



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE BAURU - FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**LÍGIA MOURIÑO DE ALMEIDA PRADO**

**POSSÍVEIS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA  
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ESPÉCIES DE ANUROS  
PERTENCENTES AO GÊNERO *Melanophryniscus* Gallardo, 1961.**

**Bauru**

**2022**

**LÍGIA MOURIÑO DE ALMEIDA PRADO**

**POSSÍVEIS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA  
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ESPÉCIES DE ANUROS  
PERTENCENTES AO GÊNERO *Melanophryniscus* Gallardo, 1961.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho” – UNESP Câmpus de Bauru,  
para obtenção do título de Bacharel em Ciências  
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Tiago da Silveira  
Vasconcelos

**Bauru**

**2022**

P896

Prado, Lígia Mouriño de Almeida

Possíveis efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica de espécies de anuros pertencentes ao gênero *Melanophryniscus* Gallardo, 1961. / Lígia Mouriño de Almeida Prado.

-- Bauru, 2022

24 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru.

1. Amphibia. 2. Anura. 3. Biogeografia. 4. MNE. I.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Fac Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**LÍGIA MOURIÑO DE ALMEIDA PRADO**

**POSSÍVEIS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA  
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ESPÉCIES DE ANUROS DO  
GÊNERO *Melanophryniscus* Gallardo, 1961.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho” – UNESP Câmpus de Bauru,  
para obtenção do título de Bacharel em Ciências  
Biológicas.

Bauru, 30 de novembro de 2022.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Tiago da Silveira Vasconcelos

---

Prof. Dr. Rodrigo Zieri

---

Prof. Dr. Fabio Maffei

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, aos meus pais, Amaya e Francisco que me apoiaram e incentivaram durante todo esse processo e toda minha graduação, assim como minhas irmãs Ana Luiza e Beatriz que também me apoiaram muito.

Às minhas amigas que conheci durante a graduação, Nádia e Elisa, que foram as minhas maiores companhias e que me apoiaram durante todos esses anos. Além delas, agradeço também aos demais amigos, que estiveram também presentes e me proporcionaram um grande apoio.

Agradeço ao meu orientador por me auxiliar e proporcionar esta incrível experiência de trabalhar com um tema extremamente interessante e pertinente.

Por fim, agradeço à UNESP, aos meus professores e colegas de sala, que também moldaram e contribuíram para a experiência.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar a modelagem de nicho ecológico (MNE) de três espécies de anuros do gênero *Melanophryniscus* (*Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus macrogranulosus* e *Melanophryniscus dorsalis*), pertencentes à região sul da Mata Atlântica. Esta modelagem foi realizada para possibilitar uma elaboração e análise dos mapas de predição de distribuição geográfica, assim como a comparação da distribuição das espécies no presente com os mapas de predição para 2050, que leva em conta as mudanças climáticas, para então poder avaliar possíveis estratégias de conservação dessas espécies. Para a elaboração desses mapas foram levantados registros de ocorrência destas três espécies em bancos de dados digitais de livre acesso e dados presentes na literatura, foram também selecionadas variáveis bioclimáticas. Estes dados foram inseridos na plataforma R onde foi utilizado o algoritmo svm e obtidos os valores de AOC, TSS e os valores de threshold possibilitando a elaboração da modelagem de distribuição de espécies.

**Palavras-chave:** Amphibia, Anura, Mata Atlântica, *Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus macrogranulosus*, *Melanophryniscus dorsalis*, Modelagem de Nicho Ecológico, Mudanças Climáticas.

## ABSTRACT

The main goal of this study was to develop an Ecological Niche Modeling (ENM) of three species of anurans from genus *Melanophryniscus* (*Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus macrogranulosus* e *Melanophryniscus dorsalis*), found in the Rainforest, on the Southern region of Brazil. With the ENM it was possible to plot and analyze prediction maps with the geographic distribution of the chosen species, comparing their distribution in the present with the modeling of 2050 considering the climate change, once these predictions were made they could be used to implement conservation strategies. For the Species Distribution Modeling it was gathered occurrence data of the three species as well as climate data of the present and for the future (2050). These data were gathered from online data banks and literature records available. Then they were used in the R environment where the svm algorithm was applied, obtaining AOC, TSS and threshold values that were used to plot the expected distribution maps.

**Keywords:** Amphibia, Anura, Rainforest, *Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus macrogranulosus*, *Melanophryniscus dorsalis*, Ecological Niche Modeling, Climate Change.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	9
2.1 ESPÉCIES SELECIONADAS .....	9
2.2 OBTENÇÃO DE DADOS DE CLIMA E DE PONTOS DE OCORRÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	10
2.3 ELABORAÇÃO DA MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO .....	10
<b>3 RESULTADOS</b> .....	11
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	14
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	16
<b>ANEXOS</b> .....	18

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos fatores vêm afetando contínua e negativamente a biodiversidade, fatores estes relacionados aos impactos humanos sobre o meio ambiente, como a perda e fragmentação de habitats naturais, poluição, superexploração de recursos naturais, caças, introdução de espécies exóticas e mudança climática global (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Dentre estes diferentes fatores, as mudanças climáticas tem ocasionado diversos impactos ambientais principalmente em regiões subtropicais, que incluem o aumento da temperatura global e a diminuição de precipitação (ZANK et al., 2014). Estas alterações climatológicas tem consequências prejudiciais para a biodiversidade, como por exemplo a redistribuição geográfica de espécies da fauna e flora ou, em última instância, a extinção de diversas espécies (ZANK et al., 2014; PECL et al., 2017). Isto porque as espécies podem não ter uma capacidade biológica de resposta às variações de temperaturas e chuva. Assim, se as espécies não apresentam uma capacidade de resposta fisiológica ou comportamental às variações climáticas, elas podem procurar por novas áreas com um tipo de clima que elas estejam adaptadas, ou podem restringir suas atividades de vida (e.g., temporada reprodutiva, migrações sazonais) para os meses com clima mais adequado (BELLARD et al., 2012)

Fatores ambientais e climáticos como a precipitação e temperatura tem impacto direto e indireto no habito de vida dos anfíbios. Os anfíbios são animais ectotérmicos e dependem da água para a reprodução (apresentam parte de sua vida aquática) e por esses fatores são animais sensíveis a mudanças climáticas (DUELLMAN; TRUEB, 1994, apud BECKER, 2010; ZANK, 2014).

Mudanças na precipitação e outras mudanças climáticas podem alterar a disponibilidade de água e umidade o que, conseqüentemente, pode ocasionar mudanças na reprodução e desfavorece a ocorrência dos anfíbios devido a sua fisiologia (VANCINE, 2018). Mudanças na temperatura também podem alterar o metabolismo dos anfíbios de diversas maneiras, sendo direta ou indiretamente (OLIVEIRA, 2013).

Há prevista uma grande perda de habitat de diversas espécies ocasionada pelas mudanças climáticas, principalmente em relação a espécies mais sensíveis a elas, como espécies de anuros, que são animais extremamente sensíveis a mudanças de temperatura, umidade e precipitação, devido à sua fisiologia e hábitos de vida, que faz com que esses animais sejam considerados importantes bioindicadores (HADDAD et al., 2008).

A modelagem de nicho ecológico (MNE) ou modelo de distribuição de espécies é responsável por caracterizar o nicho ecológico de uma espécie com base nos dados de clima ao

longo de uma determinada área de ocorrência dessa espécie (ARAÚJO; PETERSON, 2012). A partir disso, pode-se prever como estará prevista a distribuição de uma espécie, os seus padrões de distribuição geográfica em uma determinada região e um determinado período, podendo identificar áreas climaticamente adequadas e/ou habitats possivelmente adequados para a ocorrência dessas espécies.

O uso de tais modelagens é de extrema importância pois possibilita caracterizar áreas de acordo com sua prioridade para a conservação (ARAÚJO; PETERSON, 2012) principalmente tendo em vista as mudanças climáticas e como elas afetam o habitat das espécies, objetivo principal a ser realizado neste estudo. Além disso, a modelagem de nicho ecológico possibilita a realização de outras abordagens biológicas, como a modelagem de distribuição de espécies invasoras e seus riscos de introdução, predição de ocorrência de possíveis novas doenças, orientação para descoberta de ocorrências de novas populações, entre outras aplicações (ARAÚJO; PETERSON, 2012).

Especificamente, a MNE é feita a partir dos pontos de ocorrência de uma espécie, onde o seu nicho climático é caracterizado e, então, este nicho climático pode ser projetado em diferentes envelopes bioclimáticos, que pode ser a mesma região de ocorrência da espécie só que utilizando cenários de climas diferentes, ou uma região diferente para avaliar áreas de potencial invasão da espécie, ou uma região diferente em um cenário climático futuro para avaliar o potencial de invasão influenciado pelas mudanças climáticas (RANGEL; LOYOLA, 2012; VASCONCELOS et al., 2018). Para a realização destas modelagens, diferentes algoritmos podem ser utilizados, dependendo do intuito do estudo e/ou dos tipos de dados disponíveis para a pesquisa (RANGEL; LOYOLA, 2012).

Assim, considerando a alta sensibilidade dos anfíbios a variações climáticas, as atuais mudanças climáticas globais e as promissoras metodologias de modelagem de nicho ecológico, o objetivo central deste estudo é integrar estas três temáticas para um estudo de caso com anuros do gênero *Melanophryniscus* Gallardo, 1961 ameaçados de extinção. Especificamente, pretende-se avaliar os potenciais efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica das espécies *Melanophryniscus cambaraensis* Braun & Braun, 1979, *Melanophryniscus dorsalis* Mertens, 1933 e *Melanophryniscus macrogranulosus* Braun, 1973. Assim, considerando uma base de dados climáticas contemporânea, os nichos climáticos das espécies serão caracterizados ao longo de suas respectivas distribuições geográficas e, posteriormente, serão projetados em um cenário climático para 2050, pretendendo-se então identificar se as áreas climaticamente adequadas para a ocorrência destas espécies irão aumentar/diminuir ou mudar de distribuição geográfica em predições futuras.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ESPÉCIES SELECIONADAS

As três espécies escolhidas para este estudo são pertencentes à família Bufonidae e ao gênero *Melanophryniscus*, popularmente conhecida como sapinhos-de-barriga-vermelha (BORDIGNON, 2016): *Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus macrogranulosus* e *Melanophryniscus dorsalis*. Este gênero é caracterizado pela coloração ventral avermelhada, um sinal aposemático que é uma de suas estratégias de defesa contra a predação (BORDIGNON, 2016). Outra estratégia descrita nesses animais é a chamada reflexo *unken*, onde o animal adquire uma postura corporal que deixa suas extremidades e as regiões ventrais (das mãos, pés e garganta) expostas para que possa exibir sua coloração ventral aposemática (BORDIGNON, 2016). Os animais desse gênero também apresentam como defesa a secreção de toxinas pela pele, chamadas alcalóides e bufadienolídeos (JECKEL et al. 2015).

