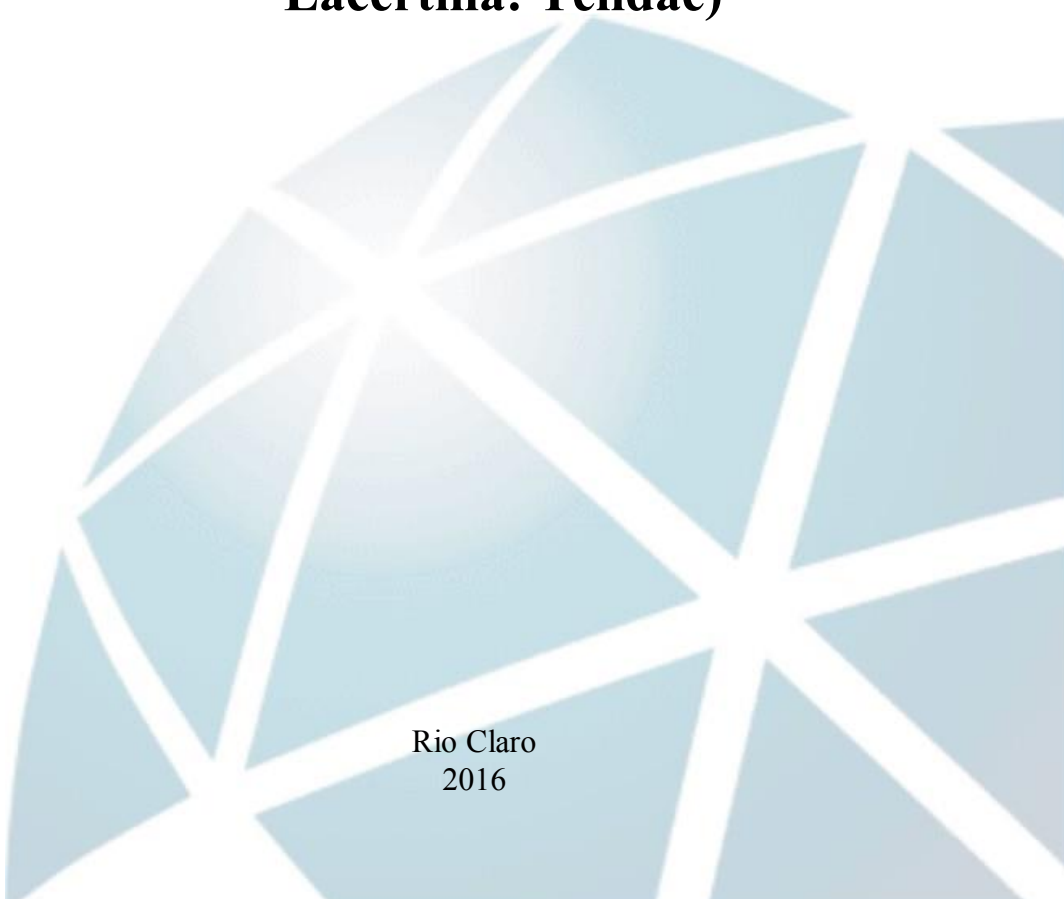

Ciências Biológicas

Marina Elisa de Oliveira

**Influência da temperatura corpórea na
frequência cardíaca do teiú, *Salvator merianae*,
em estivação e em atividade (Squamata:
Lacertilia: Teiidae)**



Rio Claro
2016

Marina Elisa de Oliveira

Influência da temperatura corpórea na frequência cardíaca do teiú, *Salvator merianae*, em estivação e em atividade (Squamata: Lacertilia: Teiidae)

Orientador: Dr. Augusto Shinya Abe

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio Claro, para obtenção dos graus de bacharela e licenciada em Ciências Biológicas.

Rio Claro
2016

598.1 Oliveira, Marina Elisa de
O48i Influência da temperatura corpórea na frequência cardíaca do teiú,
Salvator merianae, em estivação e em atividade (Squamata: Lacertilia:
Teiidae) / Marina Elisa de Oliveira. - Rio Claro, 2016
26 f. : il., figs., gráfs.

Trabalho de conclusão de curso (Ciências Biológicas) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Augusto Shinya Abe

1. Réptil. 2. Sensibilidade térmica. 3. Dormência. 4. Depressão
metabólica. 5. Coeficiente de temperatura. I. Título.

Agradecimentos

Os meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, me apoiaram e impulsionaram a estar um passo mais perto de seguir a carreira pela qual me apaixonei. Primeiramente à minha família que sempre me apoiou nas decisões que tomei e meu deu um caminho seguro para trilhar. Segundo à minha outra família, a que a UNESP me deu ao longo dos últimos anos. São muitas pessoas iluminadas que cruzam nosso caminho durante os anos e que valem a pena serem lembradas no momento da conquista de um sonho. Em especial as minhas queridas Julianas, companheiras de república; os meus irmãos de outras mães: as duas Isabelas e Moreno; as minhas raposas amadas Gabriela, Giovanna, Natasha e Júlia; os amigos da melhor (ou pior) turma, o CBI 2010: Natália, Júlia, Vanessa e Luiza; toda a bateria Porcaria com todo seu samba e carinho do último ano e todos os amigos (tantos!) do curso de Geografia. Obrigada pela companhia nas madrugadas de estudo ou de festa, eventos “esportivos”, momentos de crise existencial ou de risada descontrolada e os que ainda estão por vir (e que não serão poucos!).

RESUMO

Os répteis são animais ectotérmicos e dependem de fonte de calor ambiental para regular a temperatura corpórea (T_b). O aumento ou diminuição da T_b causam variações na taxa metabólica e são acompanhadas por ajustes da frequência cardíaca (f_H), para suprir a demanda de oxigênio. As espécies que vivem em habitats sazonais estão sujeitas a variações na T_b e, conseqüentemente, no metabolismo. O lagarto teiú (*Salvator merianae*), de ampla distribuição-na América do Sul apresenta atividade sazonal, caracterizada por uma estação de atividade (agosto a abril) e outra de inatividade ou estivação (maio a julho). Durante o período de estivação ocorre a depressão metabólica e, nestas condições, mesmo com a T_b similar ao período de atividade, o consumo de oxigênio é mais baixo. O objetivo deste trabalho foi comparar a f_H de *Salvator merianae* em duas temperaturas (17 °C e 25 °C), nos períodos de estivação e de atividade. O resultado revelou diferença significativa entre os dois períodos nas duas temperaturas analisadas. Porém, a diferença entre 17 °C e 25 °C só foi registrada no período de dormência, sugerindo uma maior sensibilidade térmica neste período. Mudanças como a vista neste trabalho nos levam a supor que neurônios sensoriais e o sistema nervoso simpático engatilhem respostas cardiovasculares de forma semelhante à dos endotérmicos.

