

Lara Gosalbez Pieroni

**MICROCLIMA DO MAIS AUSTRAL DOS *Brachycephalus* (ANURA,
BRACHYCEPHALIDAE), UM MICROENDEMISMO DE ALTITUDE
DA SERRA DO TABULEIRO, SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL**

**São Vicente - SP
2025**

Lara Gosalbez Pieroni

MICROCLIMA DO MAIS AUSTRAL DOS *Brachycephalus* (ANURA, BRACHYCEPHALIDAE), UM MICROENDEMISMO DE ALTITUDE DA SERRA DO TABULEIRO, SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Biológicas, com habilitação em Biologia Marinha.

Orientador: Prof. Dr. Marcos R. Bornschein

**São Vicente - SP
2025**

P619m Pieroni, Lara

Microclima do mais austral dos Brachycephalus (Anura, Brachycephalidae), um microendemismo de altitude da Serra do Tabuleiro, Santa Catarina, Sul do Brasil / Lara Pieroni. -- , 2025
23 f. : tabs., fotos + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (-) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente,
Orientador: Marcos Bornschein

1. Zoologia. 2. Anuros. 3. Ecologia Animal. 4. Microclimatologia.
5. Mar, Serra do. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, base de tudo o que sou e conquisto. Aos meus pais, por todo o amor incondicional, apoio e sacrifícios realizados ao longo desta jornada. Vocês são meu porto seguro e minha maior inspiração.

Ao meu irmão, pela parceria, cumplicidade e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Às minhas gatinhas, companheiras silenciosas de tantas madrugadas de estudo, que com sua presença tornaram os dias mais leves e acolhedores.

Aos meus amigos, que compreenderam minhas ausências, celebraram minhas vitórias e me apoiaram nos momentos de dificuldade. Vocês tornaram essa caminhada mais alegre e significativa.

Ao meu orientador, pela paciência, dedicação e valiosas contribuições que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Apesar de todas as minhas dificuldades e problemas enfrentados ao longo do percurso, manteve-se firme, prestativo e sempre disposto a me apoiar. Sua orientação foi essencial para meu crescimento acadêmico e profissional, e sou profundamente grata por não ter desistido de mim.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho, meu sincero agradecimento.

Microclima do mais austral dos *Brachycephalus* (Anura, Brachycephalidae), um microendemismo de altitude da Serra do Tabuleiro, Santa Catarina, Sul do Brasil

Lara Gosalbez Pieroni^{1,2} & Marcos R. Bornschein¹

¹Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus do Litoral Paulista, Praça Infante Dom Henrique s/no, CEP 11330-900, São Vicente, São Paulo, Brasil

²Autor correspondente. E-mail: lara.pieroni@unesp.br

Resumo

Nas montanhas da Floresta Atlântica ocorre um gradiente climático altitudinal, com diminuição média de 0,56 °C na temperatura e incremento médio na pluviosidade em 40 mm a cada 100 m a mais de elevação. O clima mais frio das montanhas favorece a adaptação ecológica de algumas espécies, porém não atua como causa da especiação. O cenário mais comum para a origem de novas espécies é o isolamento geográfico, que, consequentemente, leva ao isolamento reprodutivo. Um gênero de anuros que vivenciou esse cenário é *Brachycephalus*, cujas espécies são endêmicas da Floresta Atlântica. Nos últimos anos, inúmeras espécies desse gênero foram descritas, muitas delas restritas a um único topo de montanha. Além da restrição ao clima mais frio e úmido das grandes elevações, verificou-se acentuada variação na densidade de indivíduos ao longo do gradiente altitudinal e variação morfológica da pele em função do clima, sugerindo um padrão populacional e morfológico pelo gradiente climático. O objetivo geral deste trabalho é caracterizar o microclima de *Brachycephalus tabuleiro*, a mais austral das espécies do gênero, e comparar com dados climáticos globais da base WorldClim. Coletamos dados diários de temperatura e umidade ao longo de um ano, entre 6 de abril de 2024 e 6 de abril de 2025, na única localidade de ocorrência da espécie, margem direita do rio do Ponche (27°54'02" S, 48°53'07" W; 890 m a.n.m.), Serra do Tabuleiro, município de São Bonifácio, Santa Catarina. Obtivemos um total 17.522 aferições, revelando temperatura média anual de 16,0 °C e umidade relativa do ar média de 91,4%. O trimestre mais frio foi junho, julho e agosto, o mais quente foi janeiro, fevereiro e março, o mais úmido foi janeiro, fevereiro e março e o mais seco foi agosto, setembro e outubro. A comparação com dados do WorldClim revelou diferenças, especialmente pela subestimação de temperaturas extremas, em particular as mínimas. *Brachycephalus tabuleiro* ocorre em um ambiente extremamente úmido onde se formam geadas. O microclima verificado, no geral, é similar ao de outros locais montanhosos no Brasil, mas se destaca os baixos valores de umidade relativa do ar aferidos. Modelos climáticos globais subestimam a variabilidade existente em pequena escala, mas podem ser beneficiados com a incorporação de dados microclimáticos. A obtenção desses dados deve ser ampliada, inclusive para melhor compreender a vulnerabilidade dos *Brachycephalus* à mudança climática. Em particular, *B. tabuleiro* ocorre em um fragmento florestal que pode ser ainda mais afetado por extremos climáticos, destacando-se a importância na continuidade da tomada de dados microclimáticos e na avaliação das variações entre borda e interior do fragmento.

Palavras-chave: *Brachycephalus tabuleiro*, temperatura, umidade, monitoramento microclimático, extremo térmico, conservação.

Abstract

In the mountains of the Atlantic Forest, an altitudinal climatic gradient occurs, with a mean decrease of 0.56 °C in temperature and a mean increase in rainfall of 40 mm for every 100 m of elevation gain. This colder climate facilitates speciation and ecological adaptations of organisms to mountaintops around the globe, such as the anurans of the genus *Brachycephalus*, endemic to the Atlantic Forest. In recent years, numerous species of this genus have been described, many of them restricted to a single mountaintop. In addition to the restriction to the colder and more humid climate of high elevations, a marked variation in individual density along the altitudinal gradient and morphological variation of the skin as a function of climate was observed, suggesting a population and

morphological pattern driven by the climatic gradient. The general objective of this study is to characterize the microclimate of *B. tabuleiro*, the southernmost species of the genus, and compare it with global climatic data from the WorldClim database. We collected daily temperature and humidity data over one year, between April 6, 2024, and April 6, 2025, at the species' only known locality, on the right bank of the Ponche River (27°54'02" S, 48°53'07" W; 890 m a.s.l.), in the Serra do Tabuleiro, municipality of São Bonifácio, Santa Catarina. We obtained a total of 17,522 readings, revealing a mean annual temperature of 16.0 °C and a mean relative humidity of 91.4%. The coldest quarter was June, July, and August; the hottest was January, February, and March; the wettest was January, February, and March; and the driest was August, September, and October. Comparison with WorldClim data revealed differences, especially regarding the underestimation of extreme temperatures, particularly the minimums. *Brachycephalus tabuleiro* occurs in an extremely humid environment where frosts form. The observed microclimate is, in general, similar to that of other mountainous locations in Brazil and abroad, but the low relative humidity values recorded are noteworthy. Global climate models underestimate existing small-scale variability but can benefit from the incorporation of microclimatic data. The collection of such data should be expanded, including to better understand the vulnerability of *Brachycephalus* to climate change. In particular, *B. tabuleiro* occurs in a forest fragment that may be even more affected by climatic extremes, highlighting the importance of continuing microclimatic data collection and evaluating variations between the edge and the interior of the fragment.

Keywords: *Brachycephalus tabuleiro*, temperature, humidity, microclimatic monitoring, thermal extreme, conservation.

Introdução

A relação histórica e íntima dependência dos anuros com a água está estabelecida na literatura (e.g., Toledo & Jared 1993a,; Duellman & Trueb 1994; de Brito-Gitirana & Azevedo 2005; Schoch 2009), mas as respostas das espécies às variações microclimáticas no domínio da Floresta Atlântica ainda é um vasto campo de pesquisa a ser investigado. O relevo montanhoso da Floresta Atlântica promove um gradiente altitudinal, aumentando a pluviosidade e diminuindo as temperaturas com o aumento da altitude. As chuvas orográficas são abundantes e aumentam 40 mm na precipitação média anual a cada 100 m de altitude (Roderjan 1994). As temperaturas tendem a diminuir entre 0,4 °C e 0,7 °C para cada 100 m de altitude em florestas tropicais (Walsh 1979) e 0,56 °C na Floresta Atlântica meridional (Roderjan 1994). A temperatura e a umidade apresentam uma relação inversa em função da altitude, ou seja, enquanto a temperatura tende a diminuir a pluviosidade aumenta nas altitudes superiores também (Rizzini 1997).

Um filtro ambiental que atua como um determinante primário é a temperatura, em gradientes montanhosos a menor diversidade de espécies em maiores altitudes está relacionada a sua capacidade de tolerar o frio, portanto restringisse a áreas quentes e baixas (Bassetto et al. 2024). Apesar da riqueza de indivíduos diminuir conforme a altitude aumenta, ocorre uma substituição na composição das espécies, ou seja, áreas elevadas apresentam grupos especializados e capazes de suportar as condições climáticas (Bassetto et al. 2024). Consequentemente, anuros de serapilheira da Floresta Atlântica variaram em densidade populacional em função da temperatura do ar (Santos-Pereira et al. 2011), umidade do ar (Oliveira et al. 2013) e altitude (Siqueira et al. 2014). Um grupo de anuros de serapilheira da Floresta Atlântica é o gênero *Brachycephalus* Fitzinger, 1826, que conta com 44 espécies (Bornschein et al. 2025; Nunes et al. 2025). Uma modelagem do nicho ecológico de *Brachycephalus* agregou as espécies do gênero em três clusters climáticos (Pie et al. 2013). Posteriormente, verificou-se que esses clusters coincidiam com três grupos fenéticos de espécies, denominados como *B. ephippium*, *B. didactylus* e *B. pernix* (Ribeiro et al. 2015; Pie et al. 2018a), os quais respondem diferentemente à altitude e à distribuição geográfica (Bornschein et al. 2016a). Espécies dos grupos *B. ephippium* e *B. pernix* são dependentes de grandes altitudes (“grupos montanos”), apesar de também serem encontrados em altitudes relativamente baixas, onde as condições microclimáticas são adequadas (Bornschein et al. 2016a). As 15 espécies do grupo *B. ephippium* (Bornschein et al. 2025) estão distribuídas latitudinalmente do Espírito Santo e Minas

Gerais ao sul de São Paulo e, altitudinalmente, de 200 a 1.900 m acima do nível do mar (a.n.m.; Bornschein et al. [2019a], [2025]). As 21 espécies do grupo *B. pernix* (Bornschein et al. 2025) ocorrem do sul de São Paulo à Santa Catarina e, altitudinalmente, de 20 a 1.880 m a.n.m., com os registros em maiores latitudes sendo gradualmente compensados climaticamente em baixas altitudes (Monteiro et al. 2018; Bornschein et al. 2019a). O grupo *B. didactylus* se verificou ser polifilético (e.g., Folly et al. 2022), razão pela qual passou a ser nomeado pelo nome comum das espécies que abriga, sapos-pulga (e.g., Toledo et al. 2024). Os sapos pulgas incluem oito espécies (Bornschein et al. 2025; Nunes et al. 2025), inclusive a com ocorrência mais setentrional do gênero, na Bahia (Condez et al. 2016; Bornschein et al. 2021a). Este grupo inclui espécies plásticas em relação à distribuição altitudinal (Bornschein et al. 2016a), ocorrendo desde o nível do mar até 1.220 m a.n.m. (Bornschein et al. 2019a; Nunes et al. 2025).

Restrições a ambientes mais frios foi sugerido como a razão pela qual os grupos montanos *B. pernix* e *B. ephippium* divergiram em muitas espécies (Bornschein et al. 2016a; Firkowski et al. 2016; Pie et al. 2018a). Um cenário biogeográfico decorrente da relação do gênero com o clima foi proposto (Bornschein et al. 2016a; Firkowski et al. 2016). Com um clima passado mais frio e seco do Quaternário (e.g., Baker & Fritz 2015), florestas de clima ameno ocorreriam em menores altitudes e, potencialmente, abrigavam populações de *Brachycephalus* mais amplamente distribuídas. À medida que o clima foi se tornando mais quente e úmido, essas florestas de clima ameno teriam se dispersado rumo às maiores altitudes, onde permaneceram estáveis (Pie et al. 2018b), isolando os *Brachycephalus* nos altos de montanhas e favorecendo a especiação alopátrica (Bornschein et al. 2016a; Firkowski et al. 2016), tal qual ilhas montanas (*sky islands*; McCormack et al. [2009]) ou em microrefúgios florestais montanos (Bornschein et al. 2025). Esse processo de dispersão de *Brachycephalus* rumo às maiores altitudes ainda se verifica no presente (Bornschein et al. 2025), com velocidade decadal talvez acelerada pela mudança climática.

Variações em densidade também foram detectadas em *Brachycephalus* ao longo do gradiente altitudinal (Bornschein et al. 2016b), talvez em função de variações no ótimo climático. Detectou-se um indivíduo de *B. albolineatus* a cada 3-4 m² no limite altitudinal superior de sua ocorrência e um indivíduo a cada 100 m² no seu limite altitudinal inferior de ocorrência (Bornschein et al. 2016b). Ainda se demonstrou que *Brachycephalus* de regiões menos úmidas da Floresta Atlântica apresentam uma camada calcificada na pele do dorso muito mais espessa, supostamente para proteger os indivíduos da perda de água por atrito com a serapilheira, indicando adaptações ao microclima (Mari et al. 2022). Os nichos climáticos dos *Brachycephalus* foram estudados (Pie et al. 2013; Rivadeneira et al. 2025). Se sobrepõem bastante e são muito influenciados pela umidade, que foi avaliada por presença de nuvens e índice de umidade (Rivadeneira et al. 2025). No entanto, essas análises apresentam sérios desafios em função da baixa resolução dos dados bioclimáticos disponíveis (Rivadeneira et al. 2025). Nesse sentido, destaca-se a inexistência de dados microclimáticos dos locais de ocorrência dos *Brachycephalus*, com exceção de *B. pernix* (Roderjan 1994).

A Floresta Atlântica costeira ocorre em unidades geológicas montanhosas de profunda variação topográfica e altimétrica (Bornschein et al. 2016a), que influenciam as chuvas, insolação, exposição ao vento, drenagem da água do solo, microclima e distribuição de tipos de vegetação (Velooso et al. 1991; Rizzini 1997; Almeida & Carneiro 1998). Essas variações afetam a distribuição e abundância de *Brachycephalus* nessa região (Bornschein et al. 2016a, b, 2019b, c; Ribeiro et al. 2017; Pie et al. 2013, 2018a; Rivadeneira et al. 2025). *Brachycephalus* podem ter limitada tolerância ao clima mais quente e seco, ao passo que é possível que montanhas na Floresta Atlântica apresentem períodos de redução de umidade (Mari et al. 2022). Isso destaca a vulnerabilidade das espécies à mudança climática (Bornschein et al. 2016a), a importância que o microclima pode ter para sua melhor conservação e o quanto ainda desconhecemos dessa variável no âmbito dos *Brachycephalus*. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é o de caracterizar o microclima de *B. tabuleiro* na mais austral das localidades de ocorrência de um representante deste gênero (Mângia et al. 2023).

Procedimento metodológico

Instalamos um sensor digital (*data logger* modelo Elitech GSP-8; Figura 1D) para a captação da umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) a cada meia hora, por um ano, entre 6 de abril de 2024 e 6 de abril de 2025, no aflgente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.; Figura 1B, C), Serra do Tabuleiro, município de São Bonifácio, Santa Catarina. Esta é a localidade tipo de *Brachycephalus tabuleiro* (Figura 1A; Mângia et al. [2023]), renomeada por Bornschein et al. (2025). O aparelho armazena registros de forma automática e contínua. A sua faixa de trabalho varia de -20 °C a 60 °C e de 1% a 100% de umidade relativa do ar. A temperatura tem uma precisão de 0,3 °C e a umidade relativa de 3%. A resolução é de 0,1 °C e 0,1% de umidade relativa do ar. Mantivemos o sensor do *data logger* a 20 cm sobre o solo e o aparelho, em si, prenderemos em uma estaca de madeira a 1 m sobre o sensor, embalado em filme plástico e dentro de recipiente plástico, recoberto por uma proteção circular de material plástico, de 30 cm de diâmetro, fixado na extremidade superior da estaca (Figura 1D). As baterias trocamos a cada quatro meses.

O *data logger* foi instalado em local composto por floresta atlântica de encosta, denominada de Floresta Ombrófila Densa Montana, mas na transição para a floresta de araucária, denominada de Floresta Ombrófila Mista Montana, segundo critérios de classificação da vegetação brasileiras do Projeto RADAMBRASIL (Veloso et al. 1991). A floresta de araucária, propriamente dita, já se acha presente a cerca de 500 m do *data logger*. A pluviosidade do local de estudo varia de 1.600-1.900 mm anuais e a média anual de temperatura varia de 14-16 °C (Alvares et al. 2013). O clima, segundo os critérios da classificação de Köppen, se caracteriza por uma zona subtropical úmida (C), com clima oceânico sem estação seca (Cf) e com verão temperado (Cfb; Alvares et al. [2013]).

Comparamos os dados obtidos com as variáveis bioclimáticas da base de dados climáticos globais, WorldClim (Fick & Hijmans 2017). Especificamente, comparamos com 11 variáveis bioclimáticas, relacionadas com temperatura e umidade: BIO1 - temperatura média anual; BIO2 – amplitude térmica diurna média (média anual das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas de cada mês); BIO3 - isothermalidade (razão entre a variação diurna [BIO2] e a amplitude anual [BIO7], multiplicada por 100); BIO4 - sazonalidade da temperatura (desvio-padrão das 12 temperaturas médias mensais, multiplicada por 1000); BIO5 - temperatura máxima do mês mais quente; BIO6 - temperatura mínima do mês mais frio; BIO7 - amplitude anual de temperatura (diferença entre a temperatura máxima do mês mais quente e a mínima do mês mais frio); BIO8 - temperatura média do trimestre mais úmido (média das temperaturas dos três meses com maior precipitação, calculada para o trimestre com maiores médias de umidade); BIO9 - temperatura média do trimestre mais seco (média das temperaturas dos três meses com menos precipitação acumulada, calculada para o trimestre com menores médias de umidade); BIO10 - temperatura média do trimestre mais quente (média das temperaturas dos três meses consecutivos com maior temperatura média); e BIO11 - temperatura média do trimestre mais frio (média das temperaturas dos três meses consecutivos com menor temperatura média).

Buscamos os dados da base WorldClim pela coordenada do ponto de instalação do *data logger*, baixando os dados de resolução mais detalhada (30 segundos de arco; c. 1 km²) pelo ambiente R v. 4.2.0 (R Core Team 2022). É necessário esclarecer a distinção terminológica para a variável bioclimática BIO2. O termo “diurna” pode ser referente a bioclimatologia, ou seja, a oscilação térmica do ciclo de 24 horas e a variação entre os extremos da temperatura e no uso biológico do termo, que diz respeito as horas do dia. Portanto, nesse trabalho, a BIO2 foi calculada a partir da média das amplitudes mensais, indicando a variação térmica que a espécie está inserida, independentemente da luz solar. As variáveis climáticas são apresentadas com média, intervalo $\pm$ desvio padrão.

Resultados

Obtivemos 17.522 aferições de temperatura e umidade relativa do ar, com média mensal de 1.460,2 aferições (1.344-1.488 $\pm$ 42,85 aferições; Tabela 1; material suplementar). Houve falha na obtenção de três aferições seguidas de cada variável, entre 12:00 e 13:00 de 22 de agosto de 2024 (dados não complementados). A temperatura média anual foi de 16,0 °C (-0,4-28,8 $\pm$ 4,46 °C; Tabela

1; Figura 2) e a umidade relativa do ar média anual foi de 91,4% ($36,4-100 \pm 8,69\%$; Tabela 1; Figura 2). O mês mais frio foi julho, com média de temperatura de 11,1 °C ($0,0-22,9 \pm 4,13$ °C; Tabela 1; Figura 2), média das temperaturas máximas diárias de 14,5 °C e média de temperaturas mínimas diárias de 7,9 °C (Tabela 2). A média de umidade relativa do ar em julho foi de 89,7% ($44,9-98,5 \pm 9,26\%$; Tabela 1; Figura 2). O mês mais quente foi fevereiro, com média de temperatura de 20,3 °C ($14,4-27,2 \pm 2,12$ °C; Tabela 1; Figura 2), média das temperaturas máximas diárias de 23,2 °C e média de temperaturas mínimas diárias de 18,1 °C (Tabela 2). A média de umidade relativa do ar em fevereiro foi de 95,6% ($72,5-100 \pm 2,87\%$; Tabela 1; Figura 2). Junho, julho e agosto foi o trimestre contínuo mais frio, com média de temperatura de 13,0 °C ($-0,4-27,8 \pm 5,11$ °C); nesse trimestre, a umidade relativa do ar média foi de 86,7% ($37,1-99,4 \pm 11,09\%$). Janeiro, fevereiro e março foi o trimestre mais quente, com média de temperatura de 19,0 °C ($10,9-27,2 \pm 2,61$ °C); nesse trimestre, a umidade relativa do ar média foi de 95,6% ($72,5-100 \pm 2,87\%$).

O mês mais úmido foi janeiro, com umidade relativa do ar média de 96,6% ($86,8-100 \pm 1,86\%$; Tabela 1; Figura 2), média das umidades máximas diárias de 98,0% e média das umidades mínimas diárias de 94,1% (Tabela 2). O mês mais seco foi agosto, com umidade relativa do ar média de 84,6% ($37,1-99,4 \pm 13,68\%$; Tabela 1; Figura 2), média das umidades máximas diárias de 94,5% e média das umidades mínimas diárias de 68,2% (Tabela 2). Janeiro, fevereiro e março foi o trimestre contínuo mais úmido, com umidade relativa do ar média de 95,6% ($72,5-100 \pm 2,87\%$). Agosto, setembro e outubro foi o trimestre contínuo mais seco, com umidade, com umidade relativa do ar média de 86,5% ($36,4-94,4 \pm 11,86\%$).

Ocorreram nove aferições com temperatura negativa, sendo sete delas em junho e duas em agosto (Tabela 1; Figura 3). No dia 30 de junho, as temperaturas negativas ocorreram no fim da madrugada e começo da manhã, começando com três temperaturas negativas de -0,4 °C feitos sequencialmente às 5:00 (Umidade Relativa: 92,4%), às 5:30 (UR: 92,6%) e às 6:00 (UR: 92,8%). Em seguida às 6:30, a temperatura foi de -0,2 °C (UR: 91,9%); às 7:30, foi de -0,3 °C (UR: 92,6%); às 8:00, foi de -0,2 °C (UR: 93,0%) e às 8:30, por fim, a temperatura alcançou -0,1 °C (UR: 93,0%). Os dois últimos registros de temperatura negativa foram no dia 26 de agosto de 2024, durante a madrugada: às 3:42 a temperatura foi de -0,2 °C (UR: 95,9%) e a última foi às 4:12, com temperatura de -0,1 °C (UR: 95,9%). Também ocorreram seis aferições de temperatura de 0 °C, das quais uma em junho, três em julho e duas em agosto de 2024 (Tabela 1; Figura 3). A temperatura mais alta foi atingida à 16:10 de 8 de setembro de 2024, ocasião em que a umidade relativa do ar foi de 49,3%. A faixa térmica entre 17-19 °C foi a mais frequente, com 3.765 aferições, seguido da faixa térmica entre 15-17 °C, com 3.318 aferições, e entre 19-21 °C, com 2.780 aferições (Figura 3).

Ocorreram 133 aferições com a umidade relativa do ar igual a 100%, 1.033 aferições com umidade relativa do ar $\geq 99\%$ e 1.336 aferições com a umidade relativa do ar igual $\geq 95\%$ (Tabela 1; Figura 4). A maior quantidade de aferições contínuas com umidade relativa do ar $\geq 99\%$ ocorreram entre 10 de abril, a partir das 16:00, e 13 de abril de 2024, até às 20:30. A faixa de umidade relativa do ar entre 91-96% foi a mais frequente, com 8.413 aferições, o que equivale a 48,01% de todas as aferições de umidade relativa do ar (Figura 4). Ocorreram 85 aferições com umidade relativa do ar menor do que 50%, entre julho e setembro de 2024 (Tabela 1). A maior quantidade de aferições contínuas com umidade relativa do ar menor do que 50% ocorreram em 11 de setembro de 2024, das 13:30 até às 20:00.

Comparando as variáveis bioclimáticas com os dados obtidos em campo, observa-se valores semelhantes e outros muito distintos (Tabela 3). A temperatura média anual (BIO1), temperatura média do trimestre mais úmido (BIO8), temperatura média do trimestre mais quente (BIO10) e temperatura média do trimestre mais frio (BIO11) são semelhantes com os valores de campo (Tabela 3). Os demais valores das variáveis bioclimáticas diferem bastante dos obtidos em campo (Tabela 3), com destaque à amplitude diurna média (BIO2), que foi de 8,8 °C pela base WorldClim e 19,3 °C pelos dados de campo.

Discussão

Os procedimentos adotados permitiram a obtenção de dados microclimáticos da área de ocorrência de *B. tabuleiro* com uma insignificante quantidade de dados faltantes, constituindo-se na segunda localidade de ocorrência de um *Brachycephalus* caracterizada quanto ao microclima. A umidade relativa do ar média verificada (91,4%) é similar à de outras localidades com floresta montana no globo e sugere a presença constante de neblina (Roderjan, 1994; Gradstein et al. 2008). Entretanto, a constatação de umidade relativa do ar abaixo de 50% indica uma vulnerabilidade dos indivíduos frente ao ambiente, pois a frequência desses eventos é limitante para anfíbios sensíveis à dessecação (Rapp & Silman 2012), como os *Brachycephalus* (Toledo & Jared 1993; Mari et al. 2022; Rivadeneira et al. 2025). Também pode ser uma ameaça à sobrevivência de indivíduos quedas acentuadas de umidade relativa do ar, como a que foi verificada no mês de setembro, quando caiu abruptamente de tanto para 36,4%. Essa vulnerabilidade frente ao estresse pela baixa umidade pode implicar na morte de indivíduos por dessecação (Duellman & Trueb 1994) ou comprometer severamente seu balanço hídrico, limitando o tempo de atividade e forrageio (Titon et al. 2010).

Em áreas de ocorrência de *B. ephippium* na Serra do Japi, São Paulo, detectaram-se valores de umidade relativa do ar variando entre 81,4% e 89,2% (Neto 2013). Em outro estudo na mesma região (Santos 2015), detectaram-se valores de umidade relativa do ar variando entre 76,5% e 100%. As divergências entre os valores absolutos obtidos no presente estudo e os citados para *B. ephippium* podem ser atribuídas a distinções metodológicas, como o tipo de sensor utilizado ou sua posição em relação ao solo (microtopografia), o que limita comparações plenas, mas confirma a dependência do grupo a ambientes higrofilos.

Na área de ocorrência de *B. pernix*, no Morro Anhangava (PR), a umidade relativa do ar permanece constantemente saturada, chegando a manter-se em 100% por vários dias consecutivos (Roderjan 1994). A temperatura máxima registrada na área de ocorrência de *B. tabuleiro* (28,8 °C) foi inferior à máxima absoluta registrada onde ocorre *B. pernix*, de 30,0 °C (Roderjan 1994). Por outro lado, a temperatura mínima aferida para *B. tabuleiro* é menos extrema do que a mínima absoluta constatada no habitat de *B. pernix*, que atingiu -5,0 °C (Roderjan 1994). Essas diferenças nos extremos térmicos podem ser explicadas pela divergência metodológica e pela compensação altitudinal. No caso, da metodologia, para o microclima do *B. pernix*, foi usado equipamentos termógrafos instalados em abrigos meteorológicos a cerca de 1,5m do solo; nessa altura fica mais suscetível a perda de calor e circulação de ar. Entretanto, o presente trabalho monitorou o microclima próximo ao solo, que retém o calor e o perde lentamente, resultando em mínimas menos extremas do que a encontrada para o *B. pernix*. Geograficamente, existe uma compensação altitudinal entre as duas localizações: embora o Morro Anhangava esteja em latitude menor que a Serra do Tabuleiro, ele possui uma altitude significativamente maior. Então, a maior altitude do Morro Anhangava justifica a presença de temperaturas mínimas rigorosas (Roderjan 1994).

Para conseguir se adaptar a lugares com temperaturas negativas, algumas adaptações fisiológicas são necessárias para não sofrer com o congelamento como a tolerância ao congelamento extracelular ou o acúmulo de crioprotetores (Storey & Storey 1988). Para os indivíduos do gênero *Brachycephalus*, uma maneira de se proteger é se afundar na serapilheira, assim é uma forma de refugiar nas camadas mais espessas e fugir da ameaça de clima. As diferenças entre as variáveis bioclimáticas da base WorldClim (Fick & Hijmans 2017) com os dados obtidos em campo confirmam Rivadeneira et al. (2025) quanto a haver baixa resolução dos dados bioclimáticos disponíveis. Há que se considerar, todavia, que a nossa base de dados se limita a apenas um ano. Com mais tempo de estudo, aferições extremas capturadas poderiam afastar a realidade microclimática da macroclimática, mas, em oposição, aferições mais concentradas poderiam aproximar as médias de variáveis entre as duas realidades, por exemplo. No geral, os dados de campo indicaram haver mais extremos térmicos do que indicado pelo macroclima regional de Fick & Hijmans (2017). Por exemplo, a amplitude diurna média de temperatura é muito maior em campo do que nos dados da base WorldClim (19,3 °C contra 8,8 °C, respectivamente; Tabela 3), assim como também o é a amplitude anual de temperatura (27,2 °C contra 17,0 °C, respectivamente; Tabela 3). Por consequência dessas diferenças, também

diferiu bastante a isothermalidade e sazonalidade da temperatura entre dados do campo e da base WorldClim (Tabela 3).

O modelo global de dados, (WorldClim) apesar de preciso com a estimativa de médias térmicas acumulativas e gerais, apresenta uma diferença quanto à realidade biológica local (Rivadeneira et al. 2025). Portanto, ele falha em capturar a capacidade de eventos extremos e a dinâmica temporal em curto período que são determinantes para o desempenho fisiológico. Uma das maiores divergências é a incapacidade do WorldClim de mapear os limites térmicos impostos pelo ambiente complexo (Trew et al. 2024). O modelo detecta um inverno mais seguro com mínimas de 7,1 °C, mas os sensores captam um ponto crítico de temperaturas iguais ou menores que 0,0 °C, essa documentação pode colocar o *B. tabuleiro* em uma zona de desconforto. Além de subestimar o frio, o WorldClim não consegue identificar como um dia sofre instabilidade. A BIO2 registrada em campo, foi mais que o dobro prevista do modelo global, com 19,3 °C e 8,8 °C, respectivamente, indicando um ambiente com uma variação térmica enorme e expressiva, em que em poucas horas podem ocorrer mudanças bruscas de temperatura (Rapp & Silman 2012). A variação de temperaturas extremas, resulta em uma amplitude anual de quase 27,2 °C (BIO7). Agora, a sazonalidade (BIO4), muito mais marcada do que a prevista pelo WorldClim. Consequentemente, o uso exclusivo de dados dos modelos climáticos acaba subestimando os riscos ambientais e a complexidade adaptativa exigida das espécies (; Mari et al. 2022). Os *Brachycephalus* são em grande parte ameaçados (Bornschein et al. 2019), são dependentes de umidade (Rivadeneira et al. 2025) e os ambientes montanhosos onde ocorrem podem ser mais propensos à dessecação por baixa umidade do que se imagina (Mari et al. 2022). Isso torna as espécies do gênero altamente vulneráveis às mudanças microclimáticas que se espera ocorrer pela mudança climática ao longo do gradiente altitudinal de suas áreas de ocorrência (Bornschein et al. 2016a, 2025), incluindo *B. tabuleiro*. Pesquisas futuras com um grupo controle para avaliar a extensão do microclima e entender a tolerância da espécie, monitorando áreas abertas adjacentes pode ser de grande interesse.

Conclusões

O trabalho por fim demonstrou que o *Brachycephalus tabuleiro* ocorre em um ambiente extremamente úmido onde se formam geadas e ocorrem baixos valores de umidade relativa do ar. A fragmentação do ambiente pode sujeitar a espécie a valores ainda mais extremos de temperatura e umidade, colocando em possível risco futuro de extinção. Neste sentido, ampliar a amostragem microclimática para um período maior de anos e que considere o interior e borda do fragmento onde ocorre é recomendável.

Dados de temperatura interpolados da base WorldClim se mostraram, em parte, distantes da realidade aferida em campo, subestimando extremos, especialmente as temperaturas mínimas. Os dados obtidos podem ser incorporados em bases mundiais, contribuindo para a constante melhora na qualidade de produtos que disponibilizam. Eles também podem iniciar a coletânea de dados microclimáticos para uma avaliação dos riscos à conservação dos *Brachycephalus* frente à mudança climática. Para futuros trabalhos, detalhar o micro-habitat efetivo da espécie, medindo a temperatura da serapilheira por meio de equipamentos colocados sobre a camada, e dessa forma capturar especificamente a temperatura experimentada pela espécie. Além da temperatura, dados de umidade da própria serapilheira e do ar podem ser consideradas, permitindo uma análise mais precisa do micro-habitat.

Agradecimentos

Luiz F. Ribeiro disponibilizou a fotografia do *Brachycephalus tabuleiro*. Milena Wachlevski informou detalhes em como encontrar a localidade de ocorrência dessa espécie. Lucas Bovo Nunes de Pinho, Gabriel Silveira Prado Alves e Luiz F. Ribeiro auxiliaram nos trabalhos de campo. Lucas B.N. de Pinho ainda auxiliou no armazenamento dos dados de campo.

Referências bibliográficas

- Almeida, F.F.M. de & Carneiro C. dal R. (1998) Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências* 28(2): 135–150.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711–728.
- Baker, P.A. & Fritz, S.C. (2015) Nature and causes of Quaternary climate variation of tropical South America. *Quaternary Science Reviews* 124: 31–47.
- Bassetto, K., Carvalho-Rocha, V., Peres, C.A. & Neckel-Oliveira, S. (2024) Drivers of anuran assemblage structure in a subtropical montane region. *Ecology and Evolution* 14: e70624.
- Bornschein, M.R., Firkowski, C.R., Belmonte-Lopes, R., Corrêa, L., Ribeiro, L.F., Morato, S.A.A., Antoniazzi-Jr., R.L., Reinert, B.L., Meyer, A.S.L., Cini, F.A. & Pie, M.R. (2016a) Geographic and altitudinal distribution of *Brachycephalus* Fitzinger (Anura: Brachycephalidae) endemic to the Brazilian Atlantic Rainforest. *PeerJ* 4: e2490.
- Bornschein, M.R., Pie, M.R. & Teixeira, L. (2019a) Conservation status of *Brachycephalus* toadlets (Anura: Brachycephalidae) from the Brazilian Atlantic Rainforest. *Diversity* 11(9): 1–29.
- Bornschein, M.R., Pie, M.R., Nadaline Jr., Confetti, A.E., Blackburn, D.C., Stanley, E.L., Mari, R. de B., Alves, G.S., Sandretti-Silva, G., Lima, F.F. de A. & Ribeiro, L.F. (2025) A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from Serra do Quiriri, northeastern Santa Catarina state, southern Brazil, with a review of the diagnosis among species of the *B. pernix* group and proposed conservation measures. *PLoS One* 20(12): e0334746.
- Bornschein, M.R., Ribeiro, L.F., Blackburn, D.C., Stanley, E.L. & Pie, M.R. (2016b) A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from Santa Catarina, southern Brazil. *PeerJ* 4: e2629.
- Bornschein, M.R., Ribeiro, L.F., Teixeira, L., Belmonte-Lopes, R., Moraes, L.A. de, Corrêa, L., Maurício, G.N., Nadaline, J. & Pie, M.R. (2021) A review of the diagnosis and geographical distribution of the recently described flea toad *Brachycephalus sulfuratus* in relation to *B. hermogenesi* (Anura: Brachycephalidae). *PeerJ* 9: e10983.
- Bornschein, M.R., Ribeiro, L.F., Teixeira, L. & Pie, M.R. (2019c) New altitudinal record for *Brachycephalus actaeus* Monteiro, Condez, Garcia, Comitti, Amaral & Haddad, 2018 (Anura, Brachycephalidae), with comments on its habitats of occurrence. *Check List* 15(6): 1031–1036.
- Bornschein, M.R., Teixeira, L. & Ribeiro, L.F. (2019b) New record of *Brachycephalus fuscolineatus* Pie, Bornschein, Firkowski, Belmonte-Lopes & Ribeiro, 2015 (Anura, Brachycephalidae) from Santa Catarina state, Brazil. *Check List* 15(3): 379–385.
- Condez, T.H., Monteiro, J.P.C., Comitti, E.J., Garcia, P.C.A., Amaral, I.B. & Haddad, C.F.B. (2016) A new species of flea-toad (Anura: Brachycephalidae) from southern Atlantic Forest, Brazil. *Zootaxa* 4083(1): 40–56.
- de Brito-Gitirana, L. & Azevedo, R.A. (2005) Morphology of *Bufo ictericus* integument (Amphibia, Bufonidae). *Micron* 36: 532–538.
- Duellman, W.R. & Trueb, L. (1994) *Biology of amphibians* (2nd Edition). Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302–4315.
- Firkowski, C.R., Bornschein, M.R., Ribeiro, L.F. & Pie, M.R. (2016) Species delimitation phylogeny and evolutionary demography of co-distributed, montane frogs in the Southern Brazilian Atlantic Forest. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 100: 345–360.
- Folly, M., Vrcibradic, D., Siqueira, C.C., Rocha, C.F.D. da, Machado, A.S., Lopes, R.T. & Pombal Jr., J.P. (2022) A new species of *Brachycephalus* (Anura, Brachycephalidae) from a montane Atlantic rainforest of southeastern Brazil, with a reappraisal of the species groups in the genus. *Ichthyology & Herpetology* 110: 585–601.
- Gradstein, S.R., Homeier, J. & Gansert, D. (Eds.) (2008) *The tropical mountain forest: patterns and processes in a biodiversity hotspot*. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen.

- Mângia, S., Santana, D.J., Drummond, L. de O., Sabagh, L.T., Ugioni, L., Nogueira-Costa, P. & Wachlevski, M. (2023) A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from Serra do Tabuleiro, southern Brazil. *Vertebrate Zoology* 73: 575–597.
- Mari, R. de B., Mori, G.M., Vannucchi, F.S., Ribeiro, L.F., Correa, C.N., Lima, S.K.S. de, Nadaline, J., Teixeira, L., Sandretti-Silva, G. & Bornschein, M.R. (2022) Relationships of mineralized dermal layer of mountain endemic miniature frogs with climate. *Journal of Zoology* 318(1): 34–46.
- McCormack, J.E., Huang, H. & Knowles, L.L. (2009) Sky islands (pp. 839–843). In: R.G. Gillespie & D. Clague (Eds.). *Encyclopedia of islands*. University of California Press, Berkeley.
- Monteiro, J. P. de C., Condez, T.H., Garcia, P.C. de A., Comitti, E.J., Amaral, I.B. & Haddad, C.F.B. (2018) A new species of *Brachycephalus* (Anura, Brachycephalidae) from the coast of Santa Catarina State, southern Atlantic Forest, Brazil. *Zootaxa* 4407(4): 483–505.
- Neto, F. C. (2013) A influência de variáveis ambientais na distribuição e abundância de *Brachycephalus ephippium* na Serra do Japi, Jundiá, São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro.
- Nunes, I., Lyra, M.L., Machado, T.M., Carrasco-Medina, A.S., Andrade, F.S. de, Haga, I.A., Botelho, L.M., Pedrozo, M., Velasco, I.G., Jacinavicius, F.C., Gray, J.A., Blackburn, D.C., Kohlsdorf, T., Muscat, E. & Toledo, L.F. (2025) A new species of flea-toad of the genus *Brachycephalus* Fitzinger, 1826 (Anura: Brachycephalidae) from the cloud forests of Serra do Mar, southeastern Brazil. *Zootaxa* 5691(2): 231–256. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5691.2.3>
- Oliveira, J.C.F., Pralon, E., Coco, L., Pagotto, R.V. & Rocha, C.F.D. (2013) Environmental humidity and leaf-litter depth affecting ecological parameters of a leaf-litter frog community in an Atlantic Rainforest area. *Journal of Natural History* 47(31–32): 2115–2124.
- Pie, M.R., Meyer, A.L.S., Firkowski, C.R., Ribeiro, L.F. & Bornschein, M.R. (2013) Understanding the mechanisms underlying the distribution of microendemic montane frogs (*Brachycephalus* spp., Terrarana: Brachycephalidae) in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Ecological Modelling* 250(10): 165–176.
- Pie, M.R., Ribeiro, L.F., Confetti, A.E., Nadaline, M.J. & Bornschein, M.R. (2018a) A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. *PeerJ* 6 e5683.
- Pie, M.R., Faircloth B.C., Ribeiro, L.F., Bornschein, M.R. & McCormack, J.E. (2018b) Phylogenomics of montane frogs of the Brazilian Atlantic Forest is consistent with isolation in sky islands followed by climatic stability. *Biological Journal of the Linnean Society* 125: 725–82.
- R Core Team (2022) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
- Rapp, J. M. & Silman, M. R. (2012) Diurnal, seasonal, and altitudinal trends in microclimate across a tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 21(10): 2627–2650.
- Ribeiro, L.F., Bornschein, M.R., Belmonte-Lopes, R., Firkowski, C.R., Morato, S.A.A. & Pie, M.R. (2015) Seven new microendemic species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. *PeerJ* 3: e1011.
- Ribeiro, L.F., Blackburn, D.C., Stanley, E.L., Pie, M.R. & Bornschein, M.R. (2017) Two new species of the *Brachycephalus pernix* group (Anura: Brachycephalidae) from the state of Paraná, southern Brazil. *PeerJ* 5: e3603
- Rivadeneira, C.D., Meyer, A.S., Bornschein, M.R., Ribeiro, L.F. & Pie, M.R. (2025) Ecological niche modeling of microendemic species: Understanding the distribution of montane frogs in the southern Brazilian Atlantic Forest. *Austral Ecology* 50(7): e70085.
- Rizzini, C.T. (1997) *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos* (2nd Edition). Âmbito Cultural Edições Ltda, Rio de Janeiro.
- Roderjan, C.V. (1994) O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR - Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Santos, J. C. (2015) Uso de hábitat e período de atividade do sapinho botão de ouro *Brachycephalus ephippium*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Diadema.

- Santos-Pereira, M., Candaten, A., Milani, D., Oliveira, F.B., Gardelin, J. & Rocha, C.F.D. (2011) Seasonal variation in the leaf-litter frog community (Amphibia: Anura) from an Atlantic Forest Area in the Salto Morato Natural Reserve, southern Brazil. *Zoologia* 28(6): 755–761.
- Schoch, R.R. (2009) Evolution of life cycles in early amphibians. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 37(1): 135–162.
- Siqueira, C.C., Vrcibradic, D., Nogueira-Costa, P., Martins, A.R., Dantas, L., Gomes, V.L.R., Bergallo, H.G. & Rocha, C.F.D. (2014) Environmental parameters affecting the structure of leaf-litter frog (Amphibia: Anura) communities in tropical forests: A case study from an Atlantic Rainforest area in southeastern Brazil. *Zoologia* 31(2): 147–152.
- Storey, K. B. & Storey, J. M. (1988) Freeze tolerance in animals. *Physiological Reviews* 68(1): 27–84.
- Toledo, L.F., Botelho, L.M., Carrasco-Medina, A.S., Gray, J.A., Ernetti, J.R., Gama, J.M., Lyra, M.L., Blackburn, D.C., Nunes, I. & Muscat, E. (2024) Among the world's smallest vertebrates: a new miniaturized flea-toad (Brachycephalidae) from the Atlantic rainforest. *PeerJ* 12: e18265.
- Toledo, R.C. & Jared, C. (1993a) Cutaneous adaptations to water balance in amphibians. *Comparative Biochemistry and Physiology* 105(4): 593–608.
- Titon Jr, B. & Gomes, F.R. (2017) Associations of water balance and thermal sensitivity of toads with macroclimatic characteristics of geographical distribution. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 208: 54–60.
- Trew, B.T., Edwards, D.P., Lees, A.C., Klinges, D.H., Early, R., Svátek, M., Plichta, R., Matula, R., Okello, J., Niessner, A. et al. (2024) Novel temperatures are already widespread beneath the world's tropical forest canopies. *Nature Climate Change* 14: 1–10.
- Veloso, H.P., Rangel-Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. (1991) *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Walsh, R.P.D. (1979) Climate (pp. 159–205). In: P.W. Richards (Eds.). *The Tropical Rain Forest*. Cambridge University Press, Cambridge.

Material suplementar



Dados%20temperatura%20e%20umidade%

Tabela 1. Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) média entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no único local de ocorrência de *Brachycephalus tabuleiro*, afluyente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina. Os dados são apresentados com média, intervalo $\pm$ desvio padrão.

Variável / Descritor	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Temperatura	17,2 (8,2-24,3 $\pm$ 3,01)	14,7 (4,4-25,0 $\pm$ 4,87)	14,7 (-0,4-24,1 $\pm$ 4,48)	11,1 (0,0-22,9 $\pm$ 4,13)	13,2 (-0,2-27,8 $\pm$ 5,89)	15,9 (2,7-28,8 $\pm$ 4,86)	15,4 (6,5-26,4 $\pm$ 3,24)	16,6 (6,1-26,1 $\pm$ 2,98)	16,5 (11,8-24,0 $\pm$ 2,38)	18,1 (12,1-25,3 $\pm$ 2,43)	20,3 (14,4-27,2 $\pm$ 2,12)	18,6 (10,9-26,1 $\pm$ 2,71)
N de aferições com temperatura < 0,0 °C	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0
N de aferições com temperatura = 0,0 °C	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0
Umidade	95,8 (71,2-100 $\pm$ 4,17)	91,3 (60,1-99,4 $\pm$ 6,68)	85,8 (57,0-95,3 $\pm$ 9,02)	89,7 (44,9-98,5 $\pm$ 9,26)	84,6 (37,1-99,4 $\pm$ 13,68)	86,0 (36,4-98,9 $\pm$ 13,47)	89,0 (55,5-97,5 $\pm$ 6,70)	94,1 (69,2-100 $\pm$ 5,22)	93,9 (75,1-98,4 $\pm$ 3,04)	96,6 (86,8-100 $\pm$ 1,86)	95,6 (72,5-100 $\pm$ 2,87)	94,8 (76,1-100 $\pm$ 3,38)
N de aferições com umidade = 100%	104	0	0	0	0	0	0	17	0	133	95	1
N de aferições com umidade $\geq$ 99%	357	54	0	0	54	0	0	199	0	202	146	21
N de aferições com umidade $\geq$ 95%	960	558	38	379	362	436	254	692	775	1359	1035	1111
N de aferições com umidade < 50%	0	0	0	2	42	42	0	0	0	0	0	0
N de aferições	1.441	1.488	1.440	1.488	1.485	1.440	1.488	1.444	1.488	1.488	1.344	1488

Tabela 2. Valores médios mensais de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no único local de ocorrência de *Brachycephalus tabuleiro*, afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina.

Variável	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Média das médias
Média das temperaturas máximas diárias (T _{máx})	19,7	17,5	18,2	14,5	17,8	20,5	19	19,5	19,3	20,9	23,2	21,9
Média das temperaturas mínimas diárias (T _{mín})	14,7	11,8	11,5	7,9	9,3	11,9	12,6	14,2	14,2	15,9	18,1	16,2
Média da variação diária de temperatura (T _{máx} – T _{mín})	5,1	5,7	6,7	6,5	8,5	8,6	6,3	5,2	5,1	5,0	5,1	5,6
Média das umidades relativas do ar máximas diárias (UR _{máx})	98,1	94,8	91,6	94,4	94,5	95,4	93,3	97,0	95,8	98,0	97,2	96,6
Média das umidades relativas do ar mínimas diárias (UR _{mín})	90,8	84,6	76,5	80,9	68,2	71,6	79,8	88,7	90,2	94,1	91,8	90,0
Média da variação diária de umidade relativa do ar (UR _{máx} – UR _{mín})	7,4	10,2	15,1	13,5	26,3	23,8	13,5	8,3	5,6	3,9	5,4	6,6

Tabela 3. Variáveis bioclimáticas relacionadas à temperatura da base de dados WorldClim (Fick & Hijmans 2017) em comparação com dados obtidos entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina.

Variável	WorldClim	Campo
BIO1 - Temperatura média anual (°C)	15,7	16,0
BIO2 - Amplitude diurna média (média da diferença entre temperatura máxima e mínima) (°C)	8,8	19,3
BIO3 – Isotermalidade ((BIO2/BIO7) x 100) (%)	51,8	70,9
BIO4 - Sazonalidade da temperatura (desvio padrão x 100)	296,3	446,3
BIO5 - Temperatura máxima do mês mais quente (°C)	24,1	27,2
BIO6 - Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	7,1	0,0
BIO7 - Amplitude anual de temperatura (BIO5 – BIO6)	17,0	27,2
BIO8 - Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	19,5	19,0
BIO9 - Temperatura média do trimestre mais seco (°C)	12,7	14,8
BIO10 - Temperatura média do trimestre mais quente (°C)	19,5	19,0
BIO11 - Temperatura média do trimestre mais frio (°C)	12,2	13,0



Figura 1. Região de estudo, afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina, e espécie alvo, *Brachycephalus tabuleiro*. A. Indivíduo de *B. tabuleiro*. B. Vista da margem direita do rio do Ponche no local de instalação do *data logger*, composta por Floresta Ombrófila Densa Montana. C. Interior da floresta com ocorrência de *B. tabuleiro*. D. *Data logger* instalado para aferição de temperatura e umidade relativa do ar.

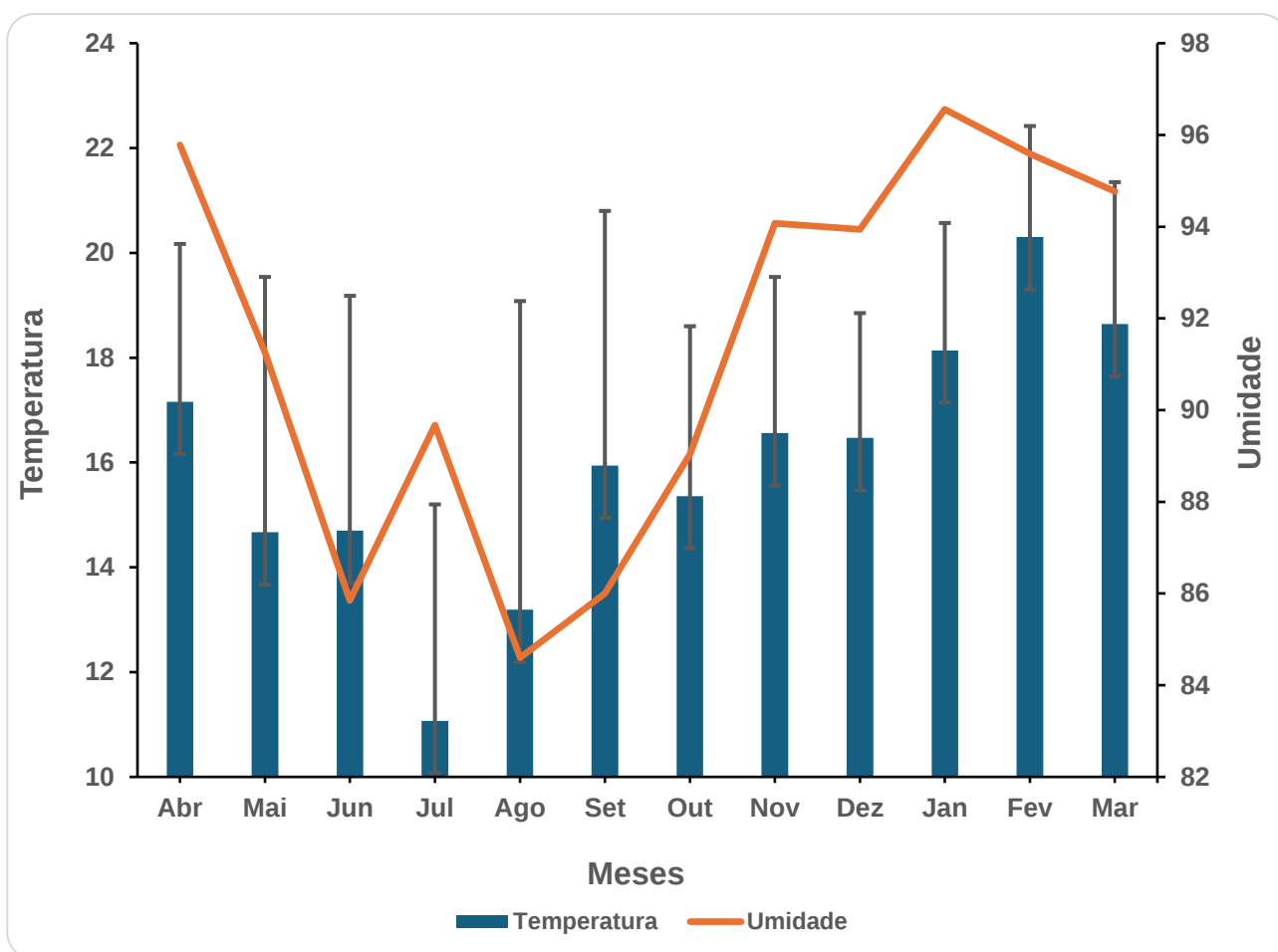


Figura 2. Médias mensais de temperatura (°C) e umidade (%) entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina, único local de ocorrência de *Brachycephalus tabuleiro*. Os dados de temperatura são apresentados com o desvio padrão.

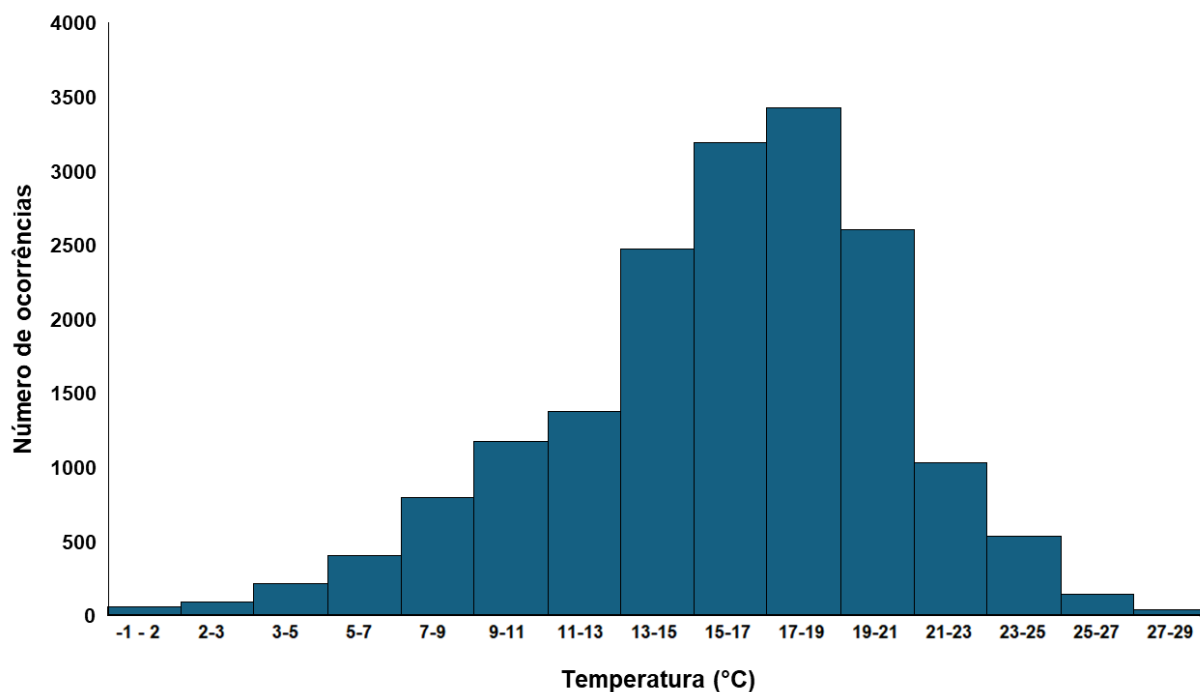


Figura 3. Classes de temperatura (°C) aferidas entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina, único local de ocorrência de *Brachycephalus tabuleiro*.

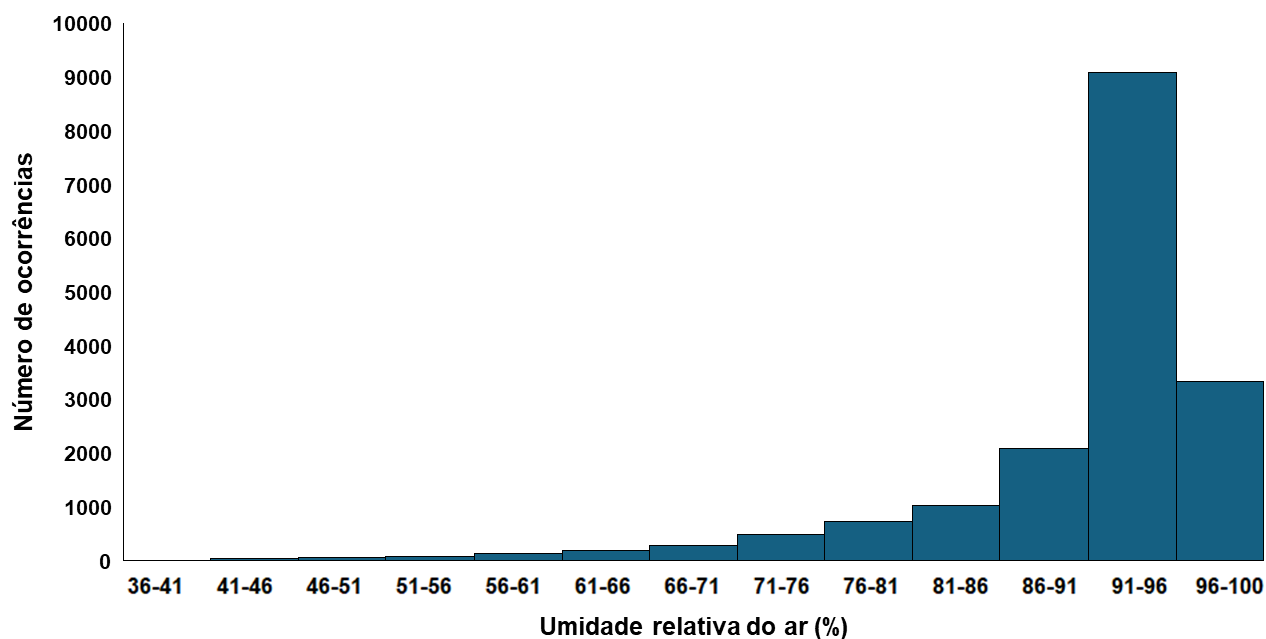


Figura 4. Classes de umidade relativa do ar (%) aferidas entre 06 de abril de 2024 e 06 de abril de 2025 no afluente da margem direita do rio do Ponche (27°54'02"S, 48°53'07"W; 890 m a.n.m.), município de São Bonifácio, Santa Catarina, único local de ocorrência de *Brachycephalus tabuleiro*.

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: LARA GOSALBEZ PIERONI

Título: "Microclima do mais austral dos Brachycephalus (Anura, Brachycephalidae), um microendemismo de altitude da Serra do Tabuleira, Santa Catarina, sul do Brasil"

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ricardo Bornschein

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Marcos Ricardo Bornschein	APROVADO
Dr. Luiz Fernando Ribeiro	APROVADO

PARECER:

APROVADO SEM NECESSIDADE DE ALTERAÇÕES

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Lara Gosalbez Pieroni** obteve o seguinte conceito:



APROVADO



REPROVADO

São Vicente, 12 de dezembro de 2025.



Prof. Dr. Marcos Ricardo Bornschein



Dr. Luiz Fernando Ribeiro