O gênero está distribuído pela região Neotropical, na América do Sul, podendo ser encontrado no norte da Argentina, no Uruguai, Paraguai, Bolívia e na região sudeste do Brasil (QUINTELA, 2007; ZANK et. al., 2014). *Melanophryniscus* tem, atualmente, 26 espécies descritas e sua maioria tem uma distribuição naturalmente restrita (ZANK et. al., 2014), fator que se agrava com a fragmentação de hábitat.

A espécie *Melanophryniscus cambaraensis* é caracterizada principalmente por sua coloração dorsal verde (CAORSI, 2014) e foi descrita originalmente na região da Fortaleza dos Aparatos no Rio Grande do Sul, entretanto não foram descritos mais indivíduos desta espécie nesta região desde então (CAORSI, 2014). Assim, esta espécie é endêmica do Planalto das Araucárias, uma micro-região do Rio Grande do Sul, Brasil, (CAORSI, 2011) e está classificada com o status de dados insuficientes (DD) pela IUCN, mas amplamente classificada como vulnerável (VU) em alguns artigos devido à extensão geográfica de seu hábitat e à fragmentação ambiental dessas regiões (SANTOS, 2014), assim como está classificada como ameaçada de extinção no estado do Rio Grande do Sul (CAORSI, 2011).

*Melanophryniscus dorsalis* é uma espécie que ocorre também na região Sul do Brasil, na costa norte do Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina (CRUZ; CARAMASCHI 2003). Esta espécie é classificada como vulnerável (VU) pela IUCN e, assim como *M. cambaraensis* e *M. macrogranulosus*, existe pouca informação sobre a espécie e sua ocorrência e tem um

hábitat restrito que apresenta fragmentação (Garcia and Vinciprova 2003, apud QUINTELA, 2007).

*Melanophryniscus macrogranulosus*, categorizada como vulnerável (VU) pela IUCN, é endêmica da região nordeste do Rio Grande do Sul, considerado um micro-endemismo. Esta espécie apresenta um hábitat restrito e a fragmentação deste hábitat caracteriza a espécie como vulnerável (CAORSI et al., 2014).

## 2.2 OBTENÇÃO DE PONTOS DE OCORRÊNCIA DAS ESPÉCIES E DE DADOS DE CLIMA PARA MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO

Separadamente para cada espécie, foram buscados os pontos de ocorrência já registrados em bancos de dados online de livre acesso e coleções científicas (Global Biodiversity Information Facility, GBIF: [www.gbif.org](http://www.gbif.org); SpeciesLink project: <http://splink.cria.org.br>), assim como em artigos que relataram e agruparam essas ocorrências. Esses dados foram então organizados e filtrados, desconsiderando os pontos de ocorrência com coordenadas iguais ou muito próximas, agrupados no Anexo 1.

Em seguida, foram obtidos os dados de variáveis bioclimáticas a partir de bancos de dados online, *Chelsa Climate*, (KARGER et al., 2017), onde foram obtidos dados de climas presentes, que é uma média histórica de dados climáticos compilados entre 1979 e 2013 a uma resolução de 1 km<sup>2</sup>. Para a projeção do nicho climático em cenário de mudanças climáticas, foi utilizado também a base de dados *Chelsa Climate* (KARGER et al., 2020) considerando um cenário climático para 2050.

## 2.3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE NICHO ECOLÓGICO

Assim que foram coletados todos os dados, foi utilizada a plataforma R para gerar os mapas de adequabilidade climática das espécies de anfíbios considerando o envelope bioclimático de clima atual e de predição climática para 2050.

Para evitar o uso de todos os dados de clima na construção dos modelos de distribuição, utilizamos a metodologia de seleção de variáveis *Variance Inflation Factors* (VIF) (NAIME; ARAÚJO, 2016). Assim, das 19 variáveis bioclimáticas disponíveis, a análise VIF seleciona somente aquelas mais informativas para a construção dos modelos, evitando a colinearidade entre as variáveis que, em última instância, pode reduzir a performance do algoritmo para a construção dos modelos. No final, sete variáveis climáticas foram selecionadas para a construção dos modelos: variável de isotermalidade, de sazonalidade de temperatura, da temperatura média do ar do trimestre mais úmido, da temperatura média do ar do trimestre mais

seco, da temperatura média do ar do trimestre mais quente, da precipitação média do trimestre mais quente e da precipitação média do trimestre mais frio.

Para gerar a modelagem de distribuição de espécies propriamente dita, foram utilizados os pontos de ocorrência das espécies (dados de presença), juntamente com as variáveis climáticas e os dados de pseudo-ausência, gerados pela plataforma R, para correlacionar esses pontos, gerando então as características da adequabilidade climática da área de extensão de ocorrência de cada espécie. Para tanto, foi utilizado o algoritmo SVM (*support vector machines*), um algoritmo de aprendizado de máquina (*machine-learning*) (JAKKULA, 2006) responsável por fazer uma caracterização climática e gerar a probabilidade de ocorrência das espécies na área de estudo. Especificamente, os métodos *machine-learning* priorizam a precisão do modelo final ao invés do generalismo, o que o torna indicado para aplicações de obtenções de distribuições geográficas atuais quando a maioria dos pontos de ocorrência das espécies são conhecidos (RANGEL; LOYOLA, 2012).

Após a construção do modelo de distribuição, seu poder de predição foi então avaliado pelas métricas AUC (*Area Under the Curve*) e TSS (*True Skill Statistic*) que, resumidamente, avaliam a porcentagem de erros de comissão (i.e., quando o modelo diz que uma espécie ocorre em uma localidade que, na verdade, ela não existe) e omissão (quando o modelo aponta ausência de uma espécie em uma localidade quando, na verdade, tem-se um ponto de ocorrência registrado) gerados no modelo final. Assim, os valores de AUC variam entre 0 e 1 e os de TSS variam de -1 a 1, sendo que um valor de AUC > 0,75 e de TSS > 0,3 indicam um bom poder preditivo (VASCONCELOS et al., 2018).

Foram obtidos, por fim, os dados de *threshold* da predição obtida para cada espécie, que são valores limítrofes que permitem a confecção de mapas binários (presença/ausência). Para tanto, consideramos abordagens específicas para determinação destes *thresholds* (*sensitivity = specificity*), de acordo com Liu et al. (2005) para confecção dos mapas finais. Assim, os mapas apresentados representam os valores de adequabilidade climática obtidos para cada espécie, representando então os valores acima dos valores de *threshold*, assegurando então maior probabilidade de ocorrência das áreas climaticamente favoráveis das espécies estudadas.

### 3 RESULTADOS

Foram obtidos os mapas de nicho ecológico das três espécies para cenário de clima atual e para o futuro (2050). Tais modelos apresentaram alto poder de precisão, variando os valores de AUC em torno de 0,98 e TSS de 0.96.

Na figura 1, observam-se os pontos de ocorrência de *M. macrogranulosus* que, comparado com a sua modelagem de distribuição para o clima atual, pode-se perceber uma congruência entre os pontos de ocorrência e as áreas de predição da modelagem de nicho ecológico. Para o mapa da predição atual (Figura 1), observa-se ainda predições no estado de Santa Catarina e Paraná, o que na verdade devem representar áreas climaticamente favoráveis para sua ocorrência, e não áreas onde a espécie ocorre. Para a predição de 2050, a Figura 1 mostra ainda que *M. macrogranulosus* deve apresentar uma pequena redução na área climaticamente favorável para sua ocorrência, associado também com uma perda de área climaticamente favorável para as populações (i.e., pontos de ocorrência) do leste de sua distribuição geográfica, enquanto ganho de novas áreas climaticamente favoráveis são previstas para novas áreas à noroeste da distribuição dos pontos de ocorrência da espécie.

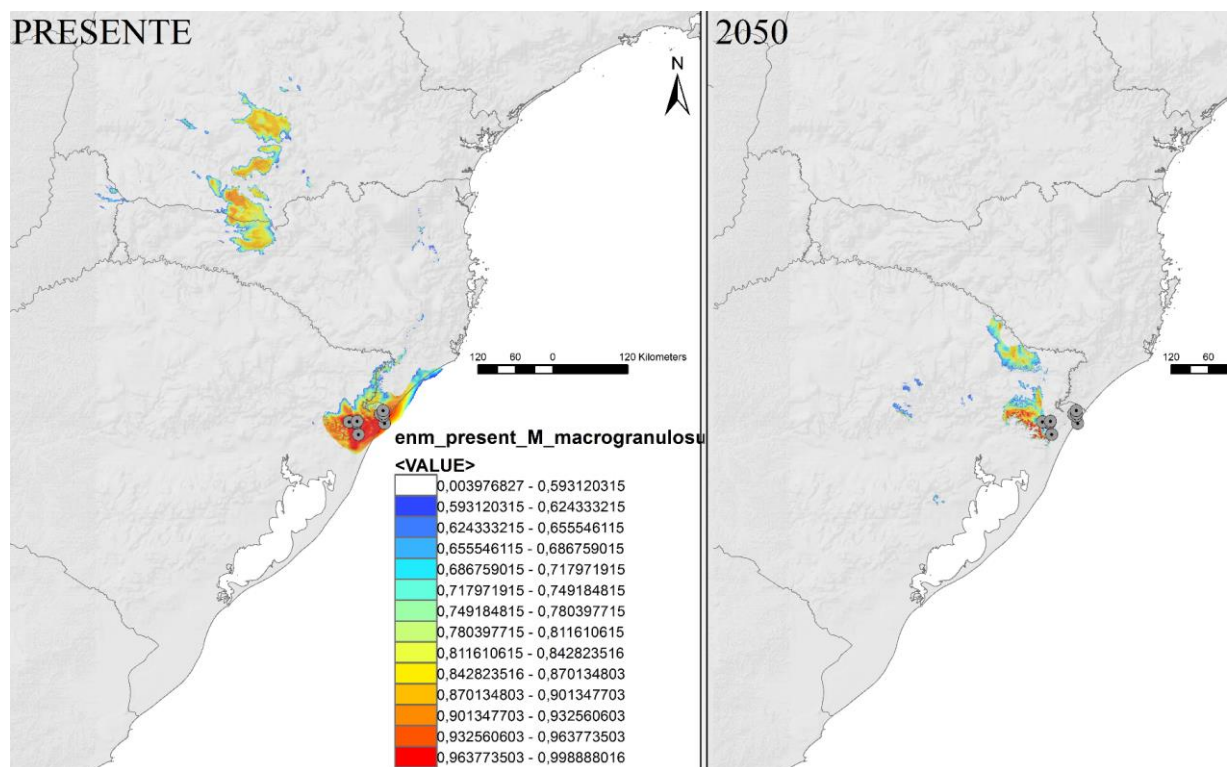


Figura 1- Mapas de adequabilidade ambiental de *Melanophryniscus macrogranulosus*

Para a espécie *M. cambaraensis* (Figura 2), observa-se que a MDE é razoavelmente congruente com os pontos de ocorrência da espécie, havendo apenas pequenas áreas de super-predições no estado de Santa Catarina e Paraná. Porém, para o cenário de mudanças climáticas em 2050, pouca área climaticamente favorável é prevista para *M. cambaraensis* ao longo da extensão da distribuição atual da espécie (Figura 2). Neste caso, áreas climaticamente favoráveis são restritas para 2050 para pequenas áreas na região de fronteira entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, além de pequenas manchas de predições na região de fronteira entre Santa Catarina e Paraná.

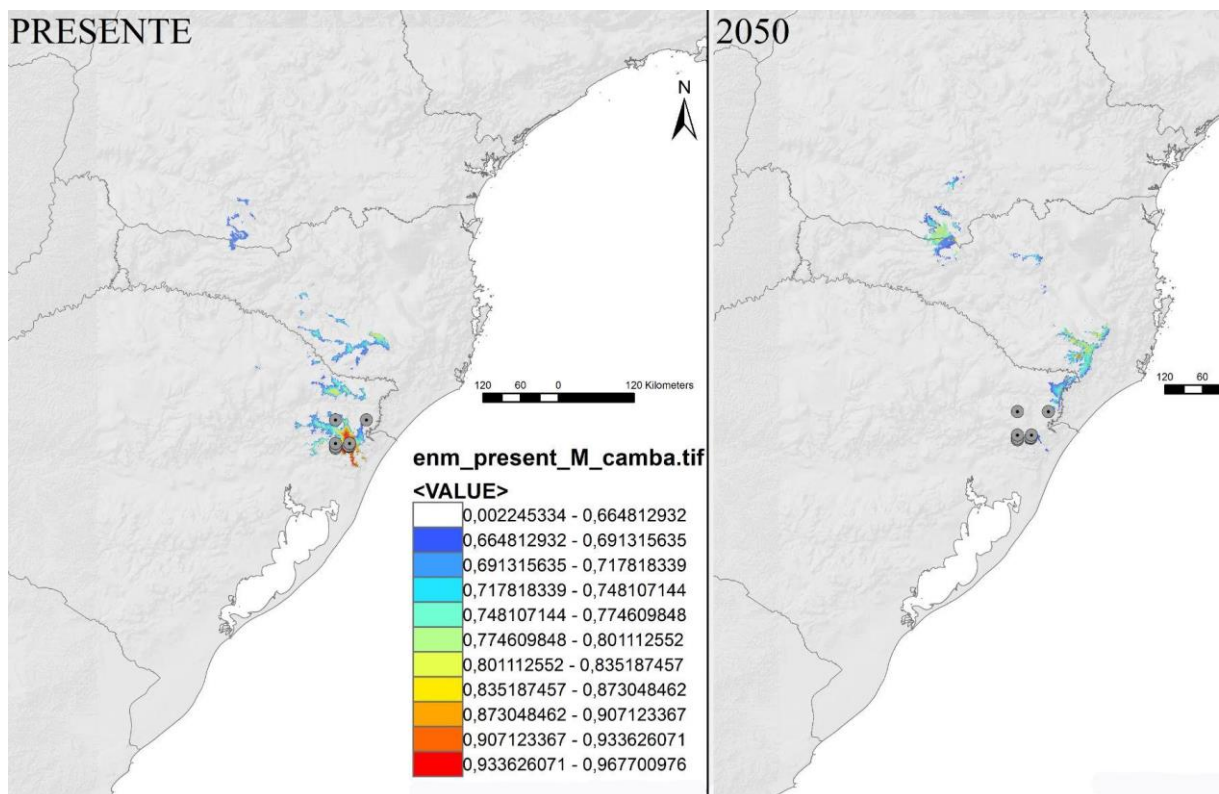


Figura 2- Mapas de adequabilidade ambiental de *Melanophryniscus cambaraensis*

Por fim, a figura 3 mostra as predições obtidas para *M. dorsalis*. A predição para o clima atual mostra uma razoável congruência entre os pontos de ocorrência distribuídos ao longo da costa Atlântica nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e a modelagem de nicho climático propriamente dita. No entanto, a predição de áreas climaticamente favoráveis em cenário de mudanças climáticas (2050) (Figura 3) mostra uma ampla área predita, tanto próximos aos pontos de ocorrência da espécie ao longo da costa Atlântica quanto nas regiões mais centrais dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

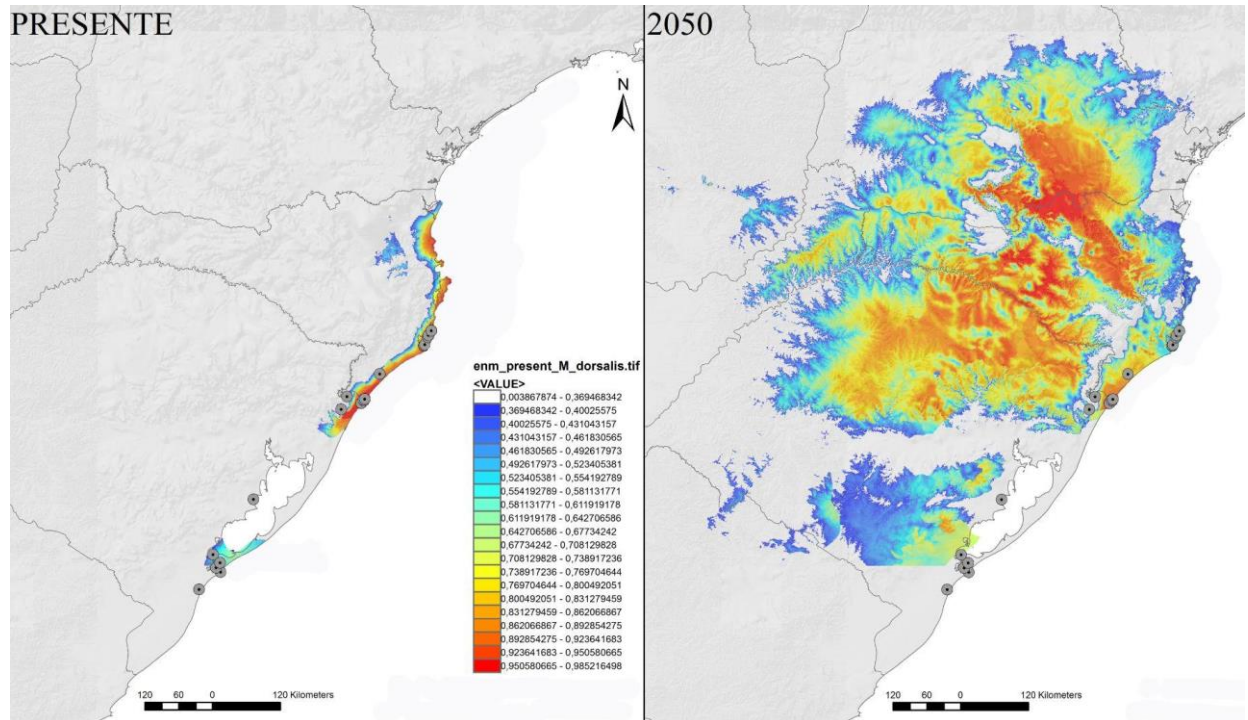


Figura 3- Mapas de adequabilidade ambiental de *Melanophryniscus dorsalis*

## 4 DISCUSSÃO

Para duas espécies, *Melanophryniscus macrogranulosus* e *M. cambaraensis*, as predições apontaram diminuição de áreas climaticamente favoráveis em cenários de mudanças climáticas, enquanto que para *M. dorsalis* o padrão inverso foi encontrado; aumento da área predita em cenário futuro.

É comum que essas predições apontem uma diminuição de áreas climaticamente favoráveis, como observado em estudos anteriores com outras espécies, como no estudo feito por Vasconcelos & Nascimento (2016) com espécies de pererecas de ampla ocorrência na América do Sul, onde as quatro espécies estudadas apresentaram uma tendência geral de redução de área climaticamente favorável em cenários futuros de mudanças climáticas. Giovanelli (2009) aponta, também, uma diminuição de área climaticamente favorável para o gênero *Brachycephalus* em regiões da Mata Atlântica do sudeste do Brasil em cenários de mudanças climáticas. Predições de diminuição de áreas climaticamente adequadas em cenários de mudanças climáticas também são registradas para outros grupos animais, como em escorpiões (*Tityus serrulatus*; Aranha 2015) e serpentes (*Phalotris lativittatus*; Vasconcelos 2014)

O aumento de área, apesar de menos comum, já foi relatado em outras espécies como no escorpião *Tityus stigmurus* (Aranha 2015) e na perereca *Hypsiboas bischoff* (Giovanelli 2009). Neste último caso, Giovanelli (2009) relata que espécies mais generalistas de anfíbios e com hábitos reprodutivos mais basais podem resistir ou até mesmo se beneficiar dessas mudanças climáticas. Ainda, Vasconcelos et al. (2018) registraram que a região nordeste do Cerrado brasileiro é prevista para ter uma homogeneização de espécies de anfíbios em cenários de mudanças climáticas, provavelmente resultante das previsões de aumento de áreas climaticamente favoráveis para espécies de anfíbios mais generalistas desta região do Cerrado.

As previsões de *M. macrogranulosus* (Fig. 1) e *M. cambaraensis* (Fig. 2) apresentam resultados semelhantes quanto à redução de áreas climaticamente favoráveis para 2050 e alteração da distribuição geográfica das espécies direcionadas para o norte de suas distribuições geográficas atuais. Em outras palavras, os modelos obtidos neste estudo indicam que algumas populações (i.e., pontos de ocorrências) de ambas as espécies não encontrarão em 2050 áreas climaticamente similares a seus nichos climáticos. As implicações destes resultados para os registros de ocorrências atuais são que, para lidar com uma região com um novo regime climático, as populações presentes nos pontos de ocorrências atuais das espécies deverão exibir respostas adaptativas à esta mudança de clima. BELLARD et al. (2012) aponta que, se os organismos não conseguirem exibir respostas comportamentais e/ou fisiológicas (e.g., estivação ou procura de microambientes adequados para evitar climas desfavoráveis) ou não ajustar suas atividades de história natural para os períodos do ano mais favoráveis climaticamente (e.g., temporada reprodutiva), a única alternativa seria exibir uma capacidade dispersiva ou migratória para as áreas climaticamente favoráveis no cenário futuro de mudanças climáticas. Assim, o presente estudo indica onde estas áreas estariam presentes para ambas as espécies, sendo de extrema importância para estabelecer esforços de conservação *in situ* para as espécies.

No caso de *M. dorsalis*, apesar do modelo indicar uma relativa congruência no mapa de adequabilidade para o presente (Fig. 3), há um aumento generalizado de sua área na previsão climática para 2050. Apesar de alguns estudos indicarem aumento de áreas climaticamente favoráveis em cenários de mudanças climáticas, como já discutido acima (ARANHA 2015; GIOVANELLI 2019), a previsão para 2050 para *M. dorsalis* não parece biologicamente plausível e realista. Apesar do algoritmo utilizado para a construção do modelo de distribuição ser considerado adequado em diferentes contextos de sua aplicação (RANGEL; LOYOLA, 2012), algum ajuste metodológico deve ser realizado para a obtenção de um modelo de distribuição mais realista e robusto para *M. dorsalis*, talvez a utilização de algoritmos adicionais para a realização de uma previsão conjunta (ARAÚJO; NEW, 2007), inserção de alguma

variável preditora de importância específica para a espécie estudada (VASCONCELOS et al. 2017), ou mesmo consideração de cenários climáticos para 2050 adicionais com posterior realização de um mapa consensual final (e.g., VASCONCELOS et al. 2018).

As espécies de *Melanophryniscus* selecionadas neste estudo apresentam habitats naturais constantemente ameaçados e relativamente diminutos, sofrendo degradação e fragmentação constante devido aos impactos da ação humana (ZANK et. al., 2014). Adicionalmente a estes fatores, as mudanças climáticas podem amplificar estes fatores de ameaça, podendo tornar ainda mais críticos o status de conservação destas espécies. Por isso é importante tomar medidas urgentes para a conservação destas espécies, tais como a criação de novas Unidades de Conservação (UC) assim como a priorização e manutenção de UCs já existentes, assim como aumentar o investimento a novos estudos com essas espécies. Em um contexto mais abrangente, incentivamos também a mesma abordagem do presente estudos com outras espécies de anfíbios dependentes de matas e ameaçadas de extinção, no sentido de identificar áreas importantes para a conservação de espécies no presente e em cenários futuros de alterações climáticas e, assim, mitigar os impactos das mudanças climáticas neste grupo de animais tão diverso na Mata Atlântica brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, C. O. **Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 e *Tityus stigmurus* (Thorell, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**. 2015. 69 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

ARAÚJO, M. B.; PETERSON, A. T. **Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling**. *Ecology*, v. 93, n. 7, p. 1527-1539, 2012.

ARAÚJO, M. B.; NEW, M. **Ensemble forecasting of species distributions**. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 22, n. 1, p. 42-47, 2007.

BECKER, C. G. et al. **Habitat split as a cause of local population declines of amphibians with aquatic larvae**. *Conservation Biology*, v. 24, n. 1, p. 287-294, 2010.

BELLARD, Céline et al. **Impacts of climate change on the future of biodiversity**. *Ecology letters*, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.

BORDIGNON, D. W. **O reflexo "unken" e a coloração aposemática nos sapos-de-barriga-vermelha (*MELANOPHRYNISCUS* Gallardo, 1961) são estratégias defensivas eficientes contra predadores visualmente orientados?** 2016. 30 f. TCC (graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CAORSI, V. Z. **Comportamento Reprodutivo de *Melanophryniscus cambaraensis* (Anura: Bufonidae) na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2011. 18 f. TCC (graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAORSI, V. Z. et al. **Natural history, coloration pattern and conservation status of the threatened South Brazilian red bellied toad, *Melanophryniscus macrogranulosus* Braun, 1973 (Anura, Bufonidae)**. *Herpetology Notes*, v. 7, p. 585-598, 2014.

CAORSI, V. Z. **Revisão taxonômica de *Melanophryniscus macrogranulosus* Braun, 1973 e *M. Cambaraensis* Braun & Braun, 1979, duas espécies ameaçadas de extinção do extremo sul da Mata Atlântica**. 2014. 96 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Biologia Animal, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CRUZ, C. A. G.; CARAMASCHI, U. **Taxonomic status of *Melanophryniscus Stelzneri Dorsalis* (Mertens, 1933) and *Melanophryniscus Stelzneri Fulvoguttatus* (Mertens, 1937): (Amphibia, Anura, Bufonidae)**. Oficina Gráfica da Univ. do Brasil, 2003.

GBIF.org (04 October 2021) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.j2wqe3> (*Melanophryniscus cambaraensis* Braun & Braun, 1979)

GBIF.org (10 October 2021) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.mwyj9n> (*Melanophryniscus macrogranulosus* Braun, 1973)

GBIF.org (10 October 2021) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.959y6k> (*Melanophryniscus dorsalis* Mertens, 1933)

GIOVANELLI, J. G. R. **Modelagem de nicho ecológico de anuros da Mata Atlântica**. 2009. 79 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

HADDAD, C. F. B.; GIOVANELLI, J. G. R.; ALEXANDRINO, J. **O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios 11.** Dimensão Zoológica. Departamento de Zoologia, IB, UNESP, 2008.

IUCN. 2022. **Lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN.** Versão 2022-1. <https://www.iucnredlist.org> Acesso em: 02 de ago. 2022.

JAKKULA, V. **Tutorial on support vector machine (svm).** School of EECS, Washington State University, v. 37, n. 2.5, p. 3, 2006.

JECKEL, A. M.; GRANT, T.; SAPORITO, R. A. **Sequestered and synthesized chemical defenses in the poison frog *Melanophryniscus moreirae*.** Journal of Chemical Ecology, v. 41, n. 5, p. 505-512, 2015.

KARGER, D. N.; CONRAD, O.; BÖHNER, J.; KAWOHL, T.; KREFT, H.; SORIA-AUZA, R.W.; ZIMMERMANN, N.E.; LINDER, P.; KESSLER, M. **Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas.** Scientific Data. 4 170122. 2017.

KARGER, D.N.; SCHMATZ, D.; DETTLING, D.; ZIMMERMANN, N.E. **High resolution monthly precipitation and temperature timeseries for the period 2006-2100.** Scientific Data. 2020.

LIU, C., BERRY, P. M., DAWSON, T. P., PEARSON, R. G. **Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions.** Ecography, 28, 385–393. 2005. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>

Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis.** Washington: World Resources Institute. 2005.

NAIMI, B.; ARAÚJO, M. B. **sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling.** Ecography, 39, 368–371. 2016.

OLIVEIRA, H. R.; CASSEMIRO, F. A. S. **Potenciais efeitos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição de um anuro da Caatinga *Rhinella granulosa* (Anura, Bufonidae).** Iheringia. Série Zoologia, v. 103, p. 272-279, 2013.

PECL, G. T. et al. **Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being.** Science, v. 355, n. 6332, p. eaai9214, 2017.

QUINTELA, F. M. et al. **Amphibia, Anura, Bufonidae, *Melanophryniscus dorsalis*: distribution extension in the state of Rio Grande do Sul, Brazil.** Checklist, 3(2): 105-108. 2007.

RANGEL, T. F.; LOYOLA, R. D. **Labeling ecological niche models.** Natureza & Conservação, 10, 119–126. 2012.

SANTOS, T. G.; IOP, S.; ALVES, S. S. **Anfíbios dos Campos Sulinos: diversidade, lacunas de conhecimento, desafios para conservação e perspectivas.** Herpetologia Brasileira, v. 3, n. 2, p. 51-59, 2014.

VANCINE, M. H. **Diversidade, distribuição e efeito das mudanças climáticas sobre comunidades de anfíbios da Mata Atlântica.** 2018. 138 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.

VASCONCELOS, T. S. **Tracking climatically suitable áreas for na endemic Cerrado snake under climate change.** Natureza & Conservação, v. 12, n. 1, p. 47-52, 2014.

VASCONCELOS, T. S.; NASCIMENTO, B. T. M. **Potential climate-driven impacts on the distribution of generalist treefrogs in South America.** *Herpetologica*, v. 72, n. 1, p. 23-31, 2016.

VASCONCELOS, T. S.; ANTONELLI, C. P., NAPOLI, M. F. **Mutualism influences species distribution predictions for a bromeliad-breeding anuran under climate change.** *Austral Ecology*, v. 42, n. 7, p. 869-877, 2017.

VASCONCELOS, T. S.; NASCIMENTO, B. T. M.; PRADO, V. H. M. **Expected impacts of climate change threaten the anuran diversity in the Brazilian hotspots.** *Ecology and evolution*, v. 8, n. 16, p. 7894-7906, 2018.

ZANK, C. et al. **Climate change and the distribution of neotropical red-bellied toads (*Melanophryniscus*, Anura, Amphibia): how to prioritize species and populations?** *PLoS One*, v. 9, n. 4, p. e94625, 2014.

## ANEXOS

Anexo 1 - Pontos de ocorrência de *Melanophryniscus cambaraensis*, *Melanophryniscus dorsalis* e *Melanophryniscus macrogranulosus*.

Espécie	Longitude	Latitude
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5855	-29.448
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5854	-29.0478
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5853	-29.3833
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5852	-29.428
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5851	-29.448
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.585	-29.448
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5849	-29.448
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5848	-29.3833
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5847	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5846	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5845	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5844	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5843	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5842	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5841	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.584	-29.0478
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5839	-29.0478
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5838	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5837	-29.4481

Espécie	Longitude	Latitude
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.5836	-29.4481
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.4	-29.4166
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.3955	-29.428
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.3864	-29.4228
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.3833	-29.3833
<i>Melanophryniscus cambaraensis</i>	-50.1447	-29.0478
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-52.3702	-32.3816
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-52.0272	-32.1039
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-52.0986	-32.035
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-52.0344	-31.9562
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-52.1487	-31.8238
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-51.5033	-30.9428
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-50.1	-29.5
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.78	-29.4019
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7805	-29.4002
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7805	-29.4002
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7388	-29.3597
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.75	-29.35
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7266	-29.3355
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7268	-29.3353
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.7269	-29.3353

Espécie	Longitude	Latitude
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-50.0096	-29.2974
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-49.4858	-28.9347
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.7805	-28.4827
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.7807	-28.4825
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.7666	-28.4666
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.7182	-28.3461
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.709	-28.3177
<i>Melanophryniscus dorsalis</i>	-48.6647	-28.2422
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.2072	-29.675
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.2071	-29.6749
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.8291	-29.514
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.2433	-29.5066
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.24	-29.5051
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.2395	-29.505
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.3421	-29.4931
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-50.2274	-29.4825
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.8525	-29.4066
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.8508	-29.4055
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.8922	-29.38
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.8497	-29.3694
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.85	-29.3272

Espécie	Longitude	Latitude
<i>Melanophryniscus macrogranulosus</i>	-49.85	-22.3272