Palavras-chave: *Salvator merianae*, dormência, atividade, depressão metabólica, coeficiente de temperatura.

ABSTRACT

Reptiles are ectotherm and depend on environmental heat sources to regulate body temperature (T_b). Increases or decreases on T_b cause variations on metabolic rates and are followed by heart frequency (f_H) to meet the oxygen demand. Species that live in seasonal environments are subject to variations T_b and, therefore, in metabolism. The tegu lizard (*Salvator merianae*) is widely spread across South America and exhibits seasonal activity, characterized by an active period (August to April) and an inactive or estivation period (May to July). During the estivation period the metabolism suffers a depression and the oxygen consumption is lower even at similar T_b . This study aimed to compare the f_H of *Salvator merianae* in two temperatures (17 °C and 25 °C) and in the two periods. The results showed a significant difference between the two temperatures analyzed. However, the difference between 17 °C and 25 °C was significant only during the dormancy period, indicating higher thermal sensibility during this period. Changes as the ones seen in this work let us suppose that sensorial neurons and the sympathetic nervous system trigger cardiovascular answers the same way as ectotherms.

Keywords: *Salvator merianae*, dormancy, activity, depression, metabolic depression, temperature coefficient.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Efeitos da temperatura.....	6
1.2	Coeficiente de temperatura (Q_{10})	7
1.3	Regulação da temperatura corpórea	7
1.4	Período de depressão metabólica	8
1.5	A espécie <i>Salvator merianae</i>	9
1.6	Relação de T_b e outras taxas metabólicas.....	9
2	OBJETIVO	11
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1	Protocolo Experimental	13
3.2	Análise Estatística.....	14
4	RESULTADOS.....	15
5	DISCUSSÃO	18
5.1	Relação entre T_b e sazonalidade em teiús.....	18
5.2	Relação entre T_b, f_H e taxa metabólica	20
6	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

1.1 Efeitos da temperatura

Em vertebrados, as aves e os mamíferos são denominados de animais endotérmicos pois conseguem manter a temperatura corpórea estável, independente da ambiental por ajustes na produção de calor metabólico. Por outro lado, peixes, anfíbios e répteis são denominados de ectotérmicos, pois dependem de fontes externas de calor para a manutenção da temperatura corpórea (HUEY; KINGSOLVER, 1989).

A temperatura corpórea (T_b) afeta o metabolismo de animais, plantas e até mesmo seres unicelulares, através de seus efeitos nas taxas das reações bioquímicas, pois as enzimas catalizadoras de tais processos apresentam uma temperatura de ativação e de funcionamento (GILLOOLY et al., 2001). Consequentemente, a temperatura corpórea tem profundo efeito em quase todos os aspectos fisiológicos de vertebrados ectotérmicos e é fundamental que se restrinja dentro dos limites de tolerância das espécies (SLATKIN; HUEY, 1976). A temperatura ou uma faixa de temperaturas apropriadas para determinada atividade é chamada de temperatura ótima. Esta envolve não uma, mas várias temperaturas dependendo da atividade em curso e da espécie (HUEY, 1982; POUGH, 1983). Os animais, portanto, apresentam faixas de temperatura limites e ótimas, influenciadas pelas temperaturas ambientais locais, variando desde valores mínimos, que permitem o início de atividade da espécie em determinado ambiente, ao máximo tolerado (BRATTSTROM, 1965).

Sendo assim, a temperatura é um dos fatores físicos mais importantes na ecologia de animais ectotérmicos, como os lagartos, e grande parte da atividade diária de várias espécies é dispendida em interações com o ambiente térmico, pois dependem de fontes de calor externas para elevar a temperatura corpórea (MILSOM et al. 2012). A manutenção de uma temperatura corpórea apropriada para as atividades metabólicas envolve, de forma complexa, a fisiologia e o comportamento (SEEBACHER, 2009).

O ambiente apresenta uma vasta heterogeneidade térmica, consequentemente animais ectotérmicos também possuem uma T_b variável. Como a temperatura afeta taxas de processos e sistemas fisiológicos, a sensibilidade térmica de ectotérmicos é relevante em diversos tópicos da fisiologia, ecologia e evolução (NASCIMENTO et al., 2016).

Répteis são capazes de manter a temperatura corpórea através da termorregulação comportamental. Lagartos apresentam estratégias que envolvem a escolha de microambientes sob o sol ou sombra, mudanças na postura e diferentes horas de atividade para regular a T_b

preferida (DÍAS; CABEZAS-DÍAS, 2004; ROCHA et al., 2009). Os comportamentos de termorregulação costumam variar de acordo com a estação do ano, ou seja, variação das temperaturas ambientais médias e necessidades energéticas da espécie (MILSOM et al. 2012). Outra forma utilizada para regulação da temperatura é a fisiológica, envolvendo constrição e dilatação dos vasos sanguíneos (SEEBACHER; FRANKLIN, 2004).

1.2 Coeficiente de temperatura (Q_{10})

A medição da dependência (ou sensibilidade) térmica da performance de determinado processo fornece estimativas de temperaturas ótimas e amplitude térmica para tal processo. O coeficiente de temperatura Q_{10} é a medida da taxa de mudança de um processo biológico ou químico como consequência de um aumento de temperatura em 10 °C (HUEY; KINGSOLVER, 1989). Valores menores que 1 indicam uma dependência reversa à temperatura, ou seja, menor performance do processo ou sistema com o aumento da temperatura. Enquanto valores de Q_{10} próximo a 1 indicariam uma insensibilidade à temperatura e valores maiores que 2 indicariam uma sensibilidade elevada (RANDALL et al., 1997).

O Q_{10} pode ser calculado a partir da equação abaixo, onde R é o valor da taxa medida e T a temperatura em graus Celsius:

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{10(T_2 - T_1)}$$

1.3 Regulação da temperatura corpórea

Lagartos geralmente regulam a temperatura corpórea a níveis diversos em diferentes épocas, como estratégia para conservação de energia (POUGH, 1983, SEEBACHER; GRIGG 2001). Porém, pouco se é conhecido em vertebrados ectotérmicos com relação aos caminhos da termorregulação se comparado com mamíferos. No entanto, sabe-se que neurônios no hipotálamo funcionam como sítios termossensíveis que alteram apropriadamente os comportamentos relacionados à termorregulação em lagartos (SCHMIDT, 1976). Tanto no caso de ectotérmicos quanto endotérmicos, informações acerca da temperatura e respostas metabólicas devem ser coordenadas (BICEGO et al., 2007)

Muitos vertebrados regulam sua T_b modulando o fluxo sanguíneo entre a superfície e o núcleo do corpo. A eficácia da transferência de calor entre o meio ambiente mais quente e o

núcleo do corpo do animal é muitas vezes realizado pelo aumento da perfusão cutânea, mediada pelo aumento da frequência cardíaca (f_H) que eleva a convecção de calor no sistema cardiovascular, portanto a condutividade térmica facilita a elevação de T_b durante o aquecimento (COWLES; BOGERT, 1944; DAWSON, 1975; BARTHOLOMEW, 1982, SEEBACHER; FRANKLIN, 2004). Por outro lado, a retenção de calor durante o período de resfriamento é muitas vezes assistido por reduções no fluxo sanguíneo periférico e f_H (MORGAREIDGE; WHITE, 1969; GRIGG; ALCHIN, 1976;. SMITH et al., 1978). O fenômeno decorrente da diferença nas velocidades de aquecimento e resfriamento é chamado histerese cardíaca e também ocorre na espécie *Salvator merianae*. A histerese cardíaca é de grande significância ecológica, pois auxilia na diminuição dos custos da termorregulação e permite que T_b permaneça dentro da preferida amplitude térmica por maiores períodos durante o dia (SEEBACHER, 2000).

1.4 Período de depressão metabólica

Quando o ambiente não proporciona a gama de temperaturas para o animal se manter ativo durante todo o ano, algumas espécies de lagartos apresentam um período de dormência. Muitos descrevem a dormência em répteis, como o caso do lagarto teiú, como um período de depressão metabólica (ABE 1983, 1995; DE SOUZA et al., 2004; ANDRADE; ABE, 1999) que ocorre sazonalmente durante o inverno (ABE, 1983; LOPES; ABE, 1999). Outras espécies de lagartos também passam por um período de dormência semelhante (MAYHEW, 1965; PATTERSON; DAVIES, 1978; BAUWENS, 1981; GREGORY, 1982).

A existência de um período de dormência reduz a mortalidade de animais em condições extremamente adversas, principalmente em animais que vivem em clima temperado a frio (BAUWENS, 1981). Se este período é apenas associado a inabilidade de manter taxas metabólicas normais a baixas temperaturas ambientais ou por outras causas ainda é incerto para algumas espécies. Alguns estudos relatam que o início da dormência no inverno parece ser independente da temperatura e que a dormência e o metabolismo parecem ser controlados independentemente, porém, na natureza, esses dois fatores funcionam simultaneamente (MAYHEW, 1965; EL-MASRY; HUSSEIN, 2001). Ainda, a dormência parece ser controlada pela redução do fotoperíodo, enquanto a baixa taxa metabólica é controlada pela redução na temperatura (EL-MASRY; HUSSEIN, 2001).

1.5 A espécie *Salvator merianae*

No sudeste do Brasil, teiús (*Salvator merianae*), réptil de hábitos diurnos que são ativos durante a estação quente e chuvosa (aproximadamente de agosto a abril) e buscam abrigos, geralmente buracos cavados na terra, durante a estação fria e seca (maio a julho) (ABE, 1983). O ciclo anual de atividade e inatividade está intimamente relacionado com o comportamento de reprodução da espécie. O período de inatividade ou depressão metabólica compreende de maio a julho, onde animais param de se alimentar e permanecem inativos em seus abrigos, deixando a T_b equilibrar com a do abrigo e abandonando a termorregulação comportamental (ABE, 1995; ANDRADE et al., 2004). A preparação para dormência (i.e., início da depressão metabólica) começa bem antes das condições ambientais se tornarem adversas (MILSOM et al., 2008). Durante o mês de agosto e início do mês de setembro, animais retomam uma taxa metabólica mais elevada, emergem dos buracos e voltam a alimentar-se, preparando-se energeticamente para a reprodução (TATTERSALL et al., 2016).

Adicionalmente, estudos apontam haver uma progressiva diminuição da sensibilidade termal (Q_{10}) do verão para o inverno, tanto que a taxa metabólica de teiús dormentes se torna relativamente independente da temperatura (ABE 1983, 1993; DE SOUZA et al., 2004). Essa redução em Q_{10} foi proposta como uma vantagem para manter taxas metabólicas baixas, mesmo quando a temperatura no abrigo flutua (TOLEDO et al., 2008). Contraditoriamente, outros indicam que o a supressão do metabolismo apresenta certa dependência da temperatura. Apesar de aumentos na temperatura produzirem aumento no metabolismo de teiús dormentes, a magnitude desse aumento é menor do que a apresentada por esses animais na mesma faixa de temperatura durante o verão (ABE, 1995; ANDRADE; ABE, 1999). O estudo de PIERCY (2005) mostrou que a temperatura teve um efeito significativo em f_H , principalmente quando teiús estavam em estados de maior atividade, descritos como “alerta” e “movendo”. À medida que o efeito da temperatura era menos pronunciado nos estados “dormindo” e “quieto”.

1.6 Relação de T_b e outras taxas metabólicas

O papel da termorregulação fisiológica em lagartos pode ser parcialmente avaliado, ainda, medindo-se taxas de mudança na T_b em diferentes condições ambientais (BARTHOLOMEW, 1963). Qualquer mudança em fluxo de ventilação (alterando frequência respiratória e/ou volume), extração de oxigênio do ar inspirado, débito cardíaco (alterando

frequência cardíaca e/ou volume sistólico) e extração de oxigênio do sangue circulante podem ser correlacionadas com a demanda metabólica por oxigênio associada a mudanças na temperatura e estado de atividade (PIERCY et al., 2015). Portanto, se comprovado que há a diferença na frequência cardíaca em distintas temperaturas e estações do ano é possível inferir que outras mudanças metabólicas acompanhem tal diferença, alterando, em conjunto, a sensibilidade térmica (Q_{10}). Neste e em outros casos Q_{10} é uma ferramenta útil para expressar a dependência da temperatura em um processo, pois indica o aumento proporcional na taxa de uma reação com o aumento da temperatura.

2 OBJETIVO

Neste trabalho analisamos a influência da temperatura corpórea associada à sazonalidade na frequência cardíaca (f_H) em lagartos adultos da espécie *Salvator merianae* por meio da comparação da frequência cardíaca a 17 °C e 25 °C, nos períodos de estivação e de atividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os animais utilizados no estudo pertenciam ao criatório científico da UNESP Rio Claro, conhecido como Jacarezário, sob registro do IBAMA (número do cadastro: 673766). Teiús foram criados em cativeiro para o estudo científico e conservação *ex situ*. Foram escolhidos aleatoriamente 10 fêmeas adultas com massa corpórea entre 1,2 – 2,5 kg para cada fase do experimento. Sendo que a fase 1 compreendeu o período de dormência, de maio a julho de 2013 e 2014 e a fase 2, em atividade, de janeiro a fevereiro de 2016.

Os animais foram mantidos em baias externas de 4,5 x 4,5 m, com abrigos de alvenaria e vegetação, que permitia acesso a locais com sol e sombra. Cada baia possuía, em média, grupos com 10 teiús. Na fase 1, de dormência, os animais estavam sob jejum enquanto, na fase 2, os animais foram alimentados diariamente com carne de frango e água *ad libitum*. Dois dias antes da instrumentação, a alimentação foi suspensa nos animais ativos, para evitar o efeito pós-prandial na f_H , apesar da digestão ter apresentado pouco ou nenhuma influência significativa na frequência cardíaca em outros estudos (PIERCY, 2005; PIERCY et al., 2015). Animais amostrados nos dois períodos foram retirados de seus abrigos ou recintos apenas no dia da experimentação.

A frequência cardíaca foi determinada através de um eletrocardiograma (ECG) em duas temperaturas ambiente distintas nos dois períodos selecionados (17° C e a 25° C). Sendo estas temperaturas correspondentes às da toca durante a estivação e atividade, respectivamente. Três eletrodos do tipo agulha foram conectados à superfície dorsal do animal em um arranjo triangular com relação ao coração dos indivíduos (figura 2). Cada animal era mantido em uma caixa de plástico (45 x 35 x 15 cm) dentro de uma estufa tipo B.O.D. (Câmara Incubadora B.O.D., FANEM), inicialmente a 17° C e em seguida a 25° C, para o controle da temperatura ambiente e registro dos batimentos cardíacos a cada temperatura ao longo do experimento.

Os animais apresentaram pouca movimentação na caixa de plástico durante a experimentação, no entanto, alguns indivíduos moveram-se ocasionalmente, causando claros distúrbios na leitura do ECG. Esses dados foram descartados das análises por apresentarem grande discrepância na frequência cardíaca com relação aos demais, totalizando em $n = 5$ para atividade e $n = 7$ para a época de dormência.

Os indivíduos foram submetidos ao protocolo a seguir:

3.1 Protocolo Experimental

Cada indivíduo foi previamente sedado com CO₂ para a realização da intubação (via traqueia) e, em seguida, sedado com isoflurano (Cristália) a 5% usando um ventilador durante toda a instrumentação.

Após iniciada a sedação com isoflurano os 3 eletrodos tipo agulha foram implantados, posicionados triangularmente no corpo do animal, para a coleta dos dados do eletrocardiograma, conforme figura 1:

Figura 1 – Esquema da inserção dos eletrodos (representados pelos círculos tracejados) nos indivíduos. Vista dorsal.



Fonte: acervo pessoal da autora.

Pela duração do experimento, cada indivíduo foi acomodado em uma caixa plástica, cuja dimensão era suficiente para alojar confortavelmente o animal, porém não permitindo extensa movimentação. Finalizada a instrumentação o animal era ventilado artificialmente, sem o anestésico, até recuperar a ventilação espontânea e permaneceria em repouso por 24 horas dentro câmara experimental. Foram, inicialmente, alojados na câmara a 17°C para aclimação à primeira temperatura do experimento. Após um período de 24 horas os conectores dos eletrodos dorsais eram conectados a um amplificador de sinal (BioAmp, ADInstruments, Australia) e iniciada a coleta dos registros digitais de ECG via uma interface computacional por 3 horas (PowerLab, ADInstruments, Australia). Em seguida a temperatura da câmara incubadora era alterada para 25°C, onde o animal era mantido por mais 24 horas

para nova aclimação, e apenas após este período, era realizada uma nova coleta dos dados de ECG a 25°C por mais 3 horas.

Adicionalmente, dois animais, um de cada período, foram medidos por 12 horas, ao invés de 3, para observar o padrão ventilatório a 17 °C.

De acordo com SEEBACHER e FRANKLIN (2001) os animais respondem ao calor e não à luz *per se*, logo nenhum tipo de iluminação artificial foi inserido na câmara incubadora. Ainda, medidas de comprimento e massa de cada um dos indivíduos foram feitas para calcular sua possível interferência nas análises estatísticas. O Q_{10} foi calculado a partir da equação:

$$Q_{10} = \left(\frac{f_{H\ 25^{\circ}C}}{f_{H\ 17^{\circ}C}} \right)^{10(25-17)}.$$

3.2 Análise Estatística

Para a realização da análise estatística das frequências cardíacas com relação às diferentes temperaturas e fases sazonais, os dados foram submetidos à uma análise de variância do tipo ANOVA de duas vias. E, para detectar diferenças entre os grupos, foi utilizado o teste post-hoc Student-Newman-Keuls. O nível de significância foi adotado como $p < 0,05$, e todos os testes foram realizados através do software SigmaPlot (versão 11.0).

4 RESULTADOS

A massa corpórea dos animais não diferiu entre os períodos sazonais amostrados (Figura 2), tendo como média $1,96 \pm 0,13$ kg no período da dormência e $1,66 \pm 0,16$ kg no período de atividade ($p = 0,187$; $df = 10$). Os dados brutos obtidos durante todo o experimento são apresentados na Tabela 1 e os dados dos testes estatísticos na Tabela 2.

Apenas no período de dormência a f_H apresentou um aumento significativo de 40% de 17 °C para 25 °C ($p = 0,025$) (Figura 3). No período de atividade não houve diferença significativa entre as temperaturas ($p = 0,136$), apesar da f_H a 25 °C ser 33% maior que a 17 °C. Um exemplo do eletrocardiograma amostrado pode ser encontrado na figura 4.

Comparando os valores de f_H a 17 °C, o período de atividade é 42% maior do que no período de dormência ($p = 0,003$). No caso de 25 °C o valor é de 36% de aumento ($p = 0,016$), porém significativo nos dois casos.

Entretanto, os valores de Q_{10} não diferiram entre os períodos, tendo uma média de $1,492 \pm 0,162$ (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados brutos de cada indivíduo analisado e as médias e desvio padrão (SEM) de cada grupo amostral. As frequências cardíacas foram medidas após respectivas aclimações.

	Indivíduo	f_H 17 °C	f_H 25 °C	massa (Kg)	Q10
Dormência	1	5,43	8,66	1,65	1,79
	2	3,13	4,29	2,05	1,48
	3	5,13	6,66	2,2	1,38
	4	5,01	5,34	2,6	1,08
	5	5,85	7,7	1,85	1,40
	6	5,58	11,1	1,6	2,36
	7	6,11	6,93	1,8	1,17
Média		$5,17 \pm 0,37$	$7,24 \pm 0,84$	$1,964 \pm 0,13$	$1,52 \pm 0,16$
Atividade	8	8,84	11,73	1,475	1,42
	9	7,46	11,5	1,797	1,71
	10	7,52	10,55	2,17	1,52
	11	6,08	8,67	1,71	1,55
	12	6,98	6,94	1,188	0,99
Média		$7,37 \pm 0,44$	$9,87 \pm 0,91$	$1,668 \pm 0,16$	$1,44 \pm 0,12$

Figura 2 – Média das massas dos indivíduos em cada grupo amostral.

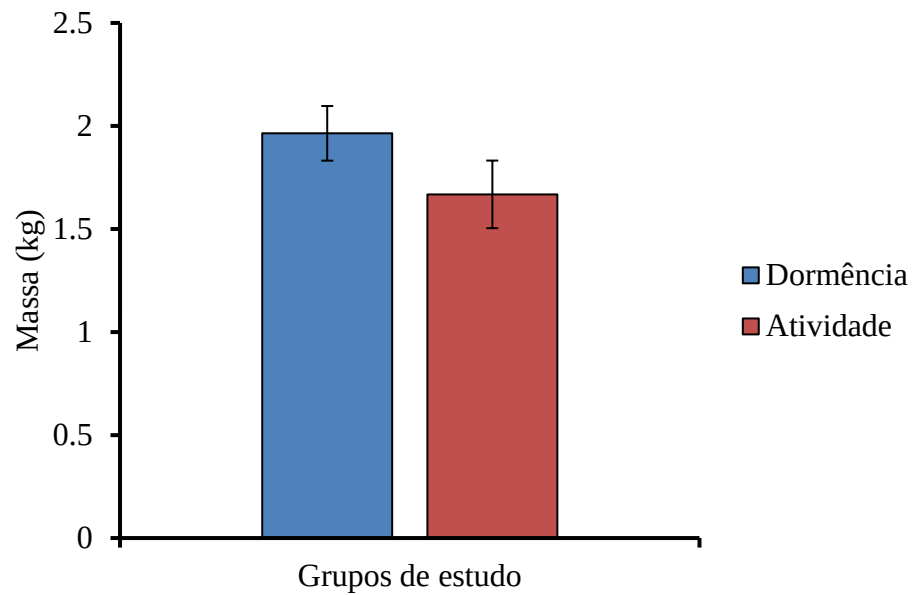
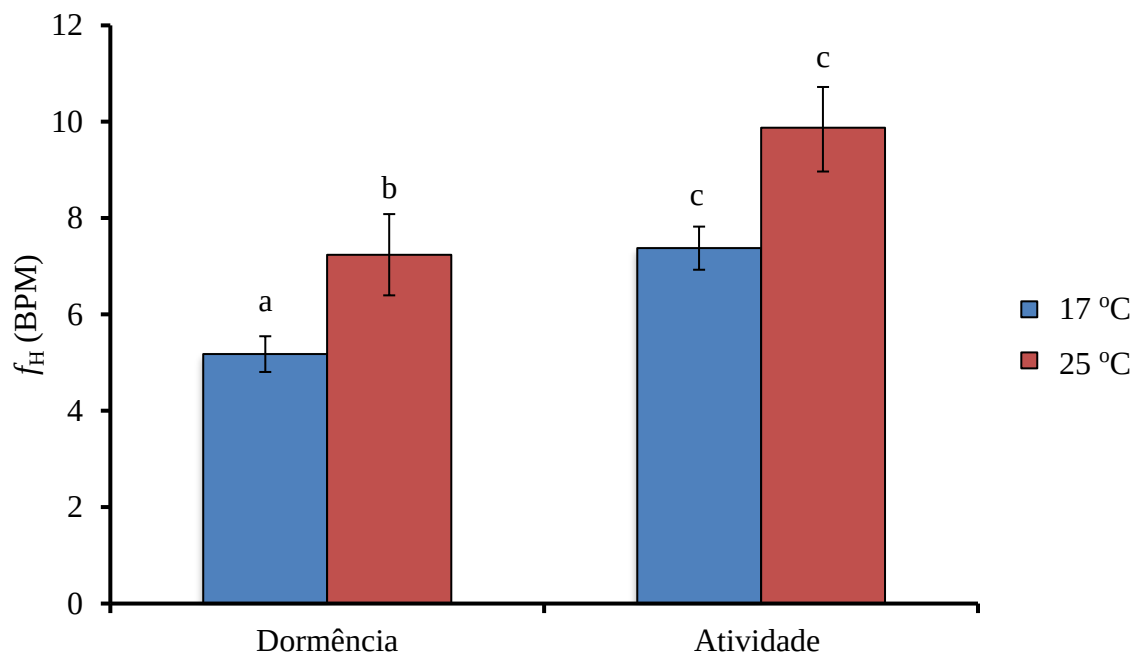


Figura 3 – Média ($\pm$ erro padrão) das frequências cardíacas obtidas em nos dois grupos amostrais em cada período e temperatura testados. Letras diferentes simbolizam significância estatística.



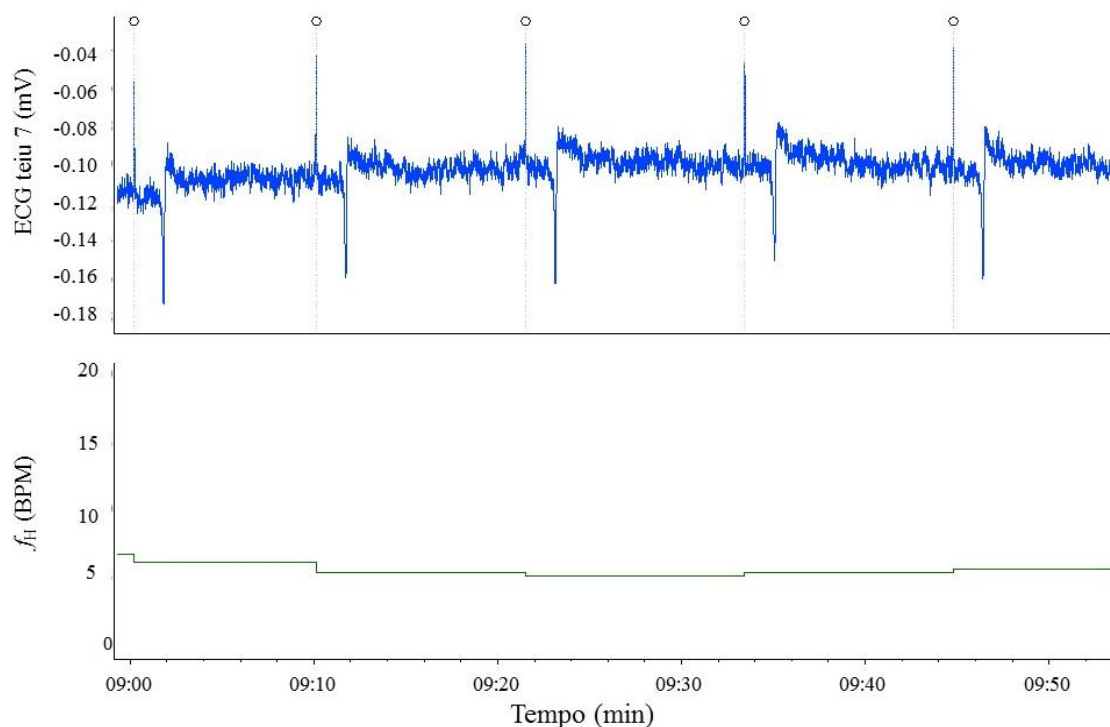
Em alguns registros foi possível detectar padrões respiratórios e, nos dois indivíduos analisados por 12 horas, foram detectados períodos longos de apneia. Foi feita uma estimativa de períodos de apneia de até 560 segundos (9,35 minutos) durante a atividade, e de até 470 segundos (7,83 minutos) na dormência. Consideramos padrões ventilatórios distintos aqueles

separados por períodos não ventilatórios maiores de 60 segundos. Por outro lado, a média da frequência respiratória (f_R) foi calculada em 16,41 respirações por minuto na dormência e 20,27 na atividade. Contudo, porém não foi possível notar se houve um aumento concomitante da frequência cardíaca, apesar de estudos (ANDRADE; ABE, 1999; SANDERS et al., 2015) apontarem para o aumento correlacionado de f_H e f_R .

Tabela 2 – Dados do teste two-way ANOVA para medidas repetidas em associação ao teste post-hoc Student-Newman-Keuls para múltiplas comparações pareadas.

Comparação	Diferença de médias	q	P
Atividade vs. dormência	2,963	5,214	0,003
25 °C vs. 17 °C	1,674	4,169	0,012
Atividade: 25 °C vs. 17 °C	1,286	2,264	0,136
Dormência: 25 °C vs. 17 °C	2,063	3,632	0,025
17 °C: atividade vs. dormência	3,351	4,817	0,003
25 °C: atividade vs. dormência	2,574	3,700	0,016

Figura 4 – Exemplo de eletrocardiograma amostrado a 17 °C no período de dormência.



5 DISCUSSÃO

A relação entre temperatura corpórea e estação e/ou frequência cardíaca pode ser afetada por inúmeros fatores, tanto externos quanto internos. Para diminuir ou neutralizar os efeitos de tais fatores nos resultados obtidos algumas precauções com o design experimental foram tomadas e serão elencadas a seguir.

Apesar da caixa plástica acomodar confortavelmente cada um dos indivíduos, não era ampla o bastante para que se levantassem ou movimentassem ativamente dentro dela, portanto, animais mantiveram-se acordados e quietos ou dormindo durante a maior parte do experimento. Alguns animais apresentaram possíveis sinais de estresse devido ao confinamento (i.e. comportamento de “cavar” as laterais internas da caixa; movimentação constante no interior da mesma; ou intensa respiração) que interferiram na leitura de f_H ou resultaram em valores muito acima da média. Como já dito anteriormente, estes animais foram descartados das análises, totalizando o n amostral de 7 em dormência e 5 em atividade.

Durante o inverno foi demonstrado que animais mantêm a baixa taxa metabólica praticamente constante durante todo o dia e a noite (SANDERS et al., 2015, MILSOM et al., 2012), portanto, o horário dos experimentos não teria influência na f_H obtida. No verão, por outro lado, Milsom e colaboradores (2008) mostraram que, mesmo após sucessivos dias sem fontes de luz e a temperatura constante, as taxas metabólicas ainda sofrem influência do ritmo circadiano. À vista disso, a coleta de dados neste período ocorreu apenas durante o dia.

Ao remover a opção de termorregular comportamentalmente, e assim manter a T_b preferida, por meio do confinamento dos animais a temperaturas constantes e do período de aclimação apropriado, aproximamos o valor de f_H ao basal para aquela temperatura (17 °C ou 25 °C) e época do ano (atividade ou dormência).

Ainda, o eletrocardiograma (ECG) com a inserção de eletrodos do tipo agulha foi o método escolhido para medição visto que a instrumentação é de fácil execução e pouco invasiva, se comparado com a implantação de telêmetros ou dataloggers.

5.1 Relação entre T_b e sazonalidade em teiús

Sanders e colaboradores (2015) utilizaram data loggers para medir a temperatura ambiental, do abrigo e corpórea de *Salvator merianae* ao longo do ano. A temperatura média dentro do abrigo (17 °C) no inverno, a qual teiús igualam T_b durante toda a dormência, e a T_b média mínima no verão (25 °C) foram escolhidas para serem usadas neste estudo. Refletindo

assim a T_b média mínima de cada época. Neste mesmo estudo também foi amostrada uma T_b média máxima no verão de aproximadamente 35 °C, apesar de temperaturas ambientais chegarem a mais de 40 °C sob luz solar direta e a temperatura do abrigo se manter ao redor de 25 °C constantemente.

Teiús apresentam T_b mais alta ao longo do período de atividade devido à termorregulação comportamental à procura da T_b preferida e ajustes fisiológicos. Neste experimento a f_H apresentou ser significativamente maior durante o período de atividade nas duas temperaturas testadas, porém a diferença foi mais pronunciada a 17 °C. Na temperatura mais baixa o aumento da f_H do inverno para o verão foi de 42%, enquanto que a 25 °C essa diferença foi de 36%.

O estudo de Sanders e colaboradores (2015) também revelou uma f_H média no inverno de 4 BPM, enquanto no verão a média foi próxima a 20 BPM. Este resultado difere dos obtidos em nosso trabalho, porém esta diferença pode ser explicada pela técnica amostral. Em nosso trabalho animais estavam confinados a temperatura constante, enquanto no experimento de Sanders et al. (2015) animais tinham acesso à todo o espaço da baía e à luz solar, por consequência, podiam exercer comportamentos termorregulatórios, principalmente no verão. Ainda, a diferença notada pode ser explicada pelo diferente tamanho amostral, sexo e massa dos indivíduos entre os estudos.

Em geral a f_H apresenta uma dependência direta da temperatura, sendo que, a temperaturas mais altas, a f_H é maior e diminui conforme temperaturas decaem (TOLEDO et al., 2008). Durante a dormência houve um aumento significativo de 40% na f_H de 17 °C para 25°C. No entanto, no período de atividade, apesar do aumento similar de 34% na f_H entre as duas temperaturas, este não se mostrou significativo. Indicando uma maior dependência térmica da f_H na dormência, ainda que o Q_{10} não varie e metabolismo de teiús dormentes tenha sido descrito como relativamente independente de temperatura em alguns trabalhos (ABE, 1983, 1993, 1995; DE SOUZA et al., 2004).

Apesar de existir uma aparente similaridade entre os dados obtidos nas duas épocas, houve uma maior heterogeneidade nos dados de f_H coletados durante a atividade. Provavelmente devido ao metabolismo ativo dos animais e menor população amostral. Em um estudo similar, Piercy e colaboradores (2005) também apresentaram médias variáveis de f_H em *S. merianae* no verão a 17 °C, de $6,2 \pm 0,4$ até $11,4 \pm 1,8$ BPM, dependendo do estado de atividade.

A variação de f_H pode mudar as taxas transientes de transferência de calor entre o ambiente e o núcleo do corpo de um réptil, contanto que f_H e circulação periférica variem

proporcionalmente, otimizando ou desacelerando a transferência de calor. Durante a estivação o animal passa a manter a T_b em conformidade com a temperatura do abrigo, refletindo, assim, em menores taxas de f_H e transferência de calor com o ambiente (SANDERS et al., 2015; ROLLINSON et al., 2008). Esse processo pode significar um benefício ecológico ao permitir a manutenção de T_b dentro do limite preferido para a espécie dependendo da época e necessidade metabólica, mesmo em condições ambientais desfavoráveis (SEEBACHER; FRANKLIN, 2004).

Estudos recentes mostraram que, em teiús, logo após o despertar da dormência e início da época reprodutiva a f_H perde a relação de dependência com a T_b (SANDERS et al., 2015; TATTERSALL et al., 2016). Neste período de preparação para a reprodução foi observado um aumento da f_H logo antes da emergência do animal do abrigo ao início do dia, indicando uma preparação do sistema circulatório para o aquecimento rápido. Foi sugerido por Tattersall e colaboradores (2016) que, apesar da f_H média diária de cada estação exibir uma dependência da temperatura, teiús apresentam uma capacidade facultativa para a endotermia, dependente de ajustes na condutância termal, na época de reprodução e saída da dormência.

Ainda, se este experimento se estendesse por sucessivos dias a temperatura constante (17 °C) e na ausência de luz é possível que animais na atividade atingissem a mesma f_H e outras taxas metabólicas de animais dormentes (MILSOM et al., 2008).

5.2 Relação entre T_b , f_H e taxa metabólica

O valor de Q_{10} encontrado neste trabalho para a variação de f_H em resposta à temperatura não diferiram entre os períodos de atividade e dormência, apresentando uma média geral de $1,49 \pm 0,16$, o que foi típico de processos fisiológicos. Da mesma forma, alguns estudos estudaram o efeito de diversas variáveis nos valores de Q_{10} . No geral, a temperatura apresentou pouco ou nenhuma diferença entre temperaturas e períodos testados (TOLEDO et al., 2008). Piercy e colaboradores (2005; 2015) observaram uma variação típica entre 1 e 2, pois a temperatura apresentou pouco efeito na maioria das variáveis testadas. Também não houve diferença consistente entre os valores de Q_{10} calculados para os intervalos de 17–27 °C, 27–37 °C e 17–37 °C e todos os valores obtidos foram próximos a 2.

No entanto, há estudos que apontam uma aparente redução do Q_{10} do verão para o inverno, indicando que a taxa metabólica de lagartos dormentes se torna progressivamente mais insensível à temperatura (ABE, 1983, 1993, 1995; DE SOUZA et al., 2004; SANDERS et al., 2015). Essa redução em Q_{10} foi proposta como sendo uma vantagem para manter taxas

metabólicas extremamente baixas quando temperaturas flutuarem dentro do buraco ou abrigo (TOLEDO et al., 2008).

Através de dados coletados de f_R e f_H foi reportado, em teiús, uma diminuição de 45% na taxa metabólica durante a dormência (SANDERS et al., 2015). A diminuição da f_H do verão para o inverno foi de 27% quando a 17 °C, e semelhante quando a 25 °C (30%), porém significativo nos dois casos, indicando que a temperatura atua neste processo fisiológico de uma mesma forma, mesmo em temperaturas distintas.

Outros estudos mostraram, ainda, que a entrada no período de atividade dos teiús está intimamente relacionada com aumento da temperatura ambiente à medida que estes saem de seus abrigos para se aquecerem sob o sol. Isso é acompanhado por uma elevação paralela do metabolismo, frequência cardíaca (de um valor de ~10 BPM para ~70 BPM) e frequência respiratória (a partir de um valor de repouso de ~2-3 ciclos / min para ~12-18 ciclos / min) (ANDRADE et al., 2004). De janeiro a março, f_H e f_R caem progressivamente durante a noite pelos três meses, apesar da T_b permanecer relativamente constante. (ANDRADE et al., 2004; TATTERSALL et al., 2016). Novamente, a diferença dos dados obtidos entre este trabalho e os demais pode ser explicada pela variação na técnica amostral.

Durante a fase da atividade a f_H é um dos parâmetros que pode ser utilizado para estimar o metabolismo. No entanto a correlação encontrada para teiús foi abaixo do que geralmente se encontrou em outros estudos que validaram o uso da f_H como estimador da taxa metabólica (CLARK et al., 2006; PIERCY et al., 2015), portanto, a relação deve ser tratada com cautela e necessita de estudos para validação. Contudo, não há estudos que demonstrem a correlação entre a taxa metabólica e a f_H para o período da dormência.

Como em outros ectotérmos, um aumento na temperatura corporal é geralmente acompanhado por ajustes na ventilação necessários para atender uma maior demanda metabólica (PIERCY et al 2015). ANDRADE e ABE (1999) analisaram a frequência respiratória e a duração do período ventilatório e não ventilatório, entre outras variáveis, nas mesmas duas temperaturas utilizadas neste trabalho em teiús dormentes. Todos os animais apresentaram um aumento na f_R acompanhando o aumento da temperatura de 17°C para 25°C, o que mudou o padrão ventilatório dos teiús de episódico para uniforme.

A média da f_R calculada para o verão neste trabalho foi de 20,27 respirações por minuto, enquanto no inverno foi de 16,41 respirações por minuto. Apesar da diferença aparente, este resultado não foi considerado, uma vez que apenas um dos indivíduos em cada época foi amostrado com relação a f_R e todo o design experimental não foi pensado para a medição de f_R .

6 CONCLUSÃO

O resultado deste trabalho vem complementar os dados já existentes sobre termorregulação em teiús e abre questionamentos sobre a real sensibilidade térmica nestes animais. Apesar de alguns estudos indicarem que a taxa metabólica de lagartos dormentes se torna progressivamente insensível à temperatura com a entrada do inverno, nossos resultados revelaram uma dependência maior da frequência cardíaca nesta época do que no verão.

No entanto, o efeito da temperatura nas taxas metabólicas em *Salvator merianae* já foi reportado como reduzido, inalterado ou aumentado durante o inverno em diferentes estudos (ABE, 1983, 1993, 1995; ANDRADE; ABE 1999; DE SOUZA et al., 2004). E é mais provável que estes diferentes resultados reflitam a variação no tempo de aclimação, o tamanho dos animais e as variáveis analisadas nos diferentes experimentos. Não fica descartada a interferência do manuseio ao retirar os animais da toca durante a dormência.

Ainda, durante a época de dormência, a depressão metabólica afeta taxas de f_H de forma que, mesmo sob as mesmas condições de temperatura, estas se mantêm menores se comparadas com o período de atividade da espécie. É possível supor que animais perdem a capacidade de termorregular a nível celular durante a dormência devido a depressão metabólica e ao abandono de tais estratégias termorregulatórias, sendo assim mais sensíveis a mudanças na temperatura.

É possível inferir também que outras mudanças metabólicas estão associadas com as mudanças significativas na frequência cardíaca vistas neste trabalho (BARTHOLOMEW, 1963). A frequência cardíaca tem sido apontada como maior responsável em acomodar mudanças no consumo de oxigênio não relacionadas com o estresse e impulsionadas por temperatura ou atividade (PIERCY, 2005). Portanto, seria interessante desenvolver métodos ou equações mais precisas que delimitem mais precisamente esta relação.

E, finalmente, estudos sobre a termorregulação de animais ectotérmicos podem trazer pistas acerca da evolução da endotermia.

REFERÊNCIAS

- ABE, A. S. Observations on dormancy in tegu lizard, *Tupinambis teguixin* (Reptilia, Teiidae). **Naturalia**, v. 8, p. 135–139, 1983.
- ABE, A. S. Effect of the environment on ventilation in reptiles. In: BICUDO, J. E. P. (Ed.). **W. The Vertebrate Gas Transport Cascade: Adaptations to Environment and Mode of Life**. Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1993. p. 87-93.
- ABE, A. S. Estivation in South American amphibians and reptiles. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 28, p. 1241–1247, 1995.
- ANDRADE, D. V.; ABE, A. S. Gas exchange and ventilation during dormancy in the tegu lizard *Tupinambis merianae*. **The Journal of Experimental Biology**, n. 202, p. 3677-3685, 1999.
- ANDRADE, D. V. et al. Overwintering in Tegu Lizards. In: BARNES, B. M.; CAREY, H. V. (Ed.). **Life in the Cold: Evolution, Mechanisms, Adaptation, and Application. Twelfth International Symposium**. Faibanks, Alaska: Institute of Arctic Biology, 2004. p. 339–348.
- BARTHOLOMEW, G. A.; TUCKER, V. A. Control of changes in body temperature, metabolism, and circulation by the agamid lizard, *Amphibolurus barbatus*. **Physiological Zoology**, Chicago, v. 36, n. 3, p. 199-218 1963.
- BARTHOLOMEW, G. A. Physiological control of body temperature. In: GANS, C., POUGH F.H. (Ed.). **Biology of Reptilia**, v. 12, New York: Academic Press, 1982. p. 167–212.
- BAUWENS, D. Survivorship during hibernation in the European common lizard, *Lacerta vivipara*. **Copeia**, v. 1981, n. 3, p. 741-744, 1981.
- BICEGO, K. C. et al. Physiology of temperature regulation: Comparative aspects. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A 147, p. 616–639, 2007.
- BRATTSTROM, B. H. Body temperature of reptiles. **The American Midland Naturalist**, v. 73, n. 2, p. 376-422, 1965.
- CLARK et al. Factors influencing the prediction of metabolic rate in reptile. **Functional Ecology**, n. 20, p. 105-113, 2006.
- COWLES, R. B., BOGERT, C. M. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 83, p. 265 –296, 1944.
- DAWSON, W. R. On the physiological significance of the preferred body temperatures of reptiles. In: GATES, D.M., SCHMERL, R.B. (Ed.). **Perspectives in Ecological Ecology**. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 443–473.
- DE SOUZA et al. Seasonal metabolic depression, substrate utilization and changes in scaling patterns during the first year cycle of tegu lizards (*Tupinambis meranae*). **The Journal of Experimental Biology**, v. 207, p. 307-318, 2004.

- DÍAS, J. A.; CABEZAS-DÍAS, S. Seasonal variation in the contribution of different behavioural mechanisms to lizard thermoregulation. **Functional Ecology**, v. 18, p. 867-875, 2004.
- DO NASCIMENTO et al. Morphological and metabolic adjustments in the small intestine to energy demands of growth, storage, and fasting in the first annual cycle of a hibernating lizard (*Tupinambis merianae*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A 195, p. 55-64, 2016.
- GILLOOLY, J. F. et al. Effects of size and temperature on metabolic rate. **Science**, v. 293, p. 2248-2251, 2001.
- GREGORY, P. T. Reptilian hibernation. In: GANS, C.; POUGH, F. H. (Ed.). **Biology of the Reptilia**. V. 13. London: Academic Press, 1982. p. 53-154.
- GRIGG, G. C., ALCHIN, J. The role of the cardiovascular system in thermoregulation of *Crocodylus johnstoni*. **Physiological Zoology**, v. 49, p. 24-36, 1976.
- HICKS, J. W.; WANG, T. The functional significance of the reptilian heart: new insights into an old question. In: SEDMERA, D.; WANG, T. (Ed.). **Ontogeny and Phylogeny of the Vertebrate Heart**. New York: Springer, 2012. p. 207-227.
- HUEY, R. B. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. In: GANS, C.; POUGH, F. H. (Ed.). **Biology of the Reptilia**. V. 12. London: Academic Press, 1982. p. 25-91.
- HUEY, R. B.; KINGSOLVER, J. G. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 4, n. 5, p. 131-135, 1989.
- HUEY, R. B.; SLATKIN, M. Costs and benefits of lizard thermoregulation. **The Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 51, n. 3, p. 363-384, 1976.
- EL-MASRY, A. A.; HUSSEIN, H. K. Thermal relations, metabolism and winter dormancy of the sand lizard, *Acanthoctylus boskianus*. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 4, p. 492-497, 2001.
- LOPES, H. R.; ABE A. S. Biología reproductiva e comportamento do teiú, *Tupinambis merianae*, em cativeiro (Reptilia, Teiidae). In: FANG, O. L. et al. (Ed.). **Manejo y Conservación de Fauna Silvestre en América Latina**. La Paz: Editorial Instituto e Ecología, 1999. p. 259-272.
- MAYHEW, W. W. Hibernