

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ

VICTOR COUTINHO DA SILVA

MUDANÇAS MORFOLÓGICAS RÁPIDAS EM UM MAMÍFERO ENDÊMICO DAS  
RESTINGAS DO SUDESTE BRASILEIRO (RODENTIA: CRICETIDAE: *Cerradomys*  
*goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011)

MACAÉ

2022

Victor Coutinho da Silva

MUDANÇAS MORFOLÓGICAS RÁPIDAS EM UM MAMÍFERO ENDÊMICO DAS  
RESTINGAS DO SUDESTE BRASILEIRO (RODENTIA: CRICETIDAE: *Cerradomys*  
*goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Caryne Aparecida de Carvalho Braga

Coorientador: Prof. Dr. Pablo Rodrigues Gonçalves

Macaé

2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

S586m Silva, Victor Coutinho da  
Mudanças morfológicas rápidas em um mamífero endêmico das restingas do sudeste brasileiro (Rodentia: Cricetidae: Cerradomys goytaca TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011) / Victor Coutinho da Silva. -- Rio de Janeiro, 2022.  
56 f.

Orientadora: Caryne Aparecida de Carvalho Braga.  
Coorientador: Pablo Rodrigues Gonçalves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, 2022.

1. Tamanho. 2. Morfometria geométrica. 3. Mudanças climáticas. I. Braga, Caryne Aparecida de Carvalho, orient. II. Gonçalves, Pablo Rodrigues, coorient. III. Título.

Victor Coutinho da Silva

MUDANÇAS MORFOLÓGICAS RÁPIDAS EM UM MAMÍFERO ENDÊMICO DAS  
RESTINGAS DO SUDESTE BRASILEIRO (RODENTIA: CRICETIDAE: *Cerradomys*  
*goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação.

Aprovada em

---

Profa. Dra. Caryne Aparecida de Carvalho Braga

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

---

Dra. Rafaela Velloso Missagia

Universidade Federal de Minas Gerais

---

Prof. Dr. William Corrêa Tavares

Universidade Federal do Rio de Janeiro

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família. Minha mãe Dayse, minha irmã Juliana, meu pai José Samuel, minha sobrinha Isabela e minha filha psitacídea Sansa. Todos vocês foram essenciais, não só nessa difícil jornada dos últimos dois anos, mas em todos os momentos da minha vida. Eu não seria ninguém sem a presença, amor e carinho de vocês. Amo muito vocês!

Quero agradecer aos amigos, Vinnícius Machado e Thiago Couto, os dois terços restantes dos membros do Bolinha's Club. Foram muitas risadas, desabafos, puxões de orelha e conversas sobre a vida que tivemos. Todos nós cumprimos importantes etapas das nossas vidas nesses últimos dois anos e estávamos sempre um do lado do outro nesses momentos, seja na alegria ou na tristeza. Minha vida é muito mais especial tendo vocês dois caminhando ao meu lado. Muito obrigado pela amizade de vocês. Também amo muito vocês!

Agradeço ao meu irmão de outra mãe, Yago Lourenço. São quase dez anos de amizade desde que nos conhecemos no ensino médio. Nesse tempo nós crescemos, amadurecemos e estamos seguindo nossas vidas juntos, mesmo que um pouco a distância em cidades diferentes. Faço de todas as palavras que disse ao Vinnícius e Thiago para você também, meu querido. Muito obrigado por tudo. Te amo!

Agradeço a minha grande amiga, Isabelle Chagas. Acredito que ficamos muito mais próximos nesses últimos dois anos. Nossa amizade que começou no laboratório, como meros colegas de graduação, virou uma amizade para vida, tanto pessoal como profissional. Muitas aventuras, atolamentos, estresses e demais imprevistos e perrengues que apenas um campo pode nos proporcionar. Muito obrigado por todos esses momentos Tesoura.

Agradeço também aos demais amigos que também fazem parte da minha vida. Tanto aos amigos que fiz no ensino médio, como Lucas Franco, Matheus Proença, Patrick Machado e Wellington Marins, quando aos amigos que fiz na graduação, como Ariadne Lobo, Beatriz Memória, Mariane Marcelino, Renan Monte e Victória Bartolome. Foram muitos momentos marcantes que passamos juntos, como a correria para estudar na véspera de uma prova, as nossas conquistas em passar nas faculdades ou conseguir uma vaga de emprego, as sessões malucas de RPGs de mesa, as festas que fomos juntos e as várias horas de triagem de pelotas no laboratório. Obrigado a todos vocês por marcarem a minha vida.

Agradeço a minha psicóloga, Carla Pimenta. Esses últimos dois anos foram muito difíceis por diversos motivos, mas eu agradeço muito por ter te conhecido e iniciado a minha terapia. São várias horas de conversas que nós temos sobre diversos assuntos, com você me fazendo entender e olhar por uma perspectiva diferente alguns aspectos da minha vida. Você foi parte fundamental para não me fazer desistir durante essa difícil etapa. Muito obrigado por tudo.

Agradeço ao meu amigo, Helio Secco. Obrigado por toda a confiança que você depositou em mim e pelas oportunidades nesses últimos dois anos. Nossa parceria, tanto na amizade quanto no trabalho, vem crescendo ao longo desses dois anos e espero que ela cresça ainda mais.

Agradeço aos amigos e colegas de campo das consultorias, principalmente ao Fábio Khaled e Nathália Louzada. Foram muitos perrengues que passamos juntos nos vários campos de morcegos que fizemos nesses últimos anos, como atolamentos e triar 90 bichos em uma noite. Apesar de todo o cansaço, os campos foram mais divertidos com vocês.

Agradeço também aos colegas de laboratório, Juan David, Ian Moreira e Guilherme Machado. Tivemos pouco convívio nesses últimos anos, mas todos os breves momentos foram muito divertidos e importantes para mim.

Quero agradecer aos meus orientadores, Profa. Dra. Caryne Braga e Prof. Dr. Pablo Gonçalves. Foram muitos conselhos, puxões de orelha, orientações e conversas para construir esse trabalho. Obrigado por tudo.

Agradeço a todos os profissionais da área que me avaliaram e ajudaram na construção do trabalho. Ao Prof. Dr. Fabio Di Dario pela avaliação do relatório anual de 2020. A Dra. Jamile Bubadué pela participação e avaliação durante a banca de qualificação. A Dra. Rafaela Missagia também pela participação e avaliação durante a banca de qualificação e agora na banca de defesa. Ao Dr. William Tavares por aceitar participar da banca de defesa. Ao Dr. Carlos Barboza por aceitar o convite de ser suplente das bancas de qualificação e defesa e por aceitar o convite em ser membro da pré-banca. Ao Dr. Aldo Caccavo por aceitar ser membro suplente da banca de defesa. Agradeço mais uma vez a todos vocês por todas as considerações e críticas, vocês foram essenciais para a construção deste estudo.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação (PPG-CiAC) pela oportunidade, pelas disciplinas que somaram conhecimento e pelo apoio

durante esse período de pandemia. Agradeço também a coordenadora do PPG-CiAC, Prof. Dra. Ana Petry por todo apoio e simpatia durante esses anos.

Agradeço a equipe do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Obrigado por todo apoio na realização dos campos nesses últimos anos.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento durante todo o projeto.

Por fim, quero agradecer mais uma vez a todos vocês. Cada um de vocês me ajudaram a passar por esse período turbulento, cada um de uma forma, mas todos foram extremamente importantes nessa etapa da minha vida. Muito obrigado por tudo!

## RESUMO

Um dos principais objetivos da biologia da conservação é entender como as populações das espécies respondem a mudanças climáticas. Uma das respostas consiste na variação morfológica em função a certos fatores ecológicos. Mudanças no clima ou no hábitat podem alterar a disponibilidade de recursos, afetando a morfologia de uma população em um curto período. Essas mudanças são denominadas mudanças morfológicas rápidas (MMR). O estudo das MMR permite compreender a evolução fenotípica das populações, elucidando como espécies ameaçadas e com distribuição restrita, como o roedor *Cerradomys goytaca*, têm respondido às mudanças climáticas em curso. Sendo assim, esse estudo tem como objetivo verificar mudanças morfológicas rápidas de tamanho em indivíduos de *C. goytaca* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba nos últimos 10 anos, e avaliar se estas mudanças estão associadas à variação climática observada no período. Os indivíduos de *C. goytaca* foram coletados entre os anos 2010-2021 através de dois métodos, armadilhas de captura-viva e pelotas de coruja suindara *Tyto furcata*, totalizando 687 indivíduos. Os indivíduos foram separados em seis classes etárias classificadas de acordo com o desgaste dos molares inferiores. Após a classificação, foram utilizados dez marcos anatômicos para descrever por meio de morfometria geométrica os padrões de variação de tamanho das mandíbulas dos indivíduos entre classes etárias (variação ontogenética) e entre anos (variação intergeracional) dentro da mesma classe etária. Por fim, foram avaliadas 12 variáveis climáticas como preditoras de variação do tamanho das mandíbulas. Foi observada uma grande variação na precipitação e temperatura nos anos do estudo, com um período prolongado de seca detectado em 2014-2015. O crescimento em *C. goytaca* é mais acentuado quando o indivíduo alcança a classe 2 e, posteriormente, passa para a classe 3. Em relação a variação morfométrica intergeracional, foi detectada diferença significativa entre anos apenas para as classes 4 ( $F = 2,83$ , g.l. = 10, p-valor = 0,01) e 5 ( $F = 2,42$ , g.l. = 7, p-valor = 0,04). O tamanho das mandíbulas foi influenciado pelas variáveis climáticas nas classes 1, 4 e 5, com cada classe apresentando uma variável diferente como mais importante. Os indivíduos de *C. goytaca* apresentaram mudanças morfológicas rápidas nos últimos 10 anos e foi possível correlacioná-las com a variação climática neste período, com destaque para o impacto negativo da estiagem sobre o tamanho populacional e sobre o tamanho dos indivíduos. Assim, esse estudo mostra evidências do que pode acontecer nos próximos anos, visto que os modelos climáticos preveem secas mais intensas nas próximas décadas.

Palavras-chave: Tamanho, morfometria geométrica, mudanças climáticas.

## ABSTRACT

One of the main goals of conservation biology is to understand how populations of species respond to climate change. One of the answers is the morphological variation due to certain ecological factors. Changes in climate or habitat can alter resource availability, affecting the morphology of a population in a short period of time. These changes are called rapid morphological changes (MMR). The study of MMR makes it possible to understand the phenotypic evolution of populations, elucidating how endangered species with restricted distribution, such as the rodent *Cerradomys goytaca*, have responded to ongoing climate change. Therefore, this study aims to verify rapid morphological changes in size in individuals of *C. goytaca* from the Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba in the last 10 years, and to assess whether these changes are associated with the climatic variation observed in the period. Individuals of *C. goytaca* were collected between the years 2010-2021 using two methods, live capture traps and pellets of the barn owl *Tyto furcata*, totaling 687 individuals. The individuals were separated into six age classes classified according to the wear of the lower molars. After classification, ten anatomical landmarks were used to describe, through geometric morphometry, the patterns of variation in the size of the jaws of individuals between age groups (ontogenetic variation) and between years (intergenerational variation) within the same age group. Finally, 12 climatic variables were evaluated as predictors of jaw size variation. A wide variation in precipitation and temperature was observed in the study years, with an extended period of drought detected in 2014-2015. The growth in *C. goytaca* is more accentuated when the individual reaches class 2 and, later, passes to class 3. Regarding the intergenerational morphometric variation, a significant difference was detected between years only for classes 4 ( $F = 2,83$ , g.l. = 10, p-value = 0,01) and 5 ( $F = 2,42$ , g.l. = 7, p-value = 0,04). Jaw size was influenced by climatic variables in classes 1, 4 and 5, with each class presenting a different variable as the most important. Individuals of *C. goytaca* showed rapid morphological changes in the last 10 years and it was possible to correlate them with climate variation in this period, highlighting the negative impact of drought on population size and on the size of individuals. Thus, this study shows evidence of what may happen in the coming years, as climate models predict more intense droughts in the coming decades.

Keywords: Size, geometric morphometry, climate change.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Abundância relativa dos indivíduos de *Cerradomys goytaca* coletados nas pelotas de coruja suindara, *Tyto furcata* (presentes no estudo), em relação a precipitação anual, dados coletados através do INMET, dos anos de 2012 a 2021 no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A abundância relativa foi calculada dividindo-se o número de indivíduos de *C. goytaca* pelo número total de indivíduos de mamíferos coletados nas pelotas de *T. furcata* em um dado ano (Fonte: presente estudo)..... 16
- Figura 2:** Localização do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, estado do Rio de Janeiro, Brasil, onde foi feita amostragem populacional de *Cerradomys goytaca* com as armadilhas (ponto branco) e onde foram coletadas as pelotas de *Tyto furcata* (ponto preto). Ambas as áreas se encontram no município de Carapebus ..... 18
- Figura 3:** As duas residências rurais onde se encontram os ninhos de *Tyto furcata* e são feitas as coletas de pelotas, Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Fazenda São Lázaro, Carapebus, Rio de Janeiro. Fonte: Acervo pessoal. .... 19
- Figura 4:** As estruturas os molares inferiores que foram utilizadas para analisar o desgaste dos molares e estabelecer a classificação etária de *Cerradomys goytaca*. Legenda: Eph – Entalhe posterolabial no hipoconido; Ant – Cíngulo Anterolabial; Mes – Mesoflexido. .... 23
- Figura 5:** Desgaste dentário dos molares inferiores ao longo das classes etárias de *Cerradomys goytaca* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A - Classe 0 ( $M^3$  ausente); B - Classe 1 ( $M^3$  com superfície de oclusão); C - Classe 2 ( $M^2$  e  $M^3$  com mesoflexido em ilhota); D – Classe 3 ( $M^1$  com o entalhe posterolabial no hipoconido vestigial e  $M^2$  com cíngulo anterolabial vestigial); E – Classe 4 ( $M^1$  com o entalhe posterolabial no hipoconido ausente,  $M^2$  e  $M^3$  com mesoflexido vestigial ou ausente); e F- Classe 5 ( $M^1$ ,  $M^2$  e  $M^3$  com muito desgaste, sem nenhuma das estruturas mencionadas anteriormente). .... 23
- Figura 6:** Vista labial da mandíbula direita de um *Cerradomys goytaca* com os marcos anatômicos utilizados. Indivíduo 02.15.B, sendo o segundo indivíduo identificado e coletado em fevereiro de 2015. Escala = 10 mm. .... 25
- Figura 7:** Variação da precipitação anual (mm) e da temperatura média anual ( $^{\circ}C$ ) da última década (2010-2021) para a região do Parque Natural da Restinga de Jurubatiba. .... 30
- Figura 8:** Comparação dos indivíduos da classe 2 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico. .... 31

- Figura 9:** Comparação dos indivíduos da classe 3 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico. ....31
- Figura 10:** Comparação dos indivíduos da classe 4 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico. ....32
- Figura 11:** Comparação dos indivíduos da classe 5 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico. ....32
- Figura 12:** Variação do tamanho (log size) das mandíbulas para as seis classes etárias de *Cerradomys goytaca*. Média e erro padrão indicadas no gráfico. ....33
- Figura 13:** Variação do log size para as seis classes etárias de *Cerradomys goytaca* ao longo dos anos da amostragem. A média e o erro padrão foram identificados para a amostra de cada ano das classes etárias.....34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Histórico de coleta das pelotas, contabilizando os anos em que houve coleta, o N° de campanhas por ano, o tipo de regime amostral, podendo ser trimestral (T) ou mensal (M), o número de indivíduos (n) coletado em cada ano, a abundância relativa (% de <i>C. goytaca</i> em relação a todos os mamíferos em pelotas) e a Precipitação anual acumulada.....	21
<b>Tabela 2:</b> Descrição dos marcos anatômicos da vista labial direita usados para <i>Cerradomys goytaca</i> .....	26
<b>Tabela 3:</b> Número de espécimes de <i>Cerradomys goytaca</i> selecionados para análise por classe etária e ano de amostragem, após a exclusão de espécimes defeituosos. ....	27
<b>Tabela 4:</b> Os resultados da ANOVA para determinar a significância da variação de tamanho em cada classes etárias entre os anos. Legenda: * - $p < 0,05$ . ....	34
<b>Tabela 5:</b> Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 1 de <i>Cerradomys goytaca</i> . Legenda: NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; . - $p < 0,1$ ; ** - $p < 0,01$ . ....	36
<b>Tabela 6:</b> Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 4 de <i>Cerradomys goytaca</i> . Legenda: PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior; NC – Número de dias com chuva do ano; NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; . - $p < 0,1$ ; * - $p < 0,05$ ; *** - $p < 0,001$ . ....	36
<b>Tabela 7:</b> Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 5 de <i>Cerradomys goytaca</i> . Legenda: PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior; * - $p < 0,05$ . ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	17
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	17
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	17
<b>3.1. Área de estudo</b> .....	17
<b>3.2. Material analisado</b> .....	19
<b>3.3. Espécimes de <i>Cerradomys goytaca</i> provenientes de capturas com armadilhas</b> ..	20
<b>3.4. Espécimes de <i>Cerradomys goytaca</i> coligidos em pelotas de <i>Tyto furcata</i></b> .....	20
<b>3.5. Classificação etária</b> .....	22
<b>3.6. Digitalização das mandíbulas de <i>Cerradomys goytaca</i></b> .....	24
<b>3.7. Análises dos dados morfométricos</b> .....	26
<b>3.8. Quantificando a influência do clima na variação morfológica</b> .....	27
<b>4. RESULTADOS</b> .....	29
<b>4.1. Variação interanual na precipitação e temperatura</b> .....	29
<b>4.2. Efeito do método de captura na variação morfológica observada em <i>Cerradomys goytaca</i></b> .....	30
<b>4.3. Variação ontogenética nas mandíbulas de <i>Cerradomys goytaca</i></b> .....	33
<b>4.4. Variação morfométrica intergeracional nas mandíbulas de <i>Cerradomys goytaca</i></b> .....	33
<b>4.5. Influência do clima na variação morfológica</b> .....	35
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	43
<b>8. ANEXOS</b> .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos da biologia da conservação é entender como as populações das espécies respondem a mudanças climáticas (PARMESAN & YOHE, 2003; SEEBACHER, WHITE & FRANKLIN, 2015; SUEUR, KRAUSE & FARINA, 2019). Quando acontecem mudanças no ambiente, ocorre a seleção de organismos mais adaptados às novas condições, um processo chamado de seleção natural. A seleção natural é um processo em que os organismos mais aptos a sobreviverem e se reproduzirem no meio contribuem com uma descendência maior para a próxima geração do que outros menos aptos, passando adiante seus caracteres na população (RIDLEY, 2009). As espécies podem apresentar variação morfológica como resposta adaptativa a diversas características naturais, como temperatura, precipitação, latitude e longitude (NENGOVHELA, BAXTER & TAYLOR, 2015). Um exemplo clássico de resposta a mudanças climáticas é o caso da população de tentilhões *Geospiza fortis* na ilha Daphne Major em Galápagos. A menor disponibilidade de sementes macias causada por uma seca prolongada selecionou bicos maiores e mais robustos, produzindo grandes mudanças morfológicas nos tentilhões ao longo de poucas gerações (GRANT & GRANT, 2002).

As espécies de mamíferos, por exemplo, respondem à fragmentação de habitats, com os pequenos mamíferos aumentando o tamanho corporal quanto maior a fragmentação, enquanto os grandes mamíferos apresentam uma resposta inversa, diminuindo o seu tamanho corporal com o aumento da fragmentação (SCHMIDT & JENSEN, 2003). Importante definir que o tamanho não é uma variável simples ou univariada, como massa corporal ou o comprimento de parte do corpo, mas um fator multivariado (HUMPHRIES et al., 1981). Neste estudo, o tamanho quantificado é o fator isométrico (variáveis que crescem na mesma taxa) da variação morfológica ao invés do componente alométrico (variáveis que crescem em taxas diferentes). O tamanho corporal parece ser uma importante característica para estudar a variação morfológica, uma vez que a maior parte da diversificação morfológica em outros grupos de mamíferos, como os macacos do novo mundo, está relacionada à diversificação no tamanho (MARROIG & CHEVERUD, 2005).

As variações ambientais encontradas na área onde uma população vive, como as mudanças no clima ou no habitat, podem alterar a disponibilidade de recursos, afetando também o tamanho corporal do organismo, já que a qualidade nutricional dos recursos influencia a taxa de crescimento (PATTON & BRYLSKI, 1987). Esse padrão também foi visto em roedores (YOM-TOV & YOM-TOV, 2004; EASTMAN et al., 2012), reforçando que mudanças morfológicas têm sido identificadas em diversas espécies como respostas últimas às mudanças

climáticas (GARDNER et al., 2011). Os roedores tendem a responder rapidamente às mudanças nas condições ambientais, o que os torna bons indicadores quanto ao tempo e à magnitude das mudanças ambientais anteriores (SAMUELS, 2009). Quando alterações na morfologia de uma população são detectadas em um curto período, são denominadas mudanças morfológicas rápidas e o monitoramento de séries temporais longas de populações silvestres permite observar esse fenômeno (STUMPP, FUZESSY & PAGLIA, 2018).

As mudanças morfológicas rápidas (MMR) são pequenas alterações fenotípicas que uma população apresenta em poucas gerações, detectadas no período de décadas ou séculos (MILLIEN & DAMUTH, 2004; EASTMAN et al., 2012). As MMR podem se apresentar como respostas a alterações ambientais, sejam elas antropogênicas (PUCKETT et al., 2020) ou naturais (EASTMAN et al., 2012). As correlações das MMR identificadas com as variações climáticas geralmente permitem inferências sobre os fatores ambientais determinantes para que estas mudanças ocorram em populações naturais, como no caso dos roedores que apresentam MMR nas regiões do crânio como resposta às mudanças climáticas (PERGAMS & LAWLER, 2009; WALSH et al., 2016). Além de contribuir para um maior entendimento sobre a evolução fenotípica de populações em períodos curtos, os estudos de MMR podem ajudar também a compreender como espécies ameaçadas e com distribuição restrita têm respondido às mudanças climáticas em curso. O roedor *Cerradomys goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011 é uma destas espécies e oferece uma oportunidade única para avaliar as relações entre MMR e variações climáticas.

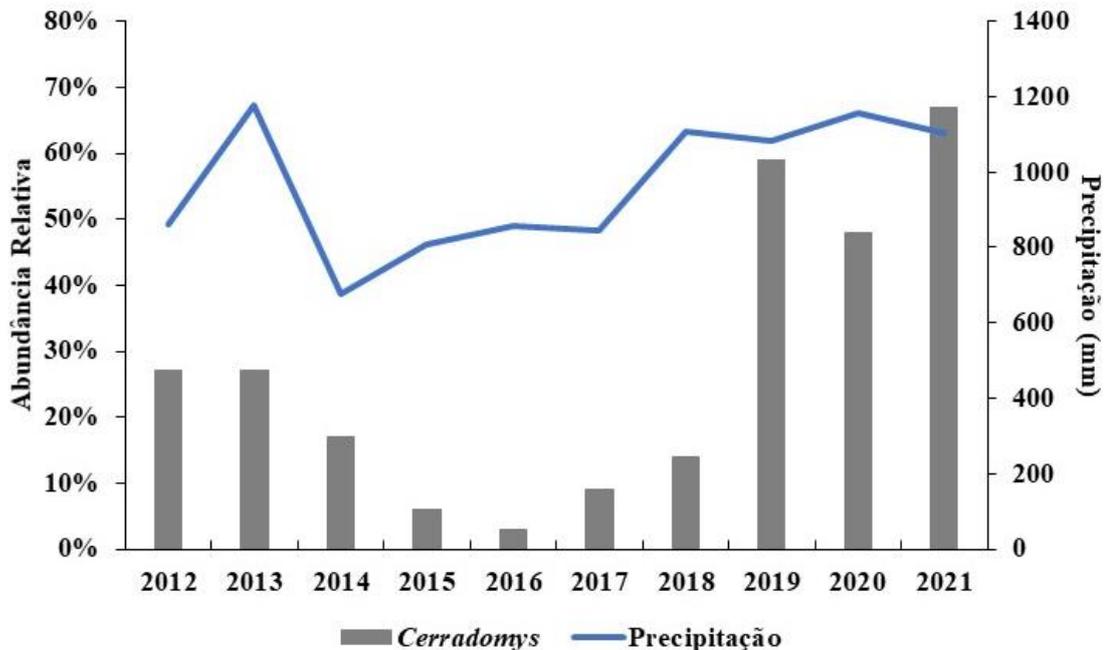
*Cerradomys goytaca* é uma das poucas espécies de mamíferos adaptadas a viverem exclusivamente nas restingas, sendo o único mamífero endêmico desse ecossistema no sudeste do Brasil (TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011). As populações de *C. goytaca* estão distribuídas por restingas do litoral sul do estado do Espírito Santo e do litoral norte do estado do Rio de Janeiro (TAVARES, PESSÔA & SEUÁNEZ, 2016). Essa espécie é encontrada ao longo de toda área do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Jurubatiba), localizado nos municípios de Macaé, Carapebus e Quissamã no estado do Rio de Janeiro, onde habita majoritariamente a formação arbustiva de *Clusia hilariana*, se alimentando de frutos e sementes das plantas deste habitat (GRENHA et al., 2010; PAULA, 2018). Esse roedor apresenta uma longevidade máxima de até 18 meses no ambiente natural, apresentando maior abundância populacional na estação seca, entre os meses de julho e setembro (LEMONS & GONÇALVES, 2015). Atualmente, encontra-se ameaçado de extinção, sendo classificado como “Em Perigo” por apresentar distribuição restrita a uma região do litoral com forte pressão

antrópica e poucas unidades de proteção integral (ICMBIO, 2018). O monitoramento populacional desta espécie é, portanto, prioritário, tendo em vista sua restrição espacial a ambientes de restinga.

O monitoramento de populações de roedores é realizado, tradicionalmente, por meio do método de captura, marcação e recaptura. As capturas costumam ser realizadas com armadilhas, como ocorreu para *Cerradomys goytaca* nos estudos de Lemos & Gonçalves (2015) e Paula (2018). Outro método se mostrou viável para estudar a população desse roedor — o monitoramento através de pelotas de coruja suindara *Tyto furcata* (SILVA, 2019). Pelotas são materiais regurgitados e não digeridos pelas corujas, consistindo principalmente em ossos, pelos e penas de pequenos vertebrados, podendo ser utilizada para o levantamento da diversidade local de pequenos vertebrados (HERNANDEZ-MUÑOZ & MANCINA, 2011; LEMOS et al., 2015; SELÇUK, ÖZKOÇ & KEFELIOĞLU, 2018). Com frequência, o estudo das pelotas revela a ocorrência de espécies inéditas para uma determinada área (SOUZA et al., 2010; BAGLAN & CATZEFLIS, 2016; ALMEIDA et al., 2022). As pelotas refletem a composição da comunidade local de pequenos mamíferos (HEISLER, SOMERS & POULIN, 2016) e a flutuação das populações (AVENANT, 2005; SILVA, 2019). Uma vasta coleção de restos cranianos e mandibulares da população de *C. goytaca* do PARNA Jurubatiba vem sendo acumulada desde 2012 a partir do monitoramento frequente de ninhos de suindara. O estudo desta coleção tem fornecido informações importantes sobre a estrutura etária e a flutuação populacional de *C. goytaca* (SILVA, 2019), e agora oferece a oportunidade de estudar mudanças morfológicas deste roedor ao longo de uma década de variações climáticas.

A dinâmica populacional de *Cerradomys goytaca* e de outros roedores da subfamília Sigmodontinae é associada com o período de chuvas (CERQUEIRA, 2005; SOBRAL & OLIVEIRA, 2014; MAESTRI et al., 2016). O período posterior à estação chuvosa apresenta um aumento populacional devido ao aumento na disponibilidade de frutas, o principal alimento para muitos roedores sigmodontíneos (CERQUEIRA, 2005). Variações na sazonalidade típica, como um período mais longo de estiagem, influenciam na abundância de *C. goytaca*, que apresenta flutuação populacional como resposta tardia à flutuação da precipitação (SILVA, 2019). Durante o período de 2014 a 2015, houve uma seca prolongada na região do PARNA Jurubatiba, gerando declínio no tamanho populacional de *C. goytaca*, que registrou sua menor abundância dentro do período de quase uma década durante os anos de 2015 e 2016 (Fig. 1). Nos anos seguintes, a precipitação retomou a registrar altos valores, e a população de *C. goytaca* respondeu de forma semelhante, alcançando o maior tamanho populacional registrado no

período avaliado. Eventos climáticos extremos, como a seca prolongada, podem levar à escassez de recursos, e esse período de escassez pode restringir o tamanho e a densidade populacional (MARON et al., 2015). Uma consequência desses eventos climáticos seria as populações apresentarem respostas adaptativas por meio da seleção natural de novos fenótipos melhor adaptados às novas condições.



**Figura 1:** Abundância relativa dos indivíduos de *Cerradomys goytaca* coletados nas pelotas de coruja suindara, *Tyto furcata* (presentes no estudo), em relação a precipitação anual, dados coletados através do INMET, dos anos de 2012 a 2021 no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A abundância relativa foi calculada dividindo-se o número de indivíduos de *C. goytaca* pelo número total de indivíduos de mamíferos coletados nas pelotas de *T. furcata* em um dado ano (Fonte: presente estudo).

Boa parte da variação morfológica entre indivíduos de uma população pode decorrer de outros fatores não relacionados a variações climáticas e ambientais, como a variação ontogenética de tamanho dos indivíduos, bem como do dimorfismo sexual entre machos e fêmeas (MACHADO, PARESQUE & CHRISTOFF, 2011; PRADO & PERCEQUILLO, 2011; MAESTRI et al., 2015). Por esta razão, para se detectar mudanças morfológicas intergeracionais causadas por processos evolutivos de seleção natural ou deriva gênica, é importante quantificar a contribuição da variação etária e sexual para as diferenças fenotípicas entre indivíduos. O dimorfismo sexual, quando presente, em roedores sigmodontíneos é observado apenas durante a idade sub-adulta (ABREU-JÚNIOR & PERCEQUILLO, 2019), porém, o dimorfismo sexual não parece ser uma fonte importante de variação intrapopulacional para roedores sigmodontíneos da tribo Oryzomyini (ABREU-JÚNIOR et al., 2012). As

variações ontogenéticas e sexuais podem ser identificadas nas futuras gerações das populações através das MMR, permitindo das mudanças em características dos organismos, como o tamanho, ao longo dos anos.

Compreender as fontes de variação de tamanho dos indivíduos de uma população permite entender melhor a resposta evolutiva ao ambiente e, especialmente no caso de espécies ameaçadas de extinção, identificar impactos sofridos, como no caso dos impactos causados pelas mudanças climáticas globais. Assim, neste estudo, avaliamos a relação entre os fatores climáticos e as variações de tamanho em *Cerradomys goytaca*, buscando responder especificamente: se (i) está ocorrendo mudança morfológica rápida em *C. goytaca*? e se (ii) a população de *C. goytaca* apresenta variação morfológica como resposta às variações na precipitação e temperatura?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Verificar se houve mudanças morfológicas rápidas de tamanho em indivíduos de *Cerradomys goytaca* do PARNA Jurubatiba nos últimos 10 anos, e avaliar se estas mudanças estão associadas à variação climática observada no período.

### **2.2. Objetivos específicos**

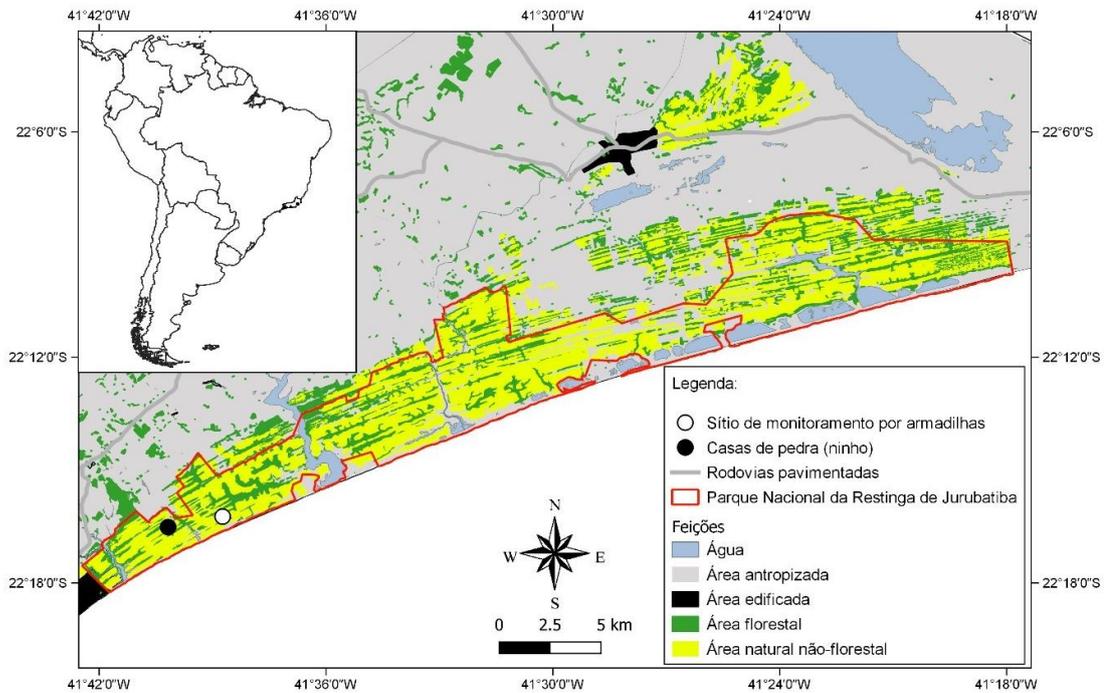
1. Descrever os padrões de variação no tamanho das mandíbulas de *Cerradomys goytaca* entre classes etárias e entre gerações (anos), utilizando morfometria geométrica;
2. Avaliar se a variação morfológica intergeracional possui relação com a variação nas condições climáticas, especialmente precipitação e temperatura.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Área de estudo**

O Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Jurubatiba), localizado nos municípios de Macaé, Carapebus e Quissamã, no estado do Rio de Janeiro (Fig. 2), apresenta 14.922,39 hectares, cobre 44 km da faixa litorânea do estado do Rio de Janeiro e possui 18 lagoas costeiras (ICMBIO, 2021). O PARNA Jurubatiba apresenta uma fitofisionomia variada, com a maior parte sendo formações vegetais abertas, além de cordões florestais e formação pós-praia (ARAUJO et al., 1998). As formações vegetais abertas, principal área onde *Cerradomys*

*goytaca* é encontrado, são caracterizadas por ilhas de vegetação intercaladas por áreas de areia branca, onde elevadas temperaturas, salinidade e solos pobres restringem a colonização de diversas espécies vegetais (PEREIRA, CORDEIRO & ARAÚJO, 2004), tornando esse um dos ambientes mais áridos das restingas.



**Figura 2:** Localização do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, estado do Rio de Janeiro, Brasil, onde foi feita amostragem populacional de *Cerradomys goytaca* com as armadilhas (ponto branco) e onde foram coletadas as pelotas de *Tyto furcata* (ponto preto). Ambas as áreas se encontram no município de Carapebus

O material de pelotas foi coletado em duas habitações rurais abandonadas e próximas entre si ( $22^{\circ}16'30.55''S$ ,  $41^{\circ}40'9.67''O$ ), onde são encontrados os ninhos de *Tyto furcata*. As habitações estão localizadas dentro da área do PARNA Jurubatiba, nas proximidades da Fazenda São Lázaro, no município de Carapebus, Rio de Janeiro (Fig. 3).



**Figura 3:** As duas residências rurais onde se encontram os ninhos de *Tyto furcata* e são feitas as coletas de pelotas, Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Fazenda São Lázaro, Carapebus, Rio de Janeiro. Fonte: Acervo pessoal.

### 3.2. Material analisado

Para os estudos populacionais, foram analisadas mandíbulas de *Cerradomys goytaca* provenientes tanto de captura, tombadas na coleção de Mastozoologia do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM/UFRJ), quanto coletados em pelotas de *Tyto furcata*. Todos os espécimes são provenientes do PARNA Jurubatiba. Devido à preservação precária dos crânios encontrados em pelotas, como a caixa craniana fragmentada ou mesmo ausente no conteúdo regurgitado, optou-se por analisar apenas a mandíbula visto que é a parte mais preservada do crânio e mais utilizada para identificação, apesar de alguns exemplares também apresentarem as mandíbulas danificadas. Ademais, a mandíbula dos roedores é mais propensa a exibir respostas a variações ambientais (RENAUD, AUFRAY & DE LA PORTE, 2010), tendo considerável plasticidade na forma que permite lidar com variações na consistência dos alimentos disponíveis no ambiente (ANDERSON, RENAUD & RAYFILED, 2014). Dessa forma, torna-se mais fácil perceber as mudanças morfológicas rápidas nos indivíduos de *C. goytaca* através da análise das mandíbulas.

Os indivíduos foram alocados em classes etárias segundo a proposta de Silva (2019) e os critérios descritos no item 3.5 Classificação etária. Foram analisados espécimes das seis classes etárias, mas foram excluídos da amostra aqueles que apresentaram alguma estrutura quebrada ou molares ausentes. A maior parte da amostra é proveniente de material de pelotas, não sendo possível determinar os sexos dos indivíduos. Considerando que a identificação de dimorfismo sexual é rara em roedores sigmodontíneos e que ambos os sexos estão alinhados na

mesma trajetória ontogenética (SEGURA et al., 2021), não foram feitas análises para verificar o dimorfismo sexual em *Cerradomys goytaca*.

### **3.3. Espécimes de *Cerradomys goytaca* provenientes de capturas com armadilhas**

Os exemplares coletados são representados por crânio e esqueleto (todos) e pele (maioria). Todos possuem registradas as medidas individuais externas e as suas condições reprodutivas. Os exemplares são provenientes de coletas realizadas entre março de 2010 e março de 2016, com uma última campanha sendo realizada em setembro de 2021, nos três municípios do PARNA Jurubatiba (Macaé, Carapebus e Quissamã). Além dessas coletas, houve outras campanhas de amostragem populacional de *Cerradomys goytaca* na área do PARNA Jurubatiba, no município de Carapebus (Fig. 2), mas sem coleta dos indivíduos (PAULA, 2018). Os animais encontrados mortos nas armadilhas durante as campanhas de amostragem realizadas neste estudo foram tombados e incluídos na amostra do presente estudo. Os demais indivíduos tombados na coleção foram oriundos de animais criados no biotério do Instituto NUPEM/UFRJ, mas estes foram descartados das análises, pois se desenvolveram fora das condições ambientais naturais após sua captura. No total, estão tombados 221 espécimes de *C. goytaca* na coleção do NUPEM/UFRJ, dos quais foram desconsiderados aqueles que não apresentavam as características necessárias para o estudo, como mandíbula danificada ou que são animais criados em biotério, restando 101 indivíduos capturados em armadilhas para as análises.

### **3.4. Espécimes de *Cerradomys goytaca* coligidos em pelotas de *Tyto furcata***

As coletas de pelotas ocorreram entre fevereiro de 2012 e novembro de 2021, sendo realizadas trimestralmente até março de 2016, e mensalmente a partir de então (Tabela 1). A campanha de coleta consiste na vistoria do local usando lanternas para visualizar as pelotas e recolhimento de todas as pelotas e restos desagregados de animais predados por *Tyto furcata*, possibilitando que novas pelotas se acumulem até a próxima campanha de coleta. Deste modo, as pelotas coligidas refletiram a composição e abundância dos animais predados por *T. furcata* ao longo de aproximadamente 90 dias até março de 2016, e de aproximadamente 30 dias, a partir desta data.

Até abril de 2018, apenas as pelotas encontradas no chão das habitações eram coletadas, mas a partir dessa data começou a haver coletas no teto, local onde as corujas construíam seus ninhos. De abril de 2018 até outubro de 2020, essas coletas eram feitas esporadicamente, havendo ao menos uma coleta por ano. Porém, a partir de dezembro de 2020 até novembro de 2021, as coletas nos tetos passaram a serem feitas mensalmente.

Após realizada a coleta, o material foi levado para o Laboratório de Taxidermia, localizado no NUPEM/UFRJ, para a triagem. Na triagem, os ossos foram separados dos pelos e outros materiais que não são importantes para a identificação dos organismos encontrados nas pelotas. Em seguida, foi realizada a identificação, com base nos caracteres anatômicos, principalmente baseado no número e morfologia dos molares dos espécimes encontrados no material regurgitado. As identificações taxonômicas foram confirmadas mediante comparações com exemplares identificados na coleção do NUPEM/UFRJ.

O número de indivíduos de cada táxon presente nas pelotas foi calculado pelo método do *Minimum Number of Individuals* (MNI), em que é contabilizado o item esquelético individual mais comum de um táxon (LYMAN, 2008). Para esse estudo, foram consideradas as mandíbulas esquerdas e direitas, individualmente, para determinar o item em maior quantidade considerando-o equivalente ao MNI. Além de serem frequentes nas pelotas, as mandíbulas foram as estruturas mais bem preservadas dentre os restos cranianos de mamíferos identificados. Dentre os dois ramos mandibulares, o mais frequente foi o ramo direito, totalizando uma amostra de 873 indivíduos de *Cerradomys goytaca*. Porém, excluindo aquelas com algum carácter morfológico ausente (i.e., processo coronóide quebrado), restaram 586 indivíduos para as análises. Os dados da flutuação populacional de *C. goytaca*, coletados nas pelotas, foram mapeados em relação à precipitação para avaliar se e como a abundância relativa desta espécie variou em função das variações de pluviosidade entre os anos (Figura 1, Tabela 1).

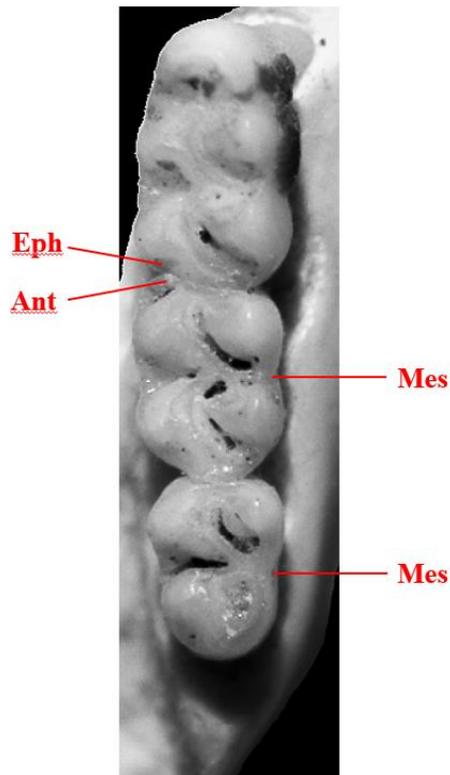
**Tabela 1:** Histórico de coleta das pelotas, contabilizando os anos em que houve coleta, o N° de campanhas por ano, o tipo de regime amostral, podendo ser trimestral (T) ou mensal (M), o número de indivíduos (n) coletado em cada ano, a abundância relativa (% de *C. goytaca* em relação a todos os mamíferos em pelotas) e a Precipitação anual acumulada.

Anos	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
N° campanhas	4	3	4	4	9	12	12	12	11	12
Regime amostral	T	T	T	T	T/M	M	M	M	M	M
Número de indivíduos	30	29	43	18	21	33	51	124	222	302
Abundância relativa (%)	27	27	17	6	3	9	14	59	48	67
Precipitação acumulada (mm)	861,6	1177,1	676	809,4	858,6	844,3	1109,6	1082,6	1155,8	1101,8

### 3.5. Classificação etária

Com base em Carleton & Musser (1989) e Barbière et al. (2019), as estruturas dentárias que foram utilizadas para analisar o desgaste dos molares inferiores e estabelecer a classificação etária estão identificadas na Figura 4. A classificação adaptada a partir de Brandt & Pessoa (1994) resultou em seis classes etárias para *Cerradomys goytaca*, que representam diferentes padrões de desgaste para esse roedor (Fig. 5). As classes etárias foram definidas da seguinte forma:

- Classe 0 – Molar 1 (M1) e Molar 2 (M2) sem desgaste aparente, e Molar 3 (M3) não eclodido;
- Classe 1 – M<sub>1</sub> e M<sub>2</sub> sem desgaste aparente e M<sub>3</sub> com superfície de oclusão;
- Classe 2 – M<sub>1</sub> com pouco desgaste, M<sub>2</sub> e M<sub>3</sub> com mesoflexido (Mes) em ilhota;
- Classe 3 – M<sub>1</sub> com o entalhe posterolabial no hipoconido (Eph) vestigial, M<sub>2</sub> com cingulo anterolabial (Ant) vestigial e mesoflexido em ilhota e M<sub>3</sub> com mesoflexido também em ilhota;
- Classe 4 – M<sub>1</sub> com o entalhe posterolabial no hipoconido ausente, M<sub>2</sub> com cingulo anterolabial ausente e mesoflexido vestigial ou ausente e M<sub>3</sub> com mesoflexido também vestigial ou ausente;
- Classe 5 – M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> e M<sub>3</sub> com muito desgaste, sem nenhuma das estruturas mencionadas anteriormente.



**Figura 4:** As estruturas os molares inferiores que foram utilizadas para analisar o desgaste dos molares e estabelecer a classificação etária de *Cerradomys goytaca*. Legenda: Eph – Entalhe posterolabial no hipoconido; Ant – Cíngulo Anterolabial; Mes – Mesoflexido.



**Figura 5:** Desgaste dentário dos molares inferiores ao longo das classes etárias de *Cerradomys goytaca* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A - Classe 0 ( $M^3$  ausente); B - Classe 1 ( $M^3$  com superfície de oclusão); C - Classe 2 ( $M^2$  e  $M^3$  com mesoflexido em ilhota); D – Classe 3 ( $M^1$  com o entalhe posterolabial no hipoconido vestigial e  $M^2$  com cíngulo anterolabial vestigial); E – Classe 4 ( $M^1$  com o entalhe posterolabial no hipoconido

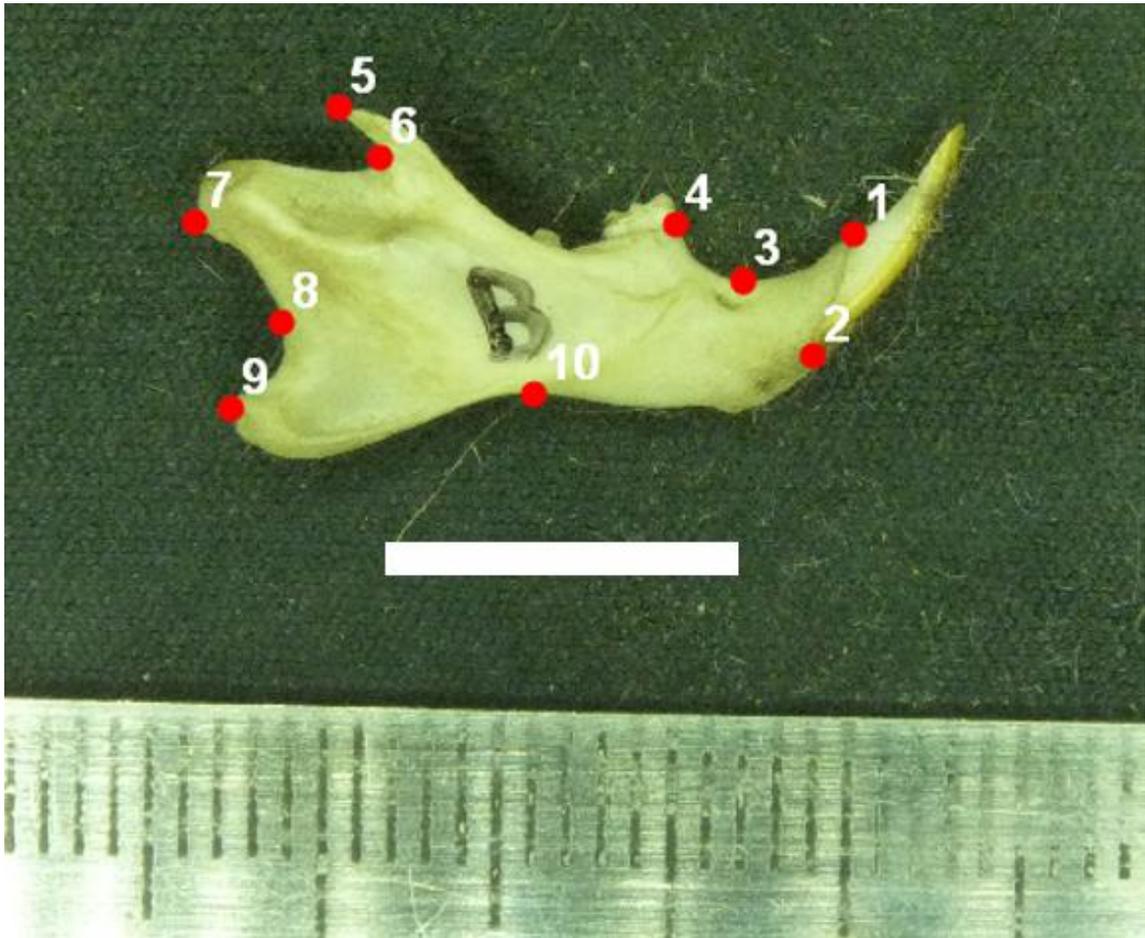
ausente, M<sup>2</sup> e M<sup>3</sup> com mesoflexido vestigial ou ausente); e F- Classe 5 (M<sup>1</sup>, M<sup>2</sup> e M<sup>3</sup> com muito desgaste, sem nenhuma das estruturas mencionadas anteriormente).

### 3.6. Digitalização das mandíbulas de *Cerradomys goytaca*

Para a digitalização das mandíbulas, foram utilizadas imagens fotográficas em vista labial da mandíbula direita de cada indivíduo. As imagens foram feitas com o auxílio de uma câmera fotográfica Panasonic Lumix modelo DMC-FZ47. Para produzir as fotografias, a câmera foi posicionada com a lente paralela à mandíbula, com auxílio de um tripé. Não houve utilização de lentes de ajuste de distância focal (*zoom*) e os espécimes foram centralizados para evitar distorções na imagem causadas pelas bordas da lente da câmera. Após a digitalização, as imagens foram analisadas com o auxílio do software tpsDig2 (ROHLF, 2006) para reconhecimento e marcação dos marcos anatômicos.

Uma das principais abordagens utilizadas no estudo da morfometria geométrica é o uso de marcos anatômicos (*landmarks*) (KLINGENBERG, 2010). Os *landmarks* são pontos que podem ser localizados precisamente em todas as formas presentes nos indivíduos, e estabelecem uma conexão clara entre todos os espécimes incluídos em uma avaliação (KLINGENBERG, 2010). De acordo com a classificação de Bookstein (1991), os *landmarks* podem ser divididos em três tipos, sendo o primeiro deles a justaposição de tecidos, onde os pontos no espaço entre três estruturas se encontram. Zelditch et al. (2012) também citam que os marcos do tipo 1 podem ser mais claramente distinguidos como pontos cuja definição se refere apenas a estruturas próximas ao ponto. Por exemplo, a intersecção entre três suturas ósseas é definida localmente, assim como um forame. O segundo tipo é chamado de pontos de máxima curvatura, ou outros processos morfológicos locais, e inclui extremidades de processos e vales de invaginações. O último tipo é denominado pontos extremos, e estão relacionados à maior distância que pode ser medida em uma estrutura. Após a marcação dos *landmarks*, é necessário fazer a superposição dos marcos anatômicos para, então, comparar as formas das estruturas dos indivíduos analisados. Para a comparação entre esses indivíduos, é feita uma sobreposição de procrustes, fazendo com que todas as formas medidas sejam padronizadas, retirando qualquer variação de tamanho, posição e orientação. A sobreposição de todas as formas é feita considerando o tamanho do centroide, que é calculado através da raiz quadrada da soma das distâncias ao quadrado dos *landmarks*. Sendo assim, todas as configurações anatômicas são direcionadas de forma que os seus centros de gravidade estejam sobrepostos (KLINGENBERG, 2010).

O conjunto de marcos anatômicos utilizado nesse trabalho foi estabelecido para a vista labial da mandíbula direita (Fig. 6), totalizando dez marcos anatômicos que representam processos e estruturas variáveis entre indivíduos (Tabela 2). Os indivíduos tombados na coleção foram identificados através da sua numeração de tombo (i.e., NPM 275), enquanto os indivíduos encontrados nas pelotas foram identificados através do mês, ano e número do indivíduo coletado no mês referido, sendo este último parâmetro representado por letras, em ordem alfabética (i.e., 02.15.B).



**Figura 6:** Vista labial da mandíbula direita de um *Cerradomys goytaca* com os marcos anatômicos utilizados. Indivíduo 02.15.B, sendo o segundo indivíduo identificado e coletado em fevereiro de 2015. Escala = 10 mm.

**Tabela 2:** Descrição dos marcos anatômicos da vista labial direita usados para *Cerradomys goytaca*.**Mandíbula – vista labial**

- |                                                 |                                                                                |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Margem dorsal do alvéolo incisivo.           | 6. Ponto mais fundo do entalhe sigmoide.                                       |
| 2. Margem ventral do alvéolo incisivo.          | 7. Ponto mais distal do côndilo articular.                                     |
| 3. Ponto do diastema próximo ao forâmen mental. | 8. Ponto mais fundo do entalhe entre o côndilo articular e o processo angular. |
| 4. Ponto anterior da raiz do primeiro molar.    | 9. Extremidade do processo angular.                                            |
| 5. Ápice do processo coronoide.                 | 10. Base do processo angular.                                                  |

**3.7. Análises dos dados morfométricos**

A técnica de morfometria geométrica foi usada para avaliar a variação morfológica dos animais. Foram extraídos *landmarks* de fotografias da vista labial da mandíbula direita usando o software tpsDig 2 (ROHLF, 2006). Tanto as fotografias quanto a extração dos *landmarks* foram realizadas por uma única pessoa. Após digitalização, a matriz de coordenadas dos *landmarks* foi sobreposta através de uma análise generalizada de procrustes (GPA) no software MorphoJ 1.06d (KLINGENBERG, 2011). A GPA foi usada para remover efeitos não relacionados à forma ou ao tamanho (posição, orientação e escala). A variação de tamanho da mandíbula foi calculada através do log do tamanho do centroide (*log size*) (BOOKSTEIN, 1991). As análises morfométricas incluíram os 687 indivíduos coletados (coleção e pelotas) que restaram após as exclusões realizadas devido a caracteres mandibulares ausentes.

Foi aplicado um teste t de Welch para avaliar se há diferença no tamanho da mandíbula entre indivíduos obtidos a partir de coletas por armadilhas e pelotas, a fim de avaliar se eles poderiam ser agrupados para as demais análises. Para essa análise foram incluídos apenas os indivíduos coletados nos anos de 2012, 2013 e 2014, devido a esses serem os únicos anos em que os dois métodos foram aplicados simultaneamente, totalizando 97 indivíduos para essa análise. Não foram coletados indivíduos das classes 0 e 1 nas armadilhas nesses anos, impedindo a comparação com o método de pelotas. O teste foi realizado usando o pacote stats (R CORE TEAM, 2021) no software R versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2021).

Para comparar as diferenças entre os tamanhos das classes etárias, foi utilizado o *log-size* das mandíbulas de cada uma das classes. Nessa análise, foram utilizados os 687 indivíduos

coletados em ambos os métodos (coleção e pelotas). Foi aplicado uma análise de variância (ANOVA) para testar a variação ontogenética de tamanho entre as classes etárias.

A variação de tamanho intergeracional (entre anos) foi testada separadamente para as seis classes etárias por meio de uma ANOVA. Nessa análise, foram utilizados os 687 indivíduos coletados em ambos os métodos (coleção e pelotas), o tamanho da amostra para cada classe etária está apresentado na Tabela 3. Os testes de ANOVA foram realizados no pacote *stats* no software R versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2021).

**Tabela 3:** Número de espécimes de *Cerradomys goytaca* selecionados para análise por classe etária e ano de amostragem, após a exclusão de espécimes defeituosos.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Classe 0</b>	1	0	0	2	1	1	2	3	3	7	9	14
<b>Classe 1</b>	2	0	5	4	7	2	0	3	3	17	11	29
<b>Classe 2</b>	6	2	10	5	24	9	11	15	11	32	67	107
<b>Classe 3</b>	4	0	5	14	7	1	2	6	7	11	35	52
<b>Classe 4</b>	2	2	7	5	8	1	0	1	6	5	18	27
<b>Classe 5</b>	0	0	2	6	4	3	0	0	1	5	6	19

### 3.8. Quantificando a influência do clima na variação morfológica

Para quantificar a influência do clima na variação entre anos (intergeracional) do tamanho das mandíbulas de *Cerradomys goytaca*, foram utilizadas variáveis derivadas das medidas de temperatura e precipitação. As variáveis climáticas são provenientes da estação climática Campos (código 83698) localizada no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, a cerca de 68 km de distância da área de estudo (21°44'33" S, 41°19'58" O). Os dados foram fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Apesar de existir uma estação climática no município de Macaé (Macaé-Pesagro código 83057), essa estação não possui dados completos para o período analisado no estudo.

Foram utilizados dados diários de precipitação, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima da região entre 01/01/2009 e 30/11/2021 para gerar 12 variáveis explanatórias referentes ao ano de amostragem ou ao ano anterior à amostragem:

- Precipitação anual (PA): soma dos valores diários de precipitação do ano.
- Precipitação do ano anterior (PAA): soma dos valores diários de precipitação do ano anterior a coleta.
- Temperatura média do ano (TMed): Média dos valores diários de temperatura para cada ano.

- Temperatura média do ano anterior (TMedA): Média dos valores diários de temperatura do ano anterior ao ano da coleta.
- Temperatura mínima do ano (TMin): Média das temperaturas mínimas diárias do ano.
- Temperatura mínima do ano anterior (TMinA): Média das temperaturas mínimas diárias do ano anterior ao ano da coleta.
- Temperatura máxima (TMax): Média das temperaturas máximas diárias do ano.
- Temperatura máxima do ano anterior (TMaxA): Média das temperaturas máximas diárias do ano.
- Número de dias com chuva do ano (NC): Soma do número de dias que houve registro de precipitação no ano.
- Número de dias com chuva do ano anterior (NCA): Soma do número de dias que houve registro de precipitação no ano anterior ao ano da coleta
- Máximo de dias sem chuva do ano (MC): Soma do número de dias do maior intervalo de tempo sem registro de precipitação no ano.
- Máximo de dias sem chuva do ano anterior (MCA): Soma do número de dias do maior intervalo de tempo sem registro de precipitação no ano anterior ao ano da coleta.

A decisão por usar variáveis derivadas da precipitação e temperatura foi pautada pelo fato de a reprodução e dinâmica populacional de roedores sigmodontíneos apresentar grande associação ao período de chuvas (CERQUEIRA, 2005), e a temperatura ser um importante preditor da mudança do tamanho corporal (MAESTRI et al., 2016). A decisão de incluir tanto variáveis do ano de amostragem quanto do ano anterior se deveu ao fato do tempo de resposta a nível populacional poder ser tardio, como já detectado para outros pequenos mamíferos (FERREIRA et al., 2016).

Após a construção das variáveis climáticas para análise, foi feito um teste de correlação de Pearson entre elas a fim de eliminar as variáveis que apresentassem colinearidade. As variáveis que apresentassem correlação significativa ( $cor > 0,9$ ) e um p valor significativo ( $p < 0,05$ ) fossem retiradas da seleção de modelos. O teste foi realizado apenas com as variáveis climáticas do ano em que o indivíduo foi capturado. O cálculo da correlação foi realizado utilizando o pacote rstatix (KASSAMBARA, 2021) no software R. Após a retirada das variáveis colineares, foram feitos os cálculos e a seleção de modelos.

Posteriormente, foram calculados e selecionados os modelos que melhor explicam a variação morfológica observada entre anos dentro das mesmas classes etárias, considerando o tamanho (*log-size*) dos 687 indivíduos analisados como variável resposta, para cada uma das

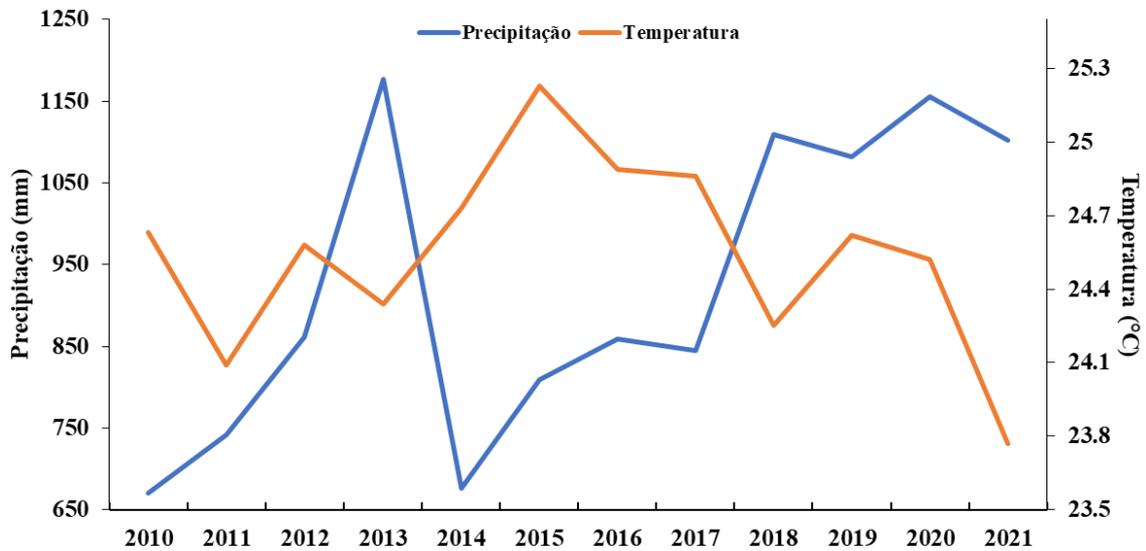
classes etárias. Os modelos são, por definição, apenas aproximações do que é desconhecido, não existindo um modelo que reflita perfeitamente a realidade (BURNHAM & ANDERSON, 2004). Para selecionar os modelos que melhor se ajustaram aos dados obtidos, foi observado o menor valor de Critério de Informação Akaike (AICc), selecionando todos os modelos que tiveram delta AICc ( $\Delta AICc$ ) menor do que dois, visto que quanto menor a diferença de informação perdida entre os modelos, maior o suporte para a explicação do padrão de variação da variável-resposta (BURNHAM & ANDERSON, 2004). Por fim, as contribuições das variáveis foram avaliadas a partir dos seus coeficientes de regressão ( $\beta$ ) ponderados entre diferentes modelos (*model averaging*) com  $\Delta AICc$  menor do que dois para cada classe etária. Variáveis climáticas com coeficientes de regressão significativamente diferentes de 0 foram consideradas determinantes para a variação intergeracional no tamanho das mandíbulas. Este procedimento de *model averaging* permitiu uma avaliação mais inclusiva da importância relativa das variáveis climáticas a partir de vários modelos igualmente bons ( $\Delta AICc < 2$ ) (BURNHAM & ANDERSON, 2004). Os cálculos de *model averaging* foi realizado utilizando o pacote MuMIn (BARTÓN, 2022) no software R.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variação interanual na precipitação e temperatura

Foi observada uma grande variação na pluviosidade da região ao longo da última década (2010-2021) (Fig. 7). Houve um aumento na precipitação ao longo dos primeiros anos, entre 2010 e 2013, chegando até 1.177,1 mm de chuva no ano de 2013. Ocorreu uma estiagem prolongada na região em 2014, levando a um dos menores valores de precipitação registrados para o período do estudo (676 mm). A precipitação continuou apresentando valores em torno de 800 mm até 2018, quando foi registrado um pico de 1.109,6 mm de chuva. Os valores de precipitação nos anos seguintes mantiveram-se semelhantes ao registrado em 2018, alcançando um novo pico em 2020 com 1.155,8 mm.

A temperatura média anual também variou ao longo dos anos de amostragem, porém ela apresentou um padrão inverso ao da precipitação (Fig. 7). A temperatura oscilou em valores próximos durante os primeiros anos do estudo, mas no período da seca na região (2014-2015), a temperatura alcançou os maiores valores registrados na década, com o pico de 25,23 °C ocorrendo no ano de 2015. Posteriormente, os valores diminuíram, alcançando os menores valores registrados, com 2021 sendo o ano com a menor temperatura média anual registrada, 23,77 °C.

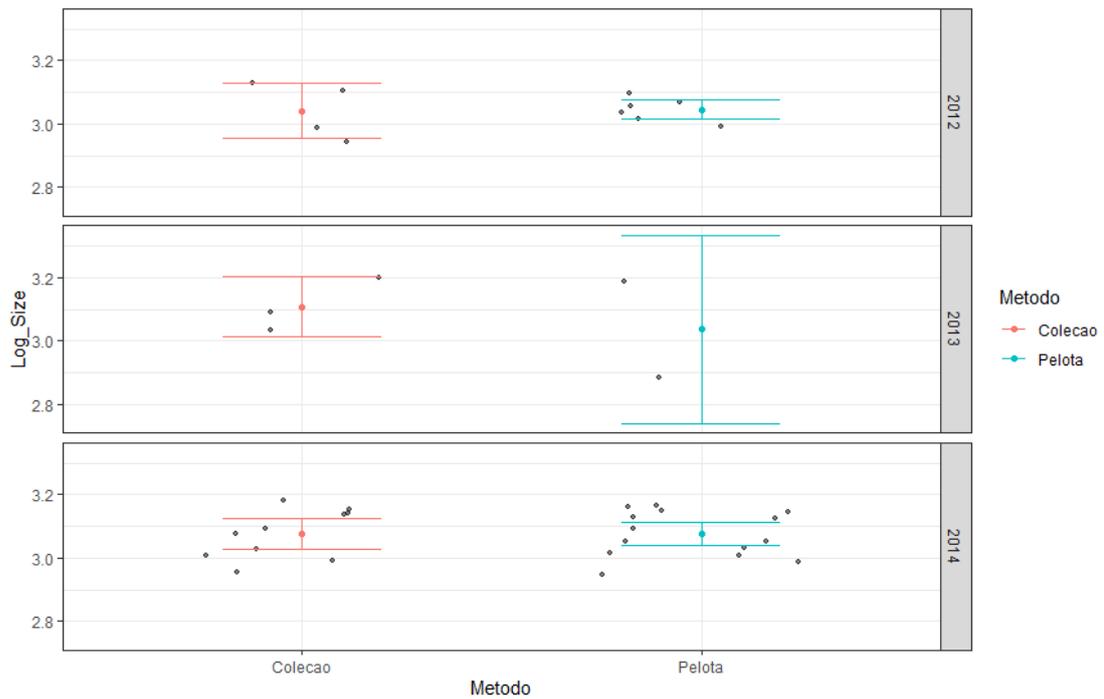


**Figura 7:** Variação da precipitação anual (mm) e da temperatura média anual (°C) da última década (2010-2021) para a região do Parque Natural da Restinga de Jurubatiba.

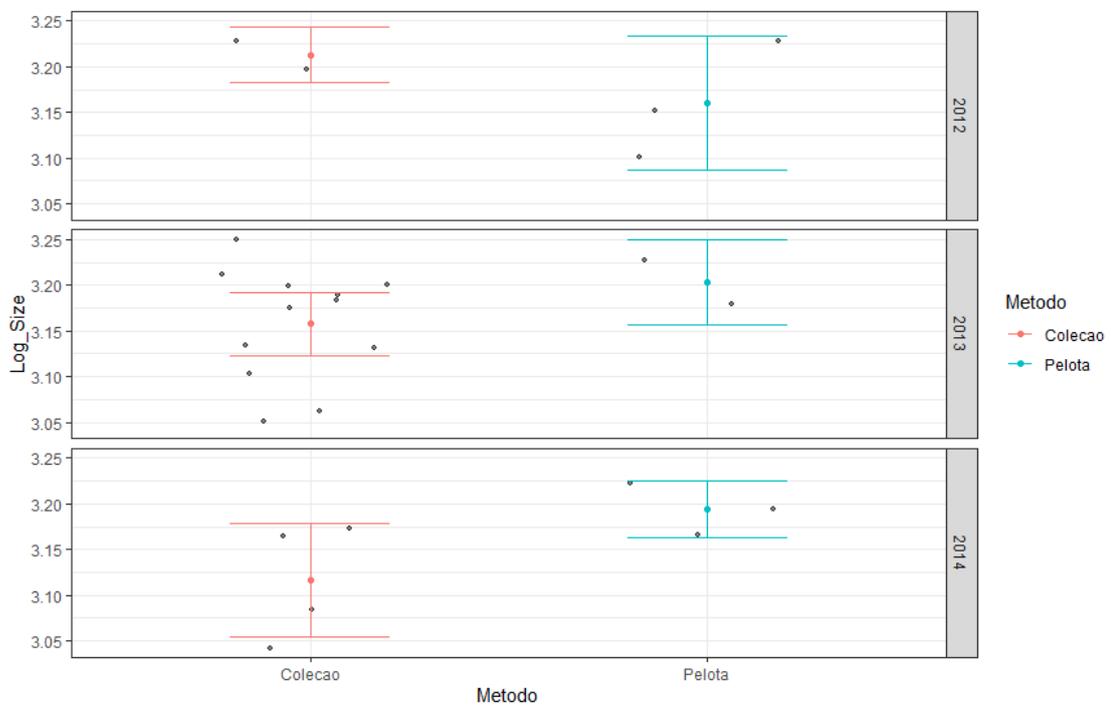
#### 4.2. Efeito do método de captura na variação morfológica observada em *Cerradomys goytaca*

Na comparação entre espécimes colecionados pelos dois métodos, armadilhas e pelotas, foi possível observar que não há distinção de tamanho entre as mandíbulas obtidas pelos dois métodos de captura para três das quatro classes avaliadas, sendo a classe 4 a única exceção (Figs. 8-11).

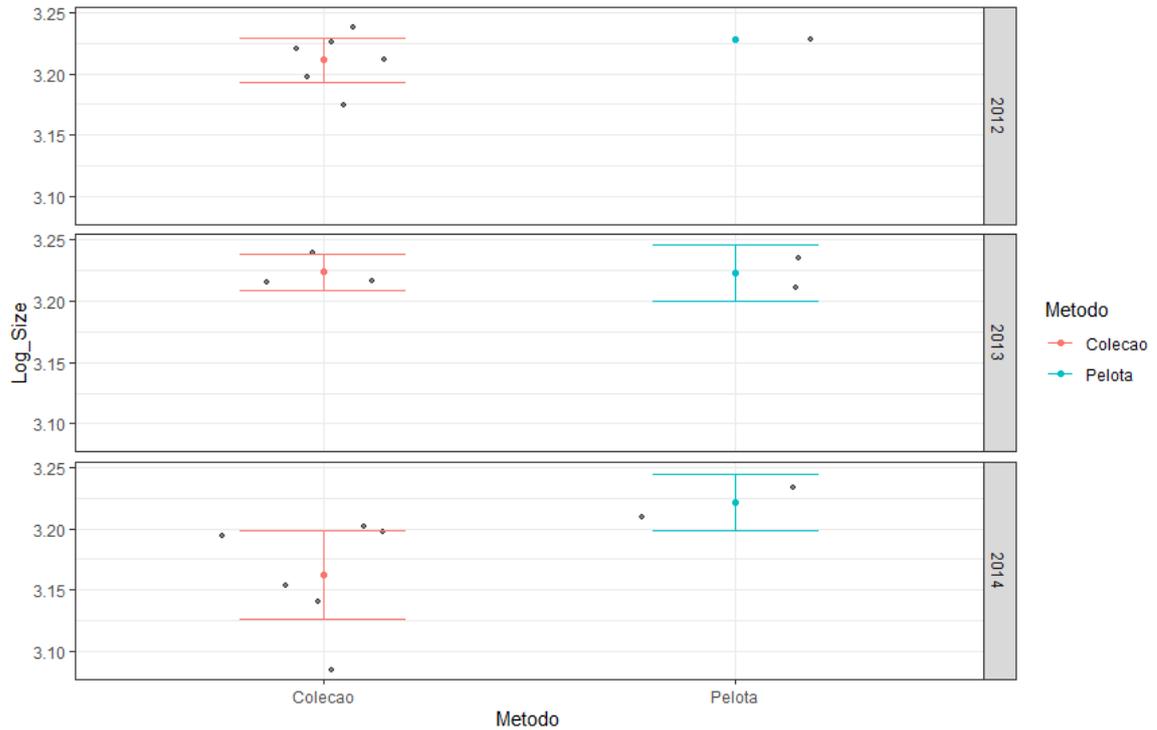
Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas de tamanho da mandíbula entre as amostras provenientes dos dois métodos para os indivíduos das classes 2 (p-valor = 0,70;  $t = -0,39$ ;  $df = 34,18$ ), 3 (p-valor = 0,19;  $t = 1,36$ ;  $df = 18,87$ ) e 5 (p-valor = 0,95;  $t = 0,07$ ;  $df = 7,94$ ). Entretanto, os indivíduos da classe 4 apresentaram diferença estatisticamente significativa (p-valor = 0,02;  $t = 2,45$ ;  $df = 17,98$ ). Os indivíduos coletados em pelotas apresentaram média do tamanho maior do que os indivíduos da coleção principalmente no ano de 2014 (Fig. 10), com 2012 também indicando um valor maior nas pelotas, apesar de ter apenas um indivíduo coletado através desse método. O ano de 2013 foi o único que não apresentou diferença nos valores de média do tamanho da mandíbula para a classe 4. Considerando que o tamanho amostral dos indivíduos coletados em armadilhas é menor do que das pelotas, os indivíduos da classe 4 não foram excluídos da amostra.



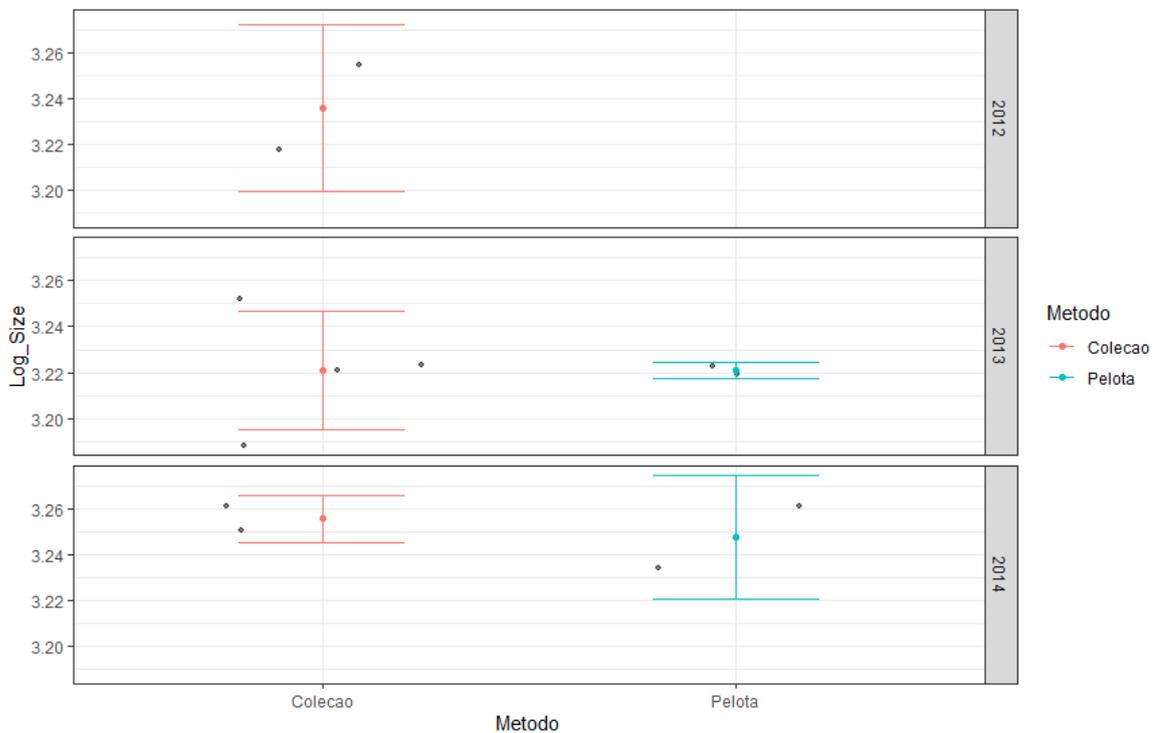
**Figura 8:** Comparação dos indivíduos da classe 2 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico.



**Figura 9:** Comparação dos indivíduos da classe 3 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico.



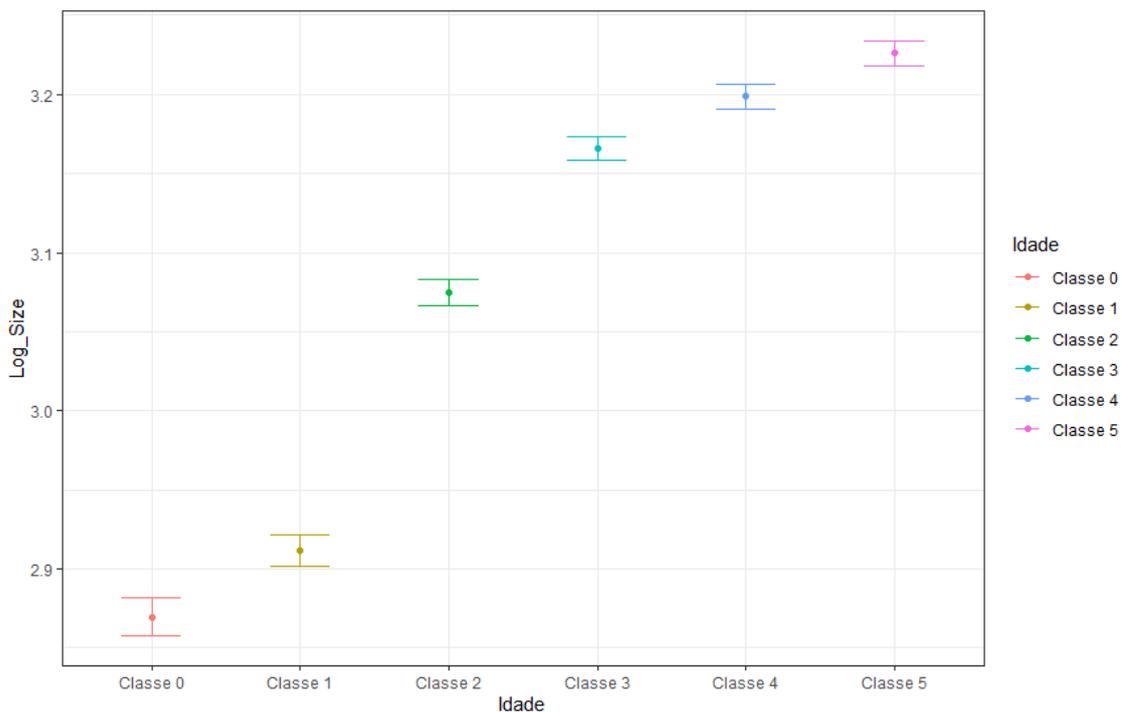
**Figura 10:** Comparação dos indivíduos da classe 4 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico.



**Figura 11:** Comparação dos indivíduos da classe 5 de *Cerradomys goytaca* coletados, entre os anos de 2012 e 2014, em ambos os métodos, armadilhas e pelotas, em relação ao log size. A média e o erro padrão de cada método estão indicados no gráfico.

### 4.3. Variação ontogenética nas mandíbulas de *Cerradomys goytaca*

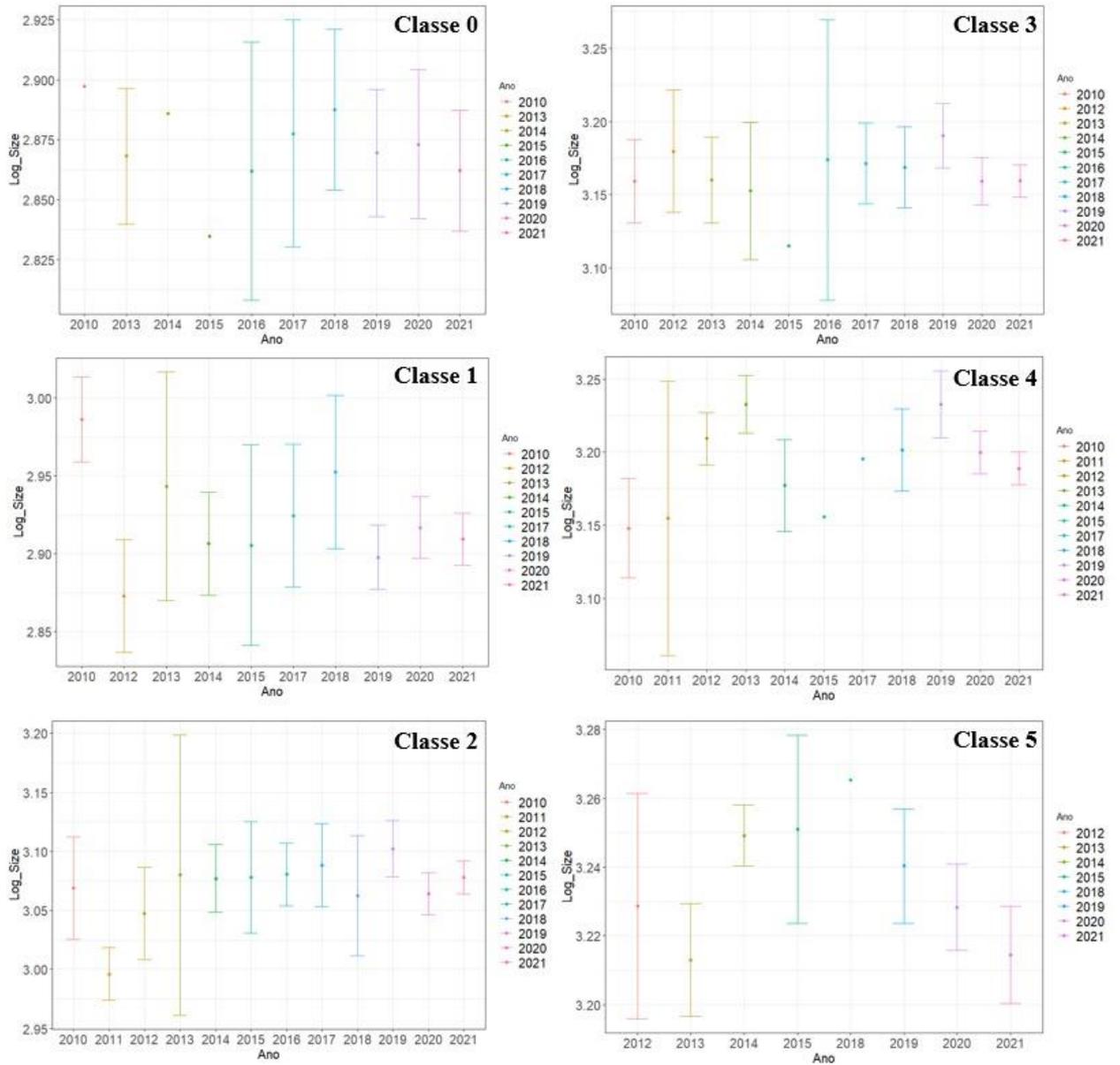
Em relação à variação do tamanho da mandíbula de *Cerradomys goytaca* ao longo das classes etárias, é possível ver um crescimento sigmoidal das seis classes (Fig. 12). Entre as classes jovens (classes 0 e 1) e entre as classes adultas (classes 3, 4 e 5) ocorre pouca variação do tamanho. Analisando visualmente a curva que foi gerada, a maior variação observada é quando o indivíduo alcança a classe 2 e, posteriormente, passa para a classe 3. Houve diferença significativa entre o tamanho das mandíbulas entre as classes etárias (ANOVA:  $F = 461,4$ ;  $p\text{-valor} < 0,0001$ ).



**Figura 12:** Variação do tamanho (log size) das mandíbulas para as seis classes etárias de *Cerradomys goytaca*. Média e erro padrão indicadas no gráfico.

### 4.4. Variação morfométrica intergeracional nas mandíbulas de *Cerradomys goytaca*

Analisando a variação morfométrica intergeracional no tamanho das mandíbulas dos indivíduos de *Cerradomys goytaca* (Fig. 13), foi possível observar uma queda na média do tamanho durante os anos de 2014 e 2015 para a maioria das classes, sendo a classe 5 a única que apresentou aumento do tamanho nesse período. Todas as classes também apresentaram aumento da média do tamanho entre os anos de 2018 e 2019, alcançando os maiores valores de média do tamanho entre todos os anos. Os resultados da ANOVA para determinar a significância da variação das classes etárias entre os anos estão sumarizadas na Tabela 4.



**Figura 13:** Variação do log size para as seis classes etárias de *Cerradomys goytaca* ao longo dos anos da amostragem. A média e o erro padrão foram identificados para a amostra de cada ano das classes etárias.

**Tabela 4:** Os resultados da ANOVA para determinar a significância da variação de tamanho em cada classes etárias entre os anos. Legenda: \* -  $p < 0,05$ .

Classe Etária	F-value	p-valor
Classe 0	0.26	0.98
Classe 1	1.81	0.08
Classe 2	1.02	0.43
Classe 3	0.74	0.68
Classe 4	2.83	0.01*
Classe 5	2.42	0.04*

As classes 4 e 5 apresentaram diferenças significativas. O tamanho das mandíbulas dos indivíduos da classe 4 apresentou tendências de crescimento e redução semelhantes às demais classes. Os anos que apresentaram os maiores valores de média foram 2013 e 2019, sendo este último representando o valor máximo. Enquanto os anos que apresentaram queda da média foram 2014 e 2020. Houve diferença estatisticamente significativa na variação do tamanho da mandíbula ao longo dos anos analisados (ANOVA:  $F = 2,83$ , g.l. = 10, p-valor = 0,01). Já a variação intergeracional do tamanho das mandíbulas dos indivíduos da classe 5 foi a que mais se diferenciou das demais classes. Os anos que apresentaram os maiores valores de média foram 2015 e 2018, sendo este último o pico. Enquanto os anos que apresentaram queda da média foram 2013 e 2019. Também houve diferença estatisticamente significativa na variação do tamanho da mandíbula ao todos os anos analisados (ANOVA:  $F = 2,42$ , g.l. = 7, p-valor = 0,04).

#### **4.5. Influência do clima na variação morfológica**

Em relação ao teste de correlação entre as variáveis, foi observado correlações significativas entre algumas das variáveis testadas. A variável temperatura média ano (TMed) apresentou correlação com as variáveis temperatura mínima do ano (TMin) ( $r = 0,9$ ; p-valor < 0.0001) e temperatura máxima do ano (TMax) ( $r = 0,92$ ; p-valor < 0.0001), sendo assim essas últimas duas variáveis foram descartadas, restando apenas a variável temperatura média. Considerando que as variáveis do ano anterior também foram selecionadas para a análise de modelos, as variáveis temperatura mínima do ano anterior (TMinA) e temperatura máxima do ano anterior (TMaxA) foram descartadas também, restando apenas 8 variáveis explanatórias.

Foram gerados 256 modelos para relacionar a influência da variação climática com a variação do tamanho da mandíbula. Das seis classes analisadas, apenas metade delas (classes 1, 4 e 5) apresentaram modelos com alguma variável climática preditora que foram substancialmente melhores ( $\Delta AICc < 2$ ) do que o modelo nulo para explicar a variação de tamanho da mandíbula, totalizando 45 modelos. As demais classes (classes 0, 2 e 3) não apresentaram nenhuma variável como determinante. Os resultados dos modelos médios para as classes 1, 4 e 5 são destacadas nas tabelas abaixo (Tabela 5-7).

Cada classe etária apresentou uma variável diferente como mais importante. Para a classe 1, dos 3 modelos selecionados, a variável mais importante foi a temperatura média do ano anterior (TMedA), com um valor do índice de 0,50, demonstrando uma relação positiva entre a TMedA e o tamanho de *Cerradomys goytaca*, indicando uma relação direta entre a temperatura e o tamanho dos indivíduos da classe 1. Para a classe 4, dos 23 modelos

selecionados, a variável mais importante foi a precipitação do ano (PA) que apresentou um valor do índice de 0,53, também demonstrando uma relação direta entre a precipitação e o tamanho dos indivíduos da classe 4. Para a classe 5, dos 12 modelos selecionados, a variável mais importante foi máximo de dias sem chuva do ano anterior (MCA), entretanto a relação entre essa variável climática e o tamanho dos indivíduos dessa classe foi negativa devido ao valor do índice ser -0,53, demonstrando que quanto maior o número de dias sem chuva no ano anterior, menor o tamanho dos indivíduos de *C. goytaca* da classe 5.

**Tabela 5:** Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 1 de *Cerradomys goytaca*. Legenda: NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; . –  $p < 0,1$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

Variável	Coefficiente $\beta$	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )	Signif. Codes
NCA	0.30	0.16	0.16	1.85	0.06	.
TMedA	0.50	0.17	0.17	2.92	0.01	**
TMed	-0.08	0.12	0.12	0.65	0.52	

**Tabela 6:** Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 4 de *Cerradomys goytaca*. Legenda: PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior; NC – Número de dias com chuva do ano; NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; . –  $p < 0,1$ ; \* –  $p < 0,05$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Variável	Coefficiente $\beta$	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )	Signif. Codes
PA	0.53	0.13	0.14	3.96	7.55E-05	***
TMed	0.26	0.12	0.12	2.07	0.04	*
TMedA	-0.27	0.12	0.12	2.15	0.03	*
NCA	0.27	0.15	0.16	1.72	0.08	.
MC	-0.12	0.11	0.11	1.10	0.28	
MCA	-0.20	0.13	0.14	1.51	0.13	
NC	0.11	0.12	0.12	0.91	0.37	
PAA	-0.11	0.11	0.11	0.96	0.34	

**Tabela 7:** Contribuições das variáveis climáticas mais determinantes para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos da classe 5 de *Cerradomys goytaca*. Legenda: PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior; \* -  $p < 0,05$ .

Variável	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )	Signif. Codes
MC	0.29	0.17	0.18	1.62	0.10	
MCA	-0.53	0.21	0.22	2.47	0.01	*
PA	-0.16	0.16	0.17	0.98	0.33	
TMed	0.35	0.21	0.21	1.64	0.10	
PAA	-0.11	0.15	0.16	0.72	0.47	

## 5. DISCUSSÃO

O roedor *Cerradomys goytaca* apresentou mudanças morfológicas rápidas (MMR) no tamanho da mandíbula dentro do período de 10 anos do estudo. A variação de tamanho foi perceptível principalmente nos anos de 2014-2015, em que houve um declínio no tamanho das mandíbulas, período esse em que houve uma seca prolongada na região. Além disso, houve variação ontogenética significativa, com a maior variação ocorrendo da classe 1 para a classe 2 e, posteriormente, da classe 2 para a classe 3. Houve também variação intergeracional significativa, mas apenas para as classes mais velhas de *C. goytaca* (classes 4 e 5). Os resultados das análises da influência do clima na variação morfológica indicam que existe uma correlação entre o clima e a variação no tamanho da mandíbula de *C. goytaca*, com as classes 1, 4 e 5 (Temperatura média do ano anterior, Precipitação do ano e Máximo de dias sem chuva do ano anterior, respectivamente) apresentando relação, positiva (classes 1 e 4) e negativa (classe 5), com as variáveis climáticas de precipitação e temperatura.

A curva de variação ontogenética de tamanho de *Cerradomys goytaca* é sigmóide, semelhante à descrita por Martins-Hatano et al. (2001). Nesse estudo, os indivíduos de *C. goytaca* foram criados em laboratório desde o nascimento, tendo um ambiente controlado. Sendo assim, os resultados encontrados para *C. goytaca* na natureza corroboram essa hipótese de crescimento sigmoidal observada primeiramente em laboratório, sendo também observada para outros roedores da família Cricetidae (CREIGHTON & STRAUSS, 1986).

O crescimento sigmoidal demonstra uma grande variação de tamanho durante a primeira metade do ciclo de vida de *Cerradomys goytaca*. A maior variação de tamanho da espécie é quando o indivíduo sai da classe 1 para a classe 2 e depois da classe 2 para a classe 3, quando

volta a ter um crescimento menor entre as classes. Uma hipótese para o crescimento reduzido nas últimas classes etárias consiste no maior gasto de energia para reprodução nesta fase da vida, restando menos energia para investimento em crescimento corporal (BEGON, TOWNSEND, HARPER, 2006). Estudos com outras espécies do gênero *Cerradomys* também demonstraram que existe variação ontogenética de tamanho ao longo das classes etárias, com diferença significativa entre as diferentes classes dos indivíduos adultos (CAMARDELLA, PÊSSOA & OLIVEIRA, 1998). Esse padrão de variação ontogenética no crânio também foi encontrado em outras populações de *Cerradomys* (BRANDT & PÊSSOA, 1994). Esse padrão de variação de um caráter morfológico em diferentes idades também foi encontrado para outras espécies de roedores. Prado & Percequillo (2011) analisaram variações ontogenéticas e sexuais de caracteres morfológicos do roedor cricetídeo *Aegialomys xanthaelous*, como o comprimento do crânio e o comprimento do côndilo-incisivo, e observaram variação nesses caracteres ao longo das classes etárias e entre os sexos, em que houve diferença significativa em todas essas características, sendo a única exceção entre indivíduos mais velhos.

Ao analisar as variações de tamanho intergeracional, foi observado um padrão diferente entre as classes etárias. As classes mais jovens não apresentaram diferenças significativas entre os anos, enquanto as classes 4 e 5 de adultos apresentaram variação significativa de tamanho de mandíbulas entre anos. Esses resultados evidenciam a presença de MMR em *Cerradomys goytaca*, durante a última década, para os indivíduos das classes 4 e 5. Uma hipótese para essas mudanças serem mais perceptíveis nas classes mais velhas é porque são indivíduos com mais tempo de vida, já tendo tempo de acumular respostas a um crescimento deficiente ou excessivo em função da disponibilidade de recursos no ambiente.

O ano de 2018 parece ter sido muito importante para o aumento da população de *Cerradomys goytaca*. Apesar de ter sido um dos anos mais frios, apresentando uma média na temperatura de 24,25 °C, foi o primeiro dos últimos quatro anos que apresentou precipitação maior que 1000 mm (Fig. 7). Essas características podem ter permitido o aumento populacional da espécie no ano seguinte, que foi refletido na abundância relativa dela nas pelotas em 2019 (Fig. 1). O inverso aconteceu nos anos de 2014-2015, em que foi acumulada pouca precipitação no ano de 2014, enquanto o ano de 2015 foi o ano mais quente do estudo (Fig. 7), além de apresentar a menor abundância relativa de *C. goytaca* nas pelotas (Fig. 1). Esse padrão indica uma resposta tardia da população do roedor à mudança de precipitação na região, mostrando uma forte relação da abundância da espécie com a variação anual de precipitação. Esse resultado é semelhante ao encontrado em uma população do roedor herbívoro-granívoro *Phyllotis darwini*

no Chile, em que foi observado aumento do tamanho populacional na região nos anos em que houve aumento na precipitação (LIMA, MARQUET & JACKSIC, 1999). Esse estudo utilizou dados do clima e da população de roedores entre 1943 e 1997 da Reserva Nacional Las Chinchillas, localizada em Aucó na região norte do Chile, ambiente que é caracterizado como semi-árido. Foi observada uma relação entre a ocorrência de El Niño e aumento da precipitação na área do estudo, assim como a relação entre a precipitação e aumento populacional de *P. darwini* na região, com o crescimento da população ocorrendo na primavera e no verão. Devido a precipitação estar concentrada no inverno, a reprodução de roedores acontece nas estações seguintes (primavera e verão), com a população utilizando o período de aumento da produção primária para adquirir mais recursos.

Os declínios gerados na população de *Cerradomys goytaca* devido às mudanças na precipitação e temperatura podem estar ligados a oferta de recursos. Estudos anteriores já fizeram e associaram as flutuações nas populações de roedores sigmodontíneos ao período de chuvas, uma vez que, com a queda na precipitação, diminui a disponibilidade de recursos, como suas fontes de alimento e água (CERQUEIRA, 2005; SOBRAL & OLIVEIRA, 2014). Esse padrão de mudança no tamanho populacional em relação à disponibilidade de recursos também foi observado para outros roedores cricetídeos, como o *Microtus oeconomus*, que apresentou uma diminuição no tamanho populacional devido a limitação no acesso a recursos alimentares durante o inverno, quando os recursos ficam cobertos de neve (KORSLUND & STEEN, 2006). Em períodos chuvosos, na região do PARNA Jurubatiba, ocorre o aumento na quantidade de frutos, como palmeira-guriri *Allagoptera arenaria* (GRENHA et al., 2010; PAULA, 2018), um importante recurso alimentar de *C. goytaca*.

Um segundo resultado esperado da variação na disponibilidade de um recurso altamente energético, como a *Allagoptera arenaria*, seria um aumento no tamanho corporal dos indivíduos que tiveram acesso a esse recurso em abundância. A qualidade nutricional dos recursos alimentares em diferentes habitats afeta o tamanho corporal dos indivíduos, com a taxa de crescimento sendo influenciada pela qualidade dos recursos disponíveis, evidenciando a importância da disponibilidade de alimentos na variação do tamanho dos roedores (PATTON & BRYLSKI, 1987; SMITH & PATTON, 1988). Essa relação da disponibilidade de recursos e a variação morfológica foi observada no estudo de Eastman et al. (2012), em que eles analisaram duas espécies de roedores, *Urocitellus beldingi* e *Callospermophilus lateralis*, entre os períodos de 1902 a 1950, e de 2000 a 2008, em Sierra Nevada, na Califórnia. Ambas as populações aumentaram o tamanho do comprimento do crânio como resposta a maiores níveis

de precipitação. O aumento da precipitação na área acelerou o derretimento da neve e, por consequência, diminuiu o tempo de hibernação da espécie, permitindo que os roedores consumissem recursos alimentares por mais tempo. Outro exemplo do clima afetando a morfologia foi observado no estudo de Stumpp, Fuzessy & Paglia (2018), em que eles avaliaram MMR em quatro espécies de roedores: *Akodon cursor*, *Cerradomys subflavus*, *Oligoryzomys nigripes* e *Oxymycterus dasytrichus*. Estes pesquisadores compararam os crânios de indivíduos coletados entre os anos de 1992 e 1997 com indivíduos coletados entre 2009 e 2010, e detectaram mudanças no tamanho craniano para a maioria das espécies (exceto *O. dasytrichus*), especialmente na região rostral do crânio. As alterações morfológicas nestas espécies foram interpretadas como respostas a mudanças na precipitação, umidade e temperatura entre os dois períodos. Esses estudos são exemplos da importância dessas variáveis climáticas para a variação morfológica nos roedores, apesar de algumas espécies não apresentarem essa correlação (KOONTZ, SHEPHERD & MARSHALL, 2001).

As variáveis climáticas mais importantes para explicar a variação morfológica de *Cerradomys goytaca* variaram entre as classes etárias. A temperatura média do ano anterior (TMédA) foi mais importante para classe 1, provavelmente indicando uma influência positiva da temperatura na disponibilidade de recursos aos progenitores dos indivíduos, já que, dependendo da quantidade de recursos durante a gestação, as mães poderiam acumular diferentes níveis de recursos energéticos, gerando variação de tamanho da prole. Isso foi observado para outras espécies de roedores, como *Peromyscus leucopus*, espécie para qual foi observada alocação nutritiva com base na disponibilidade de energia e cálcio e fêmeas que consumiram uma dieta com pouco cálcio apresentam uma redução a longo prazo no volume ósseo, tiveram redução no tamanho da ninhada e com mais fêmeas do que machos na prole (SCHMIDT & HOOD, 2012).

As demais classes que apresentaram a influência do clima na variação morfológica, tiveram a precipitação influenciando na morfologia. Para a classe 4, a variável mais determinante foi a precipitação do ano (PA), demonstrando uma relação positiva da precipitação do ano com o tamanho nessa idade. A classe 5 apresentou o máximo de dias sem chuva do ano anterior (MCA) como a variável significativa, reforçando a influência dos períodos de seca na disponibilidade dos recursos para o indivíduo. Os indivíduos dessa classe devem possuir mais de um ano de vida, o que justificaria eles serem afetados pelos dados climáticos do ano anterior. Isso pode indicar que houve uma quantidade limitada de recursos durante os primeiros estágios de vida, podendo gerar um déficit no tamanho dos indivíduos ao

chegarem nas classes mais velhas. Esses resultados dão suporte a hipótese de que as variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, influenciam as mudanças morfológicas de roedores, visto que, por terem um ciclo de vida não muito longo, eles aproveitam as condições favoráveis do clima de maneira imediata (CERQUEIRA, 2005).

Apesar da mandíbula de *Cerradomys goytaca* apresentar variação no tamanho, outros caracteres morfológicos podem variar. O crânio de *C. goytaca* também pode ser um indicador de mudanças nesses últimos 10 anos, visto que essa estrutura apresenta variação morfológica em outros roedores (NENGOVHELA, BAXTER & TAYLOR, 2015; HERNANDEZ et al., 2017; STUMPP, FUZESSY & PAGLIA, 2018) e ser um importante fator de variação, já que o crânio evolui alometricamente em resposta a variação no tamanho (MARROIG & CHEVERUD, 2005). Porém, a dificuldade de crânios de *C. goytaca* serem preservados nas pelotas afeta a possibilidade de observar mudanças morfológicas nesses organismos por esse método, restringindo a análise apenas às mandíbulas.

Outra limitação para a análise pode ser o baixo número de amostras disponíveis neste estudo para os organismos adultos. Indivíduos de *Cerradomys goytaca* mais jovens tendem a ser mais predados por *Tyto furcata* dentre todas as classes etárias (SILVA, 2019). Para as análises feitas nesse estudo, os indivíduos das classes 4 e 5 foram representados por 82 e 44 indivíduos, respectivamente, sendo as classes menos coletadas na amostra. Isso pode ser um reflexo da preferência por predação indivíduos mais jovens que *T. furcata* apresenta, limitando a maior compreensão da variação morfológica para as outras classes. Apesar dessas limitações encontradas, foi possível identificar a variação de tamanho na mandíbula de *C. goytaca*.

As comparações das variáveis de tamanho indicam que ocorreram mudanças no tamanho das mandíbulas de *Cerradomys goytaca* nos últimos 10 anos. Além disso, é possível correlacionar as mudanças no tamanho das mandíbulas com as variáveis climáticas, precipitação e temperatura, para os indivíduos nas classes etárias 1, 4 e 5. Isso indica que essas classes são as ideais para observar variações morfológicas relacionada ao tamanho nesses roedores, apontando a relevância do clima para essas mudanças adaptativas encontradas nesta espécie.

## 6. CONCLUSÃO

Os indivíduos de *Cerradomys goytaca* apresentaram mudanças morfológicas rápidas (MMR) nos últimos 10 anos e foi possível correlacioná-las com a variação climática neste período. Foi identificada variação no tamanho da mandíbula ao longo dos anos, com destaque

para o impacto negativo da estiagem sobre o tamanho populacional e sobre o tamanho dos indivíduos. Assim, esse estudo mostra evidências do que pode acontecer nos próximos anos, visto que os modelos climáticos preveem secas mais intensas nas próximas décadas (UKKOLA et al., 2020), podendo gerar mais declínios para a população de *C. goytaca*, afetando os seus recursos alimentares e sua morfologia, possivelmente gerando novas MMR.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU-JÚNIOR, E. F. et al. **Dimorfismo sexual na tribo Oryzomyini**. In: FREITAS, T. R. O. & Vieira, E. M. (Eds.). Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação. Sociedade Brasileira de Mastozoologia, Rio de Janeiro, p. 115-134, 2012.
- ABREU-JÚNIOR, E. F., PERCEQUILLO, A. R. **Small mammals of the Estação Ecológica de Bananal, southeastern Atlantic Forest, Brazil, with description of a new species of *Brucepattersonius* (Rodentia, Sigmodontinae)**. Arquivos de Zoologia, v. 50, n. 1, p. 1-116, 2019.
- ALMEIDA, A. J. et al. **Small mammals in the diet of Barn Owls (*Tyto furcata*) in an urban area in Rio de Janeiro state, Brazil, with a new record of the dwarf mouse opossum (*Cryptonanus*)**. Brazilian Journal of Biology (Online), v. 82, p. 1-7, 2022.
- ANDERSON, P. S. L., RENAUD, S., RAYFIELD, E. **Adaptive plasticity in the mouse mandible**. BMC Evolutionary Biology, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2014.
- ARAÚJO, D. S. D. et al. **Comunidades vegetais do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**. In: Esteve, F. A. (ed.). Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). Rio de Janeiro: UFRJ, p. 39-62, 1998.
- AVENANT, N. L. **Barn owl pellets: A useful tool for monitoring small mammal communities?** Belgian Journal of Zoology, v. 135, p. 39-42, 2005.
- BAGLAN, A., CATZEFLIS, F. **Barn owl pellets collected in coastal savannas yield two additional species of small mammals for French Guiana**. Mammalia, v. 80, n. 1, p. 91-95, 2016.
- BARBIÈRE, F. et al. **A new nomenclatural system for the study of sigmodontine rodent molars: first step towards an integrative phylogeny of fossil and living cricetids**. Biological Journal of the Linnean Society, v. 127, n. 2, p. 224-244, 2019.
- BARTOÑ, K. **MuMIn: Multi-model inference**. R package version 1.46.0, 2022.

- BEGON, M., TOWNSEND, C. R., HARPER, J. L. **The flux of energy through ecosystems.** *In*: Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L. (eds.). *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4 ed., p. 499-524, 2006.
- BOOKSTEIN, F. L. **Morphometric tools for landmark data: geometry and biology.** Cambridge University Press, NY, 1991.
- BRANDT, R. S., PESSÔA, L. M. **Intrapopulational variability in cranial characters of *Oryzomys subflavus* (WAGNER, 1842) (Rodentia: Cricetidae), in north-eastern Brazil.** *Zoologischer Anzeiger*, v. 233, p. 45-55, 1994.
- BURNHAM, K. P., ANDERSON, D. R. **Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection.** *Sociological Methods & Research*, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.
- CAMARDELLA, A. R., PÊSSOA, L. M., OLIVEIRA, J. A. **Sexual dimorphism and age variability in cranial characters of *Oryzomys subflavus* (WAGNER, 1842) (Rodentia: Sigmodontinae) from northeastern Brazil.** *Bonner Zoologische Beiträge*, v. 48, p. 9-18, 1998.
- CARLETON, M. D., MUSSSER, G. G. **Systematic studies of oryzomyine rodents (Muridae, Sigmodontinae): a synopsis of *Microrozomys*.** *Bulletin of the American Museum of Natural History*, n. 191, p. 1-83, 1989.
- CERQUEIRA, R. **Fatores ambientais e a reprodução de marsupiais e roedores no leste do Brasil.** *Arquivos do Museu Nacional*, v. 63, n. 1, p. 29-39, 2005.
- CREIGHTON, G. K., STRAUSS, R. E. **Comparative patterns of growth and development in cricetine rodents and the evolution of ontogeny.** *Evolution*, v. 40, n. 1, p. 94-106.
- EASTMAN, L. M. et al. **Size increase in high elevation ground squirrels over the last century.** *Global Change Biology*, v. 18, p. 1499-1508, 2012.
- FERREIRA, M. S. et al. **Seasonal dynamics with compensatory effects regulate populations of tropical forest marsupials: a 16-year study.** *Oecologia*, v. 182, n. 4, p. 1095-1106, 2016.

- GARDNER, J. L. et al. **Declining body size: a third universal response to warming?** Trends in ecology & evolution, v. 26, n. 6, p. 285-291, 2011.
- GRANT, P. R., GRANT, B. R. **Unpredictable evolution in a 30-year study of Darwin's finches.** Science, v. 296, n. 5568, p. 707-711, 2002.
- GRENHA, V. et al. **The role of *Cerradomys subflavus* (Rodentia: Cricetidae) as seed predator and disperser of the palm *Allagoptera arenaria*.** Mastozoologia Neotropical, v. 17, n. 1, p. 61-68, 2010.
- HEISLER, L. M., SOMERS, C. M., POULIN, R. G. **Owl pellets: a more effective alternative to conventional trapping for broad-scale studies of small mammal communities.** Methods in Ecology and Evolution, v. 7, p. 96-103, 2016.
- HERNANDEZ, G. et al. **Ontogenetic variation of an omnivorous generalist rodent: the case of the montane akodont (*Akodon montensis*).** Journal of Mammalogy, v. 98, n. 6, p. 1741-1752, 2017.
- HERNANDEZ-MUÑOZ, A., MANCINA, C. A. **Diet of barn owl (*Tyto alba*) (Aves: Strigiformes) in natural and anthropogenic habitat in central Cuba.** Revista mexicana de biodiversidad, v. 82, p. 217-226, 2011.
- HUMPHRIES, J. M. et al. **Multivariate discrimination by shape in relation to size.** Systematic Biology, v. 30, n. 3, p. 291-308, 1981.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**, 2018.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/parnajurubatiba/>. Acesso em: 21/12/2021, às 18:13h.
- KASSAMBRA, A. **Rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests.** R package version 0.7.0., 2021.

- KLINGENBERG, C. P. **Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches.** *Nature Reviews Genetics*, v. 11, n. 9, p. 623-635, 2010.
- KLINGENBERG, C. P. **MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics.** *Molecular Ecology Resources*, v. 11, p. 353-357, 2011.
- KOONTZ, T. L., SHEPERD, U. L., MARSHALL, D. **The effect of climate change on Merriam's kangaroo rat, *Dipodomys merriami*.** *Journal of Arid Environments*, v. 49, n. 3, p. 581-591, 2001.
- KORSLUND, L, STEEN, H. **Small rodent winter survival: snow conditions limit access to food resources.** *Journal of Animal Ecology*, v. 75, n. 1, p. 156-166, 2006.
- LEMOS, H. M. et al. **Barn owl pellets (Aves: *Tyto furcata*) reveal a higher mammalian richness in the Restinga de Jurubatiba National Park, Southeastern Brazil.** *Biota Neotropica*, v. 15, n. 2, p. 1-9, 2015.
- LEMOS, H. M., GONÇALVES, P. R. **Dinâmica populacional de *Cerradomys goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011 (Rodentia: Cricetidae), uma espécie endêmica de restingas.** *Oecologia Australis*, v. 19, n.1, p. 195-214, 2015.
- LIMA, M., MARQUET, P. A., JAKSIC, F. M. **El Niño events, precipitation patterns, and rodent outbreaks are statistically associated in semiarid Chile.** *Ecography*, v. 22, p. 213-218, 1999.
- LYMAN, R. L. **Estimating taxonomic abundances: NISP and MNI.** *Quantitative Paleozoology* p. 21-82, 2008.
- MACHADO, L. F., PARESQUE, R., CHRISTOFF, A. U. **Anatomia comparada e morfometria de *Oligoryzomys nigripes* e *O. flavescens* (Rodentia, Sigmodontinae) no Rio Grande do Sul, Brasil.** *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 51, p. 29-47, 2011.
- MAESTRI, R. et al. **Ontogenetic allometry in the foot size of *Oligoryzomys flavescens* (Waterhouse, 1837) (Rodentia, Sigmodontinae).** *Brazilian Journal of Biology*, v. 75, p. 435-441, 2015.

- MAESTRI, R. et al. **Geographical variation of body size in sigmodontine rodents depends on both environment and phylogenetic composition of communities.** *Journal of Biogeography*, v. 43, n. 6, p. 1192-1202, 2016.
- MARTINS-HATANO, F. et al. **Post-natal development under laboratory conditions of *Nectomys squamipes* (BRANTS, 1827) and *Oryzomys gr. subflavus* (WAGNER, 1842) (Rodentia: Muridae).** *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 3, n. 2, p. 243-252, 2001.
- MARON, M. et al. **Climate-induced resource bottlenecks exacerbate species vulnerability: a review.** *Diversity and Distributions*, v. 21, n. 7, p. 731-743, 2015.
- MARROIG, G., CHEVERUD, J. M. **Size as a line of least evolutionary resistance: diet and adaptive morphological radiation in New World monkeys.** *Evolution*, v. 59, n. 5, p. 1128-1142, 2005.
- MILLIEN, V., DAMUTH, J. **Climate change and size evolution in an island rodent species: new perspectives on the island rule.** *Evolution*, v. 58, n. 6, p. 1353-1360, 2004.
- NENGOVHELA, A., BAXTER, R. M., TAYLOR, P. J. **Temporal changes in cranial size in South African vlei rats (*Otomys*): evidence for the ‘third universal response to warming’.** *African Zoology*, v. 50, n. 3, p. 233-239, 2015.
- PARMESAN, C., YOHE, G. **A globally coherent fingerprint of climate changes impacts across natural systems.** *Nature*, v. 421, n. 6918, p.37-42, 2003.
- PATTON, J. L., BRYLSKI, P. V. **Pocket gophers in alfalfa Fields: causes and consequences of habitat-related body size variation.** *The American Naturalist*, v. 130, n. 4, p. 493-506, 1987.
- PAULA, S. G. B. **Respostas populacionais de *Cerradomys goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011 (Rodentia: Cricetidae) à oferta de recursos frutíferos na formação aberta de *Clusia* da Restinga de Jurubatiba.** Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais e Conservação) – UFRJ, Macaé, 80 pp., 2018.

- PEREIRA, M. C. A., CORDEIRO, S. Z., ARAÚJO, D. S. D. **Estrutura do estrato herbáceo na formação aberta de *Clusia* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ, Brasil.** Acta Botanica Brasilica, v. 18, n. 3, p. 677-687, 2004.
- PERGAMS, O. R. W., LAWLER, J. J. **Recent and widespread rapid morphological change in rodents.** PLoS ONE, v. 4, n. 7, p. e6452, 2009.
- PRADO, J. R., PERCEQUILLO, A. R. **Ontogenetic and sexual variation in cranial characters of *Aegialomys xantheolus* (Thomas, 1894) (Cricetidae: Sigmodontinae) from Ecuador and Peru.** Papéis Avulsos de Zoologia, v. 51, n. 9, p. 155-177, 2011.
- PUCKETT, E. E. et al. **Variation in brown rat cranial shape shows directional selection over 120 years in New York City.** Ecology and Evolution, v. 10, n. 11, p. 4739-4748, 2020.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.
- RENAUD, S., AUFRRAY, J., DE LA PORTE, S. **Epigenetic effects on the mouse mandible: common features and discrepancies in remodeling due to muscular dystrophy and response to food consistency.** BMC Evolutionary Biology, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2010.
- RIDLEY, M. **O Surgimento da biologia evolutiva.** In: RIDLEY, M. Evolução. Artmed Editora, p. 27-44, 2009.
- ROHLF, F. J. **TpsDig2, Version 2.10.** Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, NY, 2006.
- SAMUELS, J. X. **Cranial morphology and dietary habits of rodents.** Zoological Journal of the Linnean Society, v. 156, n. 4, p. 864-888, 2009.
- SCHMIDT, C. M., HOOD, W. R. **Calcium availability influences litter size and sex ratio in white-footed mice (*Peromyscus leucopus*).** PLoS ONE, v. 7, n. 8, p. e41402, 2012.

- SCHMIDT, N. M., JENSEN, P. M. **Changes in mammalian body length over 175 years – adaptations to a fragmented landscape?** *Conservation Ecology*, v. 7, n. 2, 2003.
- SEEBACHER, F., WHITE, C. R., FRANKLIN, C. E. **Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change.** *Nature Climate Change*, v. 5, n. 1, p. 61-66, 2015.
- SEGURA, V. et al. **Evolutionary patterns of cranial ontogeny in Sigmodontines (Rodentia, Cricetidae).** *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, v. 59, n. 8, p. 2440-2456, 2021.
- SELÇUK, A. Y., ÖZKOÇ, Ü. Ö., KEFELIOĞLU, H. **Diet composition of the barn owl *Tyto alba* (Scopoli, 1769) (Strigiformes: Tytonidae) in the Kızılırmak Delta, Turkey.** *Acta Zoologica Bulgarica*, v. 70, p. 517-522, 2018
- SILVA, V. C. **Estrutura etária dos mortos e dos vivos: Comparação de classificações etárias de *Cerradomys goytaca* TAVARES, PESSÔA & GONÇALVES, 2011 (Rodentia: Sigmodontinae) predados e não-predados do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Biológicas – Ênfase em Meio Ambiente) – UFRJ, Macaé, 43 pp., 2019.
- SMITH, M. F., PATTON, J. L. **Subspecies of pocket gophers: causal bases for geographic differentiation in *Thomomys bottae*.** *Systematic Zoology*, v. 37, n. 2, p. 163-178, 1988.
- SOBRAL, G., OLIVEIRA, J. A. **Annual age structure and reproduction in the Caatinga red-nosed mouse, *Wiedomys pyrrhorhinos* (Rodentia, Sigmodontinae).** *Therya*, v. 5, n. 2, p. 509-534, 2014.
- SOUZA, D. P. et al. **Small mammals in Barn Owl (*Tyto alba* – Aves, Strigiformes) pellets from northeastern Brazil, with new records of *Gracilinanus* and *Cryptonanus* (Didelphimorphia, Didelphidae).** *Mammalian Biology*, v. 75, n. 4, p. 370-374, 2010.

- STUMPP, R., FUZESEY, L., PAGLIA, A. P. **Environment drivers acting on rodent rapid morphological change.** *Journal of Mammalian Evolution*, v. 25, n. 1, p. 131-140, 2018.
- SUEUR, J., KRAUSE, B., FARINA, A. **Climate change is breaking Earth's beat.** *Trends in Ecology & Evolution*, v. 34, n. 11, p. 971-973, 2019.
- TAVARES, W. C., PESSÔA, L. M., GONÇALVES, P. R. **New species of *Cerradomys* from coastal sandy plains of southeaster Brazil (Cricetidae: Sigmodontinae).** *Journal of Mammalogy*, v. 92, n. 3, p. 645-658, 2011.
- TAVARES, W. C., PESSÔA, L. M., SEUÁNEZ, H. N. **Systematics and acceleration of cranial evolution in *Cerradomys* (Rodentia, Cricetidae, Sigmodontinae) of quaternary sandy plains in Southeastern Brazil.** *Journal of Mammalian Evolution*, v. 23, n. 3, p. 281-296, 2016.
- UKKOLA, A. M. et al. **Robust future changes in meteorological drought in CMIP6 projections despite uncertainty in precipitation.** *Geophysical Research Letters*, v. 47, n. 11, p. e2020GL087820, 2020.
- WALSH, R. E. et al. **Morphological and dietary responses in chipmunks to a century of climate change.** *Global change biology*, v. 22, n. 9, p. 3233-3252, 2016.
- YOM-TOV, Y., YOM-TOV, S. **Climatic change and body size in two species of Japanese rodents.** *Biological Journal of the Linnean society*, v. 82, n. 2, p. 263-267, 2004.
- YOM-TOV, Y., YOM-TOV, S., JARRELL, G. **Recent increase in body size of the American marten *Martes americana* in Alaska.** *Biological Journal of the Linnean society*, v. 93, n. 4, p. 701-707, 2008.
- ZELDITCH, M. L. et al. **Geometric morphometrics for biologists: a primer.** Academic Press, 2012.

## 8. ANEXOS

ANEXO A – Lista de espécimes de *Cerradomys goytaca* oriundos do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ, examinados na Coleção de Mastozoologia do NUPEM/UFRJ contendo o número de tombo (NPM), número de campo (PRG ou TXD) e a classe etária de cada exemplar.

<b>Nº de Tombo</b>	<b>Número de Campo</b>	<b>Classe Etária</b>
<b>NPM169</b>	PRG1562	Classe 0
<b>NPM170</b>	PRG1563	Classe 0
<b>NPM250</b>	PRG1585	Classe 3
<b>NPM251</b>	PRG1586	Classe 1
<b>NPM254</b>	PRG1589	Classe 3
<b>NPM255</b>	PRG1590	Classe 2
<b>NPM260</b>	PRG1595	Classe 4
<b>NPM261</b>	PRG1596	Classe 2
<b>NPM262</b>	PRG1597	Classe 4
<b>NPM263</b>	PRG1598	Classe 2
<b>NPM264</b>	PRG1599	Classe 2
<b>NPM265</b>	PRG1600	Classe 2
<b>NPM268</b>	PRG1603	Classe 1
<b>NPM269</b>	PRG1604	Classe 3
<b>NPM270</b>	PRG1605	Classe 2
<b>NPM275</b>	PRG1610	Classe 3
<b>NPM388</b>	PRG1730	Classe 4
<b>NPM409</b>	PRG1751	Classe 2
<b>NPM482</b>	PRG1829	Classe 2
<b>NPM484</b>	PRG1831	Classe 3
<b>NPM492</b>	PRG1839	Classe 1
<b>NPM494</b>	PRG1841	Classe 2
<b>NPM496</b>	PRG1843	Classe 4
<b>NPM503</b>	PRG1850	Classe 2
<b>NPM511</b>	PRG1860	Classe 4
<b>NPM512</b>	PRG1861	Classe 5
<b>NPM513</b>	PRG1862	Classe 5
<b>NPM519</b>	PRG1791	Classe 2
<b>NPM528</b>	PRG1865	Classe 3
<b>NPM529</b>	PRG1866	Classe 3
<b>NPM536</b>	PRG1873	Classe 3
<b>NPM537</b>	PRG1874	Classe 3
<b>NPM543</b>	TXD056	Classe 4
<b>NPM544</b>	TXD057	Classe 4
<b>NPM545</b>	TXD058	Classe 4

<b>NPM546</b>	TXD059	Classe 4
<b>NPM547</b>	TXD060	Classe 2
<b>NPM548</b>	TXD061	Classe 4
<b>NPM549</b>	TXD062	Classe 3
<b>NPM629</b>	PRG1953	Classe 1
<b>NPM630</b>	PRG1954	Classe 3
<b>NPM631</b>	PRG1955	Classe 2
<b>NPM633</b>	PRG1957	Classe 3
<b>NPM634</b>	PRG1958	Classe 3
<b>NPM635</b>	PRG1959	Classe 4
<b>NPM636</b>	PRG1960	Classe 3
<b>NPM824</b>	PRG2127	Classe 3
<b>NPM826</b>	PRG2129	Classe 2
<b>NPM827</b>	PRG2130	Classe 4
<b>NPM828</b>	PRG2131	Classe 5
<b>NPM829</b>	PRG2132	Classe 2
<b>NPM833</b>	PRG2136	Classe 5
<b>NPM836</b>	PRG2139	Classe 3
<b>NPM838</b>	PRG2141	Classe 4
<b>NPM839</b>	PRG2142	Classe 2
<b>NPM842</b>	PRG2145	Classe 5
<b>NPM846</b>	PRG2149	Classe 5
<b>NPM847</b>	PRG2150	Classe 3
<b>NPM848</b>	PRG2151	Classe 3
<b>NPM919</b>	PRG2222	Classe 2
<b>NPM927</b>	PRG2230	Classe 3
<b>NPM933</b>	PRG2236	Classe 2
<b>NPM993</b>	PRG2240	Classe 4
<b>NPM997</b>	PRG2244	Classe 3
<b>NPM998</b>	PRG2245	Classe 0
<b>NPM999</b>	PRG2246	Classe 2
<b>NPM1000</b>	PRG2247	Classe 2
<b>NPM1134</b>	PRG2379	Classe 2
<b>NPM1140</b>	PRG2385	Classe 2
<b>NPM1142</b>	PRG2387	Classe 2
<b>NPM1148</b>	PRG2393	Classe 2
<b>NPM1149</b>	PRG2394	Classe 4
<b>NPM1152</b>	PRG2397	Classe 1
<b>NPM1153</b>	PRG2398	Classe 2
<b>NPM1154</b>	PRG2399	Classe 4
<b>NPM1155</b>	PRG2400	Classe 2
<b>NPM1156</b>	PRG2401	Classe 1
<b>NPM1158</b>	PRG2403	Classe 3
<b>NPM1160</b>	PRG2405	Classe 1
<b>NPM1238</b>	PRG2463	Classe 4

<b>NPM1239</b>	PRG2464	Classe 2
<b>NPM1243</b>	PRG2468	Classe 3
<b>NPM1303</b>	TXD110	Classe 5
<b>NPM1328</b>	TXD130	Classe 5
<b>NPM1329</b>	TXD134	Classe 4
<b>NPM1439</b>	TXD133	Classe 5
<b>NPM1444</b>	TXD142	Classe 1
-	TXD433	Classe 3
-	TXD477	Classe 2
-	TXD478	Classe 2
-	TXD480	Classe 3
-	TXD481	Classe 2
-	TXD484	Classe 2
-	TXD493	Classe 4
-	TXD494	Classe 5
-	TXD495	Classe 4

ANEXO B – Tabelas dos modelos selecionados que apresentaram  $\Delta AICc$  menor do que 2 e que explicam a variação do tamanho da mandíbula para cada uma das classes etárias de *Cerradomys goytaca* de acordo com as variáveis explanatórias. Legenda: Null – Modelo Nulo; PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; NC – Número de dias com chuva do ano; NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior.

Os modelos selecionados que explicam a variação do tamanho da mandíbula para cada uma das classes etárias de *Cerradomys goytaca* de acordo com as variáveis explanatórias.

<b>Classe Etária</b>	<b>Modelo</b>	<b>df</b>	<b>logLik</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta AICc</math></b>	<b>Weight</b>
Classe 0						
	h1 (Null)	-	-	-	-	-
Classe 1						
	h137 (NCA+TMedA)	4	144.69	-280.86	0.00	0.09
	h129 (TMedA)	3	142.89	-279.48	1.38	0.05
	h201 (NCA+TMed+TMedA)	5	144.91	-279.04	1.81	0.04
Classe 2						
	h1 (Null)	2	356.04	-708.05	0.00	0.03
Classe 3						
	h9 (NCA)	3	241.53	-476.88	0.00	0.05
Classe 4						
	h209 (PA+TMed+TMedA)	5	163.38	-315.98	0.00	0.06
	h89 (NCA+PA+TMed)	5	163.23	-315.68	0.30	0.05
	h217 (NCA+PA+TMed+TMedA)	6	164.15	-315.19	0.79	0.04
	h210 (MC+PA+TMed+TMedA)	6	164.09	-315.07	0.91	0.04
	h147 (MCA+PA+TMedA)	5	162.74	-314.69	1.29	0.03
	h211 (MCA+PA+TMed+TMedA)	6	163.88	-314.64	1.34	0.03
	h213 (NC+PA+TMed+TMedA)	6	163.83	-314.55	1.44	0.03
	h90 (MC+NCA+PA+TMed)	6	163.81	-314.50	1.49	0.03
	h241 (PA+PAA+TMed+TMedA)	6	163.69	-314.26	1.72	0.02
	h179 (MCA+PA+PAA+TMedA)	6	163.60	-314.08	1.90	0.02
Classe 5						
	h4 (MC+MCA)	4	107.14	-205.31	0.00	0.06
	h3 (MCA)	3	105.60	-204.63	0.68	0.04
	h19 (MCA+PA)	4	106.39	-203.80	1.51	0.03
	h67 (MCA+TMed)	4	106.28	-203.58	1.73	0.03

h65 (TMed)	3	105.07	-203.58	1.74	0.03
h20 (MC+MCA+PA)	5	107.50	-203.50	1.81	0.02
h36 (MC+MCA+PAA)	5	107.44	-203.38	1.93	0.02

---

ANEXO C – Tabelas dos modelos médios das classes etárias de *Cerradomys goytaca* que não apresentaram variável climática determinante para a variação de tamanho da mandíbula dos indivíduos. Legenda: PA – Precipitação do ano; PAA – Precipitação do ano anterior; TMed – Temperatura média do ano; TMedA – Temperatura média do ano anterior; NC – Número de dias com chuva do ano; NCA – Número de dias com chuva do ano anterior; MC – Máximo de dias sem chuva do ano; MCA – Máximo de dias sem chuva do ano anterior.

Classe 0:

Variável	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )
MCA	-0.13797	0.15468	0.15938	0.866	0.387
NC	0.08604	0.15559	0.16032	0.537	0.592

Classe 2:

Variável	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )
NC	-0.08734	0.06189	0.06213	1.406	0.16
PAA	0.08905	0.06468	0.06493	1.371	0.17
NCA	0.06746	0.05884	0.05908	1.142	0.254
MCA	-0.05904	0.06186	0.06211	0.951	0.342
MC	-0.04665	0.06314	0.06339	0.736	0.462
TMed	0.06633	0.06959	0.06988	0.949	0.343
TMedA	-0.03339	0.05849	0.05873	0.569	0.57

Classe 3

Variável	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	z value	Pr(> z )
NCA	0.15046	0.09326	0.09402	1.6	0.11
PA	0.08843	0.09549	0.09632	0.918	0.359
MCA	0.0802	0.1014	0.10228	0.784	0.433
TMedA	-0.07533	0.08368	0.0844	0.892	0.372
TMed	-0.03461	0.08981	0.09059	0.382	0.702