anon (2021) IUCN. *Red List of Threatened Species*. Available from: <https://www.iucnredlist.org/about/citationinfo> (December 27, 2021).
- Atlântica, S.M. (2020) 3 *SOS Mata Atlântica - Relatório Anual 2020*.
- Babbitt, K.J. (2005) The relative importance of wetland size and hydroperiod for amphibians in southern New Hampshire, USA. *Wetlands Ecology and Management* 13, 269–279.
- Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Konstant, W.R., Flick, P., Pilgrim, J., Oldfield, S., Magin, G. & Hilton-Taylor, C. (2002) Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* 16, 909–923.
- Canedo, C. & Pombal, J.P. (2007) Two New Species of Torrent Frog of the Genus *Hylodes* (Anura, Hylodidae) With Nuptial Thumb Tubercles. *Herpetologica* 63, 224–235.
- Canelas, M.A.S. & Bertoluci, J. (2007) Anurans of the Serra do Caraça, southeastern Brazil: species composition and phenological patterns of calling activity. *Boletim de Botânica* 97, 21–26.
- Carbon Brief (2022) CMIP6: the next generation of climate models explained - Carbon Brief. Available from: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained> (January 18, 2022).
- Carpenter, G., Gillison, A.N. & Winter, J. (1993) DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and*

Conservation 2, 667–680.

- Chapman, A.D. (2005) Principles and Methods of Data Cleaning. *Report for the Global Biodiversity Information Facility*, 1–72.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V. & Böhrer, J. (2015) System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development* 8, 1991–2007.
- Cordier, J.M., Lescano, J.N., Rios, N.E., Leynaud, G.C. & Nori, J. (2019) Climate change threatens micro-endemic amphibians of an important South American high-altitude center of endemism. *Amphibia Reptilia* 41, 233–243.
- Costa, T.R.N., Carnaval, A.C.O.Q. & Toledo, L.F. (2012) Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. *Revista da Biologia* 8, 33–37.
- Duellman, W.E. & Trueb, L. eds. (1994) *Biology of Amphibia*. Available from: <https://www.anolisbooks.com.br/produtos/detalhes/54/biology-of-amphibia-duellman-trueb-1994> (December 30, 2021).
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M. & E. Zimmermann, N. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. & Yates, C.J. (2011) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57.
- Eterovick, P.C., de Souza, A.M. & Sazima, I. (2020) 36 Boletim de Botânica *Anfíbios anuros da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil*.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J. & Taylor, K.E. (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9, 1937–1958.

- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37, 4302–4315.
- Frost, D.R. (2021) American Museum of Natural History *Amphibian Species of the World: an Online Reference, Version 6.1*. New York, USA
- Galante, P.J., Alade, B., Muscarella, R., Jansa, S.A., Goodman, S.M. & Anderson, R.P. (2018) The challenge of modeling niches and distributions for data-poor species: a comprehensive approach to model complexity. *Ecography* 41, 726–736.
- Galindo-Leal, C. & Câmara, I. de G. (2003) Atlantic forest hotspot status: an overview. In: *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*, pp. 3–11.
- Gibbs, J.P. & Breisch, A.R. (2001) Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900–1999. *Conservation Biology* 15, 1175–1178.
- Giovanelli, J.G.R. (2009) Modelagem de nicho ecológico de anuros da Mata Atlântica.
- Giovanelli, J.G.R., Haddad, C.F.B. & Alexandrino, J. (2008) Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions* 10, 585–590.
- Haddad, C.F.B., Garcia, P.C.A. & Pombal Jr., J.P. (2003) Redescrção de *Hylodes perplicatus* (Miranda-Ribeiro, 1926) (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). *Arquivos do Museu Nacional* 61, 245–254.
- Haddad, C.F.B. & Prado, C.P.A. (2005) Reproductive Modes in Frogs and Their Unexpected Diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55, 12.
- Haddad, I.S.C.F.B., Toledo, L.F., Prado, C.P.A., Loebmann, D. & Gasparini, J.L. (2013) *Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica - Diversidade e Biologia / Guide to the amphibians of the Atlantic Forest: Diversity and Biology*. - 9788565622035 - Livros na Amazon Brasil. 1st ed. Anolis Book.
- Heyer, W.R. (1982) Two new species of the frog genus *Hylodes* from Caparaó, Minas Gerais, Brasil (Amphibia: Leptodactylidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 95, 377–385.

- Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C. & Angulo, A. (2010) The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science* 330, 1503–1509.
- Laia, R.C. & Rocha, C.F.D. (2012) Adults and tadpoles of species of Hylodidae (Anura): History and taxonomy perspectives. *Zoologia* 29, 89–94.
- Lingnau, R. & Bastos, R.P. (2007) Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. *Journal of Natural History* 41, 1227–1235.
- Lingnau, R., Zank, C., Colombo, P. & Kwet, A. (2013) Vocalization of *Hylodes meridionalis* (Mertens 1927) (Anura, Hylodidae) in Rio Grande do Sul, Brazil, with comments on nocturnal calling in the family Hylodidae. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 48, 76–80.
- Malagoli, L.R., de Sá, F.P., Canedo, C. & Haddad, C.F.B. (2017) A New Species of *Hylodes* (Anura, Hylodidae) from Serra do Mar, Southeastern Brazil: The Fourth with Nuptial Thumb Tubercles. *Herpetologica* 73, 136.
- Merow, C., Smith, M.J. & Silander, J.A. (2013) A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36, 1058–1069.
- Monteiro, J.P. de C., Comitti, E.J. & Lingnau, R. (2014) First record of the torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura, Hylodidae) in Santa Catarina State, South Brazil and acoustic comparison with the cryptic species *Hylodes perplicatus* (Anura, Hylodidae). *Biotemas* 27, 93.
- Morales, N.S., Fernández, I.C. & Baca-González, V. (2017) MaxEnt's parameter configuration and small samples: Are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ* 2017, 1–16.
- Mosavi, J., Vaissi, S., Dastansara, N. & Sharifi, M. (2017) Effects of temperature on growth, development and survival in larvae of *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Amphibia: Anura): Linking global warming to amphibian development. *Acta Zoologica Bulgarica* 69, 541–546.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000)

Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858.

Nascimento, L.B., Pombal, J.P. & Haddad, C.F.B. (2001) A new frog of the genus *Hylodes* (Amphibia: Leptodactylidae) from Minas Gerais, Brazil. *Journal of Zoology* 254, 421–428.

Navas, C.A. (1997) Thermal extremes at high elevations in the andes: Physiological ecology of frogs. *Journal of Thermal Biology* 22, 467–477.

Newman, R.A. (1988) Adaptive Plasticity in Development of *Scaphiopus couchii* Tadpoles in Desert Ponds. *Evolution* 42, 774.

Nunes-De-almeida, C.H.L., Haddad, C.F.B. & Toledo, L.F. (2021) A revised classification of the amphibian reproductive modes. *Salamandra* 57, 413–427.

Pena, J.C. de C., Goulart, F., Wilson Fernandes, G., Hoffmann, D., Leite, F.S.F., Britto dos Santos, N., Soares-Filho, B., Sobral-Souza, T., Humberto Vancine, M. & Rodrigues, M. (2017a) Impacts of mining activities on the potencial geographic distribution of eastern Brazil mountaintop endemic species. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15, 172–178.

Pena, J.C. de C., Goulart, F., Wilson Fernandes, G., Hoffmann, D., Leite, F.S.F., Britto dos Santos, N., Soares-Filho, B., Sobral-Souza, T., Humberto Vancine, M. & Rodrigues, M. (2017b) Impacts of mining activities on the potential geographic distribution of eastern Brazil mountaintop endemic species. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15, 172–178.

Pereira, R.M.M. (2017) Phylogenetic Systematics of Hylodidae (Amphibia : Anura).
Universidade de São Paulo

Phillips, S.J. (2017) *A Brief Tutorial on Maxent*.

Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231–259.

Phillips, S.J. & Dudík, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161–175.

Pie, M.R., Meyer, A.L.S., Firkowski, C.R., Ribeiro, L.F. & Bornschein, M.R. (2013)

- Understanding the mechanisms underlying the distribution of microendemic montane frogs (*Brachycephalus* spp., Terrarana: Brachycephalidae) in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Ecological Modelling* 250, 165–176.
- Pirani, R.M., Mângia, S., Santana, D.J., Assis, B. de & Feio, R.N. (2010) Rediscovery, Distribution Extension and Natural History Notes of *Hylodes babax* (Anura, Hylodidae) with Comments on Southeastern Brazil Biogeography. *South American Journal of Herpetology* 5, 83–88.
- Pirani, R.M., Pezzuti, T.L., Motta, A.P. & Feio, R.N. (2011) The tadpole of *Hylodes babax* Heyer, 1982 (Amphibia, Anura, Hylodidae). *Zootaxa* 1866, 64–68.
- Pombal Jr, J.P., Feio, R.N. & Haddad, C.F.B. (2002) A New Species of Torrent Frog Genus *Hylodes* (Anura: Leptodactylidae) From Southeastern Brazil. *Herpetologica* 58, 462–471.
- Pounds, J.A., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P.L., Foster, P.N., La Marca, E., Masters, K.L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S.R., Sánchez-Azofeifa, G.A., Still, C.J. & Young, B.E. (2006) Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439, 161–167.
- Röhr, D.L. & Juncá, F.A. (2013) Micro-Habitat Influence on the Advertisement Call Structure and Sound Propagation Efficiency of *Hypsiboas crepitans* (Anura: Hylidae). *Journal of Herpetology* 47, 549–554.
- Rossa-Feres, D., Garey, M. V, Caramaschi, U., Napoli, M.F., Nomura, F., Bispo, A.A., Brasileiro, C.A., Thomé, M.T.C., Sawaya, R.J., Conte, C.E., Cruz, C.A.G., Nascimento, L.B., Gasparini, J.L., Almeida, A.P. & Haddad, C.F.B. (2017) Revisões em Zoologia: Mata Atlântica *Anfíbios da Mata Atlântica: Lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação*.
- de Sá, F., Pupin, N. & Haddad, C.F.B. (2018) Notes on agonistic communication by the neotropical torrent frog *Hylodes meridionalis* (Hylodidae). *Herpetology Notes* 11, 919–923.
- Sá, F.P., Canedo, C., Lyra, M.L. & Haddad, C.F.B. (2015) A New Species of *Hylodes* (Anura, Hylodidae) and its Secretive Underwater Breeding Behavior. *Herpetologica* 71, 58–71.

- de Sá, F.P., Lyra, M.L. & Haddad, C.F.B. (2020) The rediscovery of *Hylodes regius*: New information about a rare and microendemic atlantic rainforest torrent frog. *Salamandra* 56, 285–295.
- Salles, R. de O.L., Passos, N., Wogel, H. & Bilate, M. (2012) New record and distribution extension of *Hylodes lateristrigatus* (Anura: Hylodidae) in Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Herpetology Notes* 5, 389–390.
- Sanabria, E.A., Quiroga, L.B., González, E., Moreno, D. & Cataldo, A. (2013) Thermal parameters and locomotor performance in juvenile of *Pleurodema nebulosum* (Anura: Leptodactylidae) from the Monte Desert. *Journal of Thermal Biology* 38, 390–395.
- Santos, T.T., Zaidan, B.F., Christiano, P. & Garcia, D.A. (2012) Amphibia, Anura, *Hylodes babax* Heyer, 1982 (Hylodidae), *Dendropsophus ruschii* (Weygoldt and Peixoto, 1987) and *Bokermannohyla ibitipoca* (Caramaschi and Feio, 1990) (Hylidae): Distribution extension and geographic distribution map. *Check List* 8, 313–316.
- Sazima, I. & Bokermann, W. (1982) Anfíbios da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. 5: *Hylodes otavioi* sp. n. (Anura, Leptodactylidae). *Revista Brasileira de Biologia* 42, 767–771.
- Segalla, M. V., Berneck, B., Canedo, C., Caramaschi, U., Cruz, G.A.C., Garcia, P.C.A., Grant, T., Haddad, C.F.B., Lourenço, A.C.C., Mângia, S., Mott, T., Nascimento, L.B., Toledo, L.F., Werneck, F.P. & Langone, J.A. (2021) Lista de Anfíbios do Brasil. *Herpetologia Brasileira* 10, 98.
- Shcheglovitova, M. & Anderson, R.P. (2013) Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling* 269, 9–17.
- Da Silva, H.R. & Benmaman, P. (2008) Uma nova espécie de *Hylodes* Fitzinger da Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, Brasil (Anura: Hylodidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 25, 89–99.
- Da Silva, J.M.C. & Casteleti, C.H.M. (2005) Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: *Mata Atlântica Biodiversidade, ameaças e perspectivas.*, pp. 27.

- Sonter, L.J., Ali, S.H. & Watson, J.E.M. (2018) Mining and biodiversity: Key issues and research needs in conservation science. *The Royal Society* 285.
- Sun, X., Zhao, L., Chen, Q., Wang, J. & Cui, J. (2020) Auditory sensitivity changes with diurnal temperature variation in little torrent frogs (*Amolops torrentis*). *Bioacoustics* 29, 684–696.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 8245–8250.
- Timpone, L.T., Gavira, R.S.B. & Andrade, D. V. (2020) Effects of temperature and meal size on the postprandial metabolic response of *Leptodactylus latrans* (Anura, Leptodactylidae). *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 333, 79–87.
- Toledo, L., Haddad, C., Carnaval, A. & Britto, F. (2006) A Brazilian anuran (*Hylodes magalhaesi*: Leptodactylidae) infected by *Batrachochytrium dendrobatidis*: a conservation concern. *Amphibian & Reptile Conservation* 4, 17–21.
- Visser, H. & De Nijs, T. (2006) The map comparison kit. *Environmental Modelling and Software* 21, 346–358.
- van Vliet, J., Bregt, A.K. & Hagen-Zanker, A. (2011) Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling* 222, 1367–1375.
- Vrcibradic, D., Oliveira, J.C.F., Pralon, E. & Rocha, C.F.D. (2014) Amphibia, Anura, Hylodidae, *Hylodes lateristrigatus* (Baumann, 1912): Filling distribution gap. *Check List* 10, 677–678.
- Wake, D.B. & Vredenburg, V.T. (2009) Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *In the Light of Evolution* 2, 27–44.
- Wisz, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, A.T., Graham, C.H., Guisan, A., Elith, J., Dudík, M., Ferrier, S., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Lohmann, L., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M.C., Phillips, S.J., Richardson, K.S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E.,

- Soberón, J., Williams, S.E. & Zimmermann, N.E. (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14, 763–773.
- Wu, T., Lu, Y., Fang, Y., Xin, X., Li, L., Li, W., Jie, W., Zhang, J., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, F., Zhang, Y., Wu, F., Li, J., Chu, M., Wang, Z., Shi, X., Liu, X., Wei, M., Huang, A., Zhang, Y. & Liu, X. (2019) The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): The main progress from CMIP5 to CMIP6. *Geoscientific Model Development* 12, 1573–1600.
- Xu, T. & Hutchinson, M. (2011) ANUCLIM version 6.1 user guide. *Fenner School of Environment and Society*, 90p.

Anexo 1

Tabela 7: Lista de variáveis climáticas

Variáveis climáticas	
BIO1	Temperatura média anual
BIO2	Intervalo diurno médio (média do mês (temperatura máxima – temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) x 100
BIO4	Sazonalidade de temperatura (desvio padrão x 100)
BIO5	Temperatura mínima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Faixa anual de temperatura (BIO5 – BIO6)
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO12	Precipitação anual
BIO13	Precipitação do mês mais úmido
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

Material suplementar 1

Tabela 8: Resultados compilados das análises do SAGA e resultados da análise de AUC, dos modelos de distribuição potencial atual das espécies do grupo *Hylodes lateristrigatus*. L- Linear; H-Dobradiça; LQ-Linear e Quadrática, LQH-Linear e Quadrática e Dobradiça. Marcação em amarelo representa os melhores resultados de AUC, R², Índice de Moran e Valor médio.

Espécie	Tratamento	Parâmetro	Regularização	AUC	Valor médio	STD-DEV	Soma dos quadrados	Moran I	Resíduos	Graus de liberdade	R ²	R ajustado	F estatístico	DF	P-valor
<i>H. babax</i>	Sem filtro	Padrão	1.0	0.981	0.045	0.114	733.342	0.933	0.082	56390	47.838	47.822	3042.078	17/56390	0.000
			2.0	0.973	0.078	0.159	1422.749	0.942	0.102	56390	59.070	59.058	4787.134	17/56390	0.000
			0.5	0.988	0.030	0.096	521.039	0.931	0.076	56390	38.166	38.147	2047.357	17/56390	0.000
		L	1.0	0.969	0.093	0.171	1655.390	0.940	0.099	56388	66.771	66.760	5963.593	19/56388	0.000
			2.0	0.949	0.150	0.221	2762.115	0.959	0.105	56389	77.404	77.397	10731.358	18/56389	0.000
			0.5	0.978	0.057	0.130	949.272	0.921	0.086	56390	56.068	56.054	4233.302	17/56390	0.000
		H	1.0	0.982	0.042	0.117	775.117	0.905	0.093	56390	37.035	37.016	1951.072	17/56390	0.000
			2.0	0.977	0.105	0.186	1954.166	0.931	0.118	56390	59.540	59.528	4881.347	17/56390	0.000
			0.5	0.990	0.022	0.087	428.063	0.897	0.076	56390	24.092	24.069	1052.804	17/56390	0.000
		LQ	1.0	0.981	0.045	0.114	733.342	0.933	0.082	56390	47.838	47.822	3042.078	17/56390	0.000
			2.0	0.973	0.078	0.159	1422.749	0.942	0.102	56390	59.070	59.058	4787.134	17/56390	0.000
			0.5	0.988	0.030	0.096	521.039	0.931	0.076	56390	38.166	38.147	2047.357	17/56390	0.000
	LQH	1.0	0.986	0.032	0.104	611.920	0.903	0.086	56389	32.538	32.517	1510.982	18/56389	0.000	
		2.0	0.979	0.066	0.152	1297.567	0.925	0.106	56389	50.795	50.779	3233.936	18/56389	0.000	
		0.5	0.992	0.018	0.081	371.895	0.890	0.072	56391	21.425	21.402	960.989	16/56391	0.000	
	Com filtro	Padrão	1.0	0.982	0.044	0.112	706.272	0.940	0.083	56392	45.601	45.586	3151.409	15/56392	0.000
			2.0	0.973	0.083	0.165	1526.725	0.945	0.104	56391	60.024	60.012	5291.909	16/56391	0.000
			0.5	0.989	0.028	0.090	460.336	0.942	0.073	56389	34.562	34.541	1654.576	18/56389	0.000
		L	1.0	0.969	0.097	0.175	1720.681	0.942	0.100	56390	66.911	66.901	6707.724	17/56390	0.000
			2.0	0.946	0.168	0.231	3022.500	0.962	0.104	56390	79.749	79.743	13062.961	17/56390	0.000
			0.5	0.977	0.057	0.128	919.158	0.924	0.086	56393	54.585	54.574	4841.461	14/56393	0.000
		H	1.0	0.984	0.043	0.113	725.459	0.917	0.091	56390	36.288	36.269	1889.302	17/56390	0.000
			2.0	0.977	0.115	0.191	2052.884	0.936	0.120	56390	60.472	60.460	5074.659	17/56390	0.000
			0.5	0.991	0.021	0.083	392.746	0.913	0.073	56391	23.204	23.183	1064.934	16/56391	0.000
LQ		1.0	0.982	0.044	0.112	706.272	0.940	0.083	56392	45.601	45.586	3151.409	15/56392	0.000	
		2.0	0.973	0.083	0.165	1526.725	0.945	0.104	56391	60.024	60.012	5291.909	16/56391	0.000	
		0.5	0.989	0.028	0.090	460.336	0.942	0.073	56389	34.562	34.541	1654.576	18/56389	0.000	
LQH	1.0	0.988	0.031	0.099	551.033	0.917	0.082	56392	30.876	30.858	1679.290	15/56392	0.000		
	2.0	0.979	0.070	0.154	1340.130	0.932	0.109	56391	49.570	49.556	3464.369	16/56391	0.000		
	0.5	0.993	0.017	0.078	339.609	0.910	0.069	56392	20.586	20.565	974.545	15/56392	0.000		

<i>H. lateristrigatus</i>	Sem filtro	Padrão	1.0	0.974	0.081	0.182	1878.098	0.973	0.142	56389	39.143	39.123	2014.938	18/56389	0.000
			2.0	0.964	0.131	0.220	2735.883	0.984	0.150	56390	53.416	53.402	3803.492	17/56390	0.000
			0.5	0.980	0.058	0.157	1387.319	0.961	0.131	56389	30.077	30.055	1347.534	18/56389	0.000
		L	1.0	0.942	0.164	0.231	3011.491	0.972	0.126	56389	70.364	70.354	7437.786	18/56389	0.000
			2.0	0.921	0.213	0.257	3712.233	0.983	0.114	56389	80.194	80.187	12684.030	18/56389	0.000
			0.5	0.953	0.124	0.203	2329.315	0.965	0.128	56389	60.579	60.566	4814.096	18/56389	0.000
		H	1.0	0.970	0.103	0.199	2241.763	0.983	0.152	56391	41.581	41.564	2508.559	16/56391	0.000
			2.0	0.962	0.178	0.242	3299.438	0.989	0.161	56390	55.861	55.848	4197.989	17/56390	0.000
			0.5	0.979	0.061	0.160	1449.880	0.964	0.134	56390	30.323	30.302	1443.539	17/56390	0.000
		LQ	1.0	0.965	0.103	0.195	2141.745	0.974	0.136	56388	51.066	51.049	3097.079	19/56388	0.000
			2.0	0.954	0.147	0.226	2888.235	0.979	0.139	56388	62.045	62.032	4851.491	19/56388	0.000
			0.5	0.969	0.074	0.169	1619.228	0.965	0.129	56389	42.115	42.097	2279.284	18/56389	0.000
	LQH	1.0	0.974	0.081	0.182	1878.098	0.973	0.142	56389	39.143	39.123	2014.938	18/56389	0.000	
		2.0	0.964	0.131	0.220	2735.883	0.984	0.150	56390	53.416	53.402	3803.492	17/56390	0.000	
		0.5	0.980	0.058	0.157	1387.319	0.961	0.131	56389	30.077	30.055	1347.534	18/56389	0.000	
	Com filtro	Padrão	1.0	0.971	0.086	0.187	1974.549	0.974	0.143	56389	41.616	41.598	2233.037	18/56389	0.000
			2.0	0.962	0.137	0.223	2801.226	0.984	0.148	56389	56.190	56.176	4017.963	18/56389	0.000
			0.5	0.978	0.058	0.156	1370.357	0.959	0.129	56389	31.414	31.392	1434.833	18/56389	0.000
		L	1.0	0.936	0.178	0.238	3186.794	0.974	0.118	56390	75.165	75.158	10039.424	17/56390	0.000
			2.0	0.912	0.228	0.257	3733.470	0.985	0.106	56388	83.027	83.021	14517.263	19/56388	0.000
			0.5	0.948	0.137	0.210	2478.979	0.965	0.124	56388	65.123	65.112	5541.595	19/56388	0.000
		H	1.0	0.967	0.104	0.199	2239.781	0.982	0.150	56389	43.258	43.240	2388.279	18/56389	0.000
			2.0	0.959	0.179	0.241	3286.200	0.987	0.157	56391	57.833	57.821	4833.799	16/56391	0.000
			0.5	0.976	0.064	0.164	1515.307	0.967	0.135	56389	32.476	32.455	1506.727	18/56389	0.000
LQ		1.0	0.962	0.109	0.196	2169.966	0.971	0.133	56388	53.982	53.967	3481.460	19/56388	0.000	
		2.0	0.950	0.153	0.229	2958.763	0.978	0.136	56390	64.647	64.636	6065.564	17/56390	0.000	
		0.5	0.968	0.079	0.173	1683.791	0.965	0.128	56389	45.082	45.064	2571.616	18/56389	0.000	
LQH	1.0	0.971	0.086	0.187	1974.549	0.974	0.143	56389	41.616	41.598	2233.037	18/56389	0.000		
	2.0	0.962	0.137	0.223	2801.226	0.984	0.148	56389	56.190	56.176	4017.963	18/56389	0.000		
	0.5	0.978	0.058	0.156	1370.357	0.959	0.129	56389	31.414	31.392	1434.833	18/56389	0.000		

		<i>H. otavioi</i>												
		1.0	0.995	0.018	0.086	412.636	0.984	0.074	56391	26.142	26.121	1247.456	16/56391	0.000
Sem filtro	Padrão	2.0	0.991	0.028	0.112	703.741	0.987	0.089	56393	36.977	36.961	2363.360	14/56393	0.000
		0.5	0.995	0.011	0.067	254.850	0.972	0.062	56392	16.110	16.088	721.980	15/56392	0.000
		1.0	0.993	0.022	0.096	517.760	0.981	0.080	56393	30.431	30.414	1761.952	14/56393	0.000
	L	2.0	0.991	0.032	0.120	818.215	0.987	0.093	56391	40.345	40.328	2383.593	16/56391	0.000
		0.5	0.995	0.013	0.073	301.353	0.973	0.065	56392	19.848	19.826	930.927	15/56392	0.000
		1.0	0.996	0.039	0.129	932.911	0.983	0.100	56392	40.105	40.089	2517.273	15/56392	0.000
	H	2.0	0.992	0.093	0.198	2200.394	0.982	0.125	56389	59.925	59.912	4684.400	18/56389	0.000
		0.5	0.998	0.016	0.080	362.918	0.974	0.071	56390	21.753	21.730	922.174	17/56390	0.000
		1.0	0.995	0.018	0.086	412.636	0.984	0.074	56391	26.142	26.121	1247.456	16/56391	0.000
	LQ	2.0	0.991	0.028	0.112	703.741	0.987	0.089	56393	36.977	36.961	2363.360	14/56393	0.000
		0.5	0.995	0.011	0.067	254.850	0.972	0.062	56392	16.110	16.088	721.980	15/56392	0.000
		1.0	0.996	0.016	0.081	373.743	0.985	0.071	56389	23.422	23.398	958.175	18/56389	0.000
	LQH	2.0	0.993	0.028	0.110	688.436	0.986	0.088	56393	36.087	36.071	2274.314	14/56393	0.000
		0.5	0.998	0.009	0.063	222.402	0.971	0.058	56393	13.340	13.319	620.080	14/56393	0.000
		1.0	0.991	0.025	0.105	622.469	0.986	0.085	56393	33.911	33.895	2066.852	14/56393	0.000
Com filtro	Padrão	2.0	0.991	0.038	0.130	954.105	0.989	0.098	56390	43.306	43.289	2533.741	17/56390	0.000
		0.5	0.995	0.017	0.084	398.889	0.980	0.073	56393	25.177	25.158	1355.376	14/56393	0.000
		1.0	0.991	0.025	0.105	622.469	0.986	0.085	56393	33.911	33.895	2066.852	14/56393	0.000
	L	2.0	0.991	0.038	0.130	954.105	0.989	0.098	56390	43.306	43.289	2533.741	17/56390	0.000
		0.5	0.995	0.017	0.084	398.889	0.980	0.073	56393	25.177	25.158	1355.376	14/56393	0.000
		1.0	0.994	0.049	0.146	1207.230	0.983	0.108	56392	45.867	45.852	3185.349	15/56392	0.000
	H	2.0	0.991	0.119	0.220	2741.658	0.980	0.130	56389	65.367	65.356	5912.750	18/56389	0.000
		0.5	0.997	0.021	0.097	533.859	0.978	0.083	56391	27.039	27.019	1306.160	16/56391	0.000
		1.0	0.992	0.022	0.101	571.227	0.986	0.083	56393	31.995	31.978	1895.154	14/56393	0.000
	LQ	2.0	0.991	0.033	0.122	840.339	0.989	0.094	56392	40.269	40.253	2534.498	15/56392	0.000
		0.5	0.995	0.014	0.079	348.082	0.977	0.069	56390	21.898	21.875	930.033	17/56390	0.000
		1.0	0.995	0.021	0.097	526.747	0.985	0.081	56393	29.964	29.947	1723.393	14/56393	0.000
	LQH	2.0	0.991	0.033	0.122	840.339	0.989	0.094	56392	40.269	40.253	2534.508	15/56392	0.000
		0.5	0.997	0.012	0.074	307.644	0.972	0.067	56391	18.329	18.306	790.988	16/56391	0.000

<i>H. uai</i>	Sem filtro	Padrão	1.0	0.994	0.011	0.069	264.698	0.913	0.061	56388	21.096	21.069	793.463	19/56388	0.000
			2.0	0.993	0.014	0.077	332.606	0.924	0.065	56388	27.885	27.860	1147.548	19/56388	0.000
			0.5	0.995	0.009	0.063	224.299	0.904	0.058	56388	16.796	16.768	599.075	19/56388	0.000
		L	1.0	0.992	0.013	0.072	296.333	0.912	0.062	56390	26.665	26.643	1206.091	17/56390	0.000
			2.0	0.991	0.016	0.078	347.048	0.919	0.065	56389	31.379	31.357	1432.513	18/56389	0.000
			0.5	0.993	0.011	0.067	255.422	0.907	0.059	56388	22.339	22.313	853.671	19/56388	0.000
		H	1.0	0.993	0.014	0.076	327.059	0.925	0.066	56388	24.186	24.160	946.764	19/56388	0.000
			2.0	0.992	0.022	0.093	486.293	0.942	0.075	56389	34.606	34.585	1657.824	18/56389	0.000
			0.5	0.995	0.010	0.065	240.507	0.907	0.059	56388	17.848	17.820	644.760	19/56388	0.000
		LQ	1.0	0.993	0.012	0.070	273.728	0.926	0.060	56389	25.824	25.800	1090.624	18/56389	0.000
			2.0	0.992	0.015	0.078	340.497	0.926	0.064	56389	31.376	31.355	1432.362	18/56389	0.000
			0.5	0.994	0.010	0.064	234.334	0.928	0.057	56389	20.878	20.853	826.634	18/56389	0.000
	LQH	1.0	0.994	0.011	0.069	264.698	0.913	0.061	56388	21.096	21.069	793.463	19/56388	0.000	
		2.0	0.993	0.014	0.077	332.606	0.924	0.065	56388	27.885	27.860	1147.548	19/56388	0.000	
		0.5	0.995	0.009	0.063	224.299	0.904	0.058	56388	16.796	16.768	599.075	19/56388	0.000	
	Com filtro	Padrão	1.0	0.994	0.012	0.071	285.215	0.904	0.062	56388	22.815	22.789	877.244	19/56388	0.000
			2.0	0.992	0.016	0.081	371.852	0.924	0.068	56389	30.774	30.752	1392.620	18/56389	0.000
			0.5	0.995	0.009	0.065	239.378	0.896	0.059	56389	18.132	18.106	693.826	18/56389	0.000
		L	1.0	0.992	0.014	0.075	315.288	0.913	0.063	56390	27.910	27.888	1284.230	17/56390	0.000
			2.0	0.991	0.016	0.082	378.951	0.918	0.067	56389	32.296	32.274	1494.345	18/56389	0.000
			0.5	0.993	0.011	0.069	272.322	0.903	0.061	56389	23.021	22.997	936.876	18/56389	0.000
		H	1.0	0.993	0.016	0.082	379.246	0.931	0.070	56388	27.507	27.483	1126.125	19/56388	0.000
			2.0	0.990	0.027	0.106	629.907	0.949	0.082	56389	39.888	39.868	2078.721	18/56389	0.000
			0.5	0.995	0.011	0.069	265.099	0.902	0.061	56388	19.843	19.816	734.664	19/56388	0.000
LQ		1.0	0.993	0.013	0.073	303.005	0.921	0.063	56390	27.146	27.124	1235.965	17/56390	0.000	
		2.0	0.991	0.017	0.082	379.184	0.923	0.067	56389	32.656	32.635	1519.103	18/56389	0.000	
		0.5	0.994	0.011	0.066	247.970	0.916	0.059	56389	21.980	21.955	882.535	18/56389	0.000	
LQH	1.0	0.994	0.012	0.071	285.215	0.904	0.062	56388	22.815	22.789	877.244	19/56388	0.000		
	2.0	0.992	0.016	0.081	371.852	0.924	0.068	56389	30.774	30.752	1392.620	18/56389	0.000		
	0.5	0.995	0.009	0.065	239.378	0.896	0.059	56389	18.132	18.106	693.826	18/56389	0.000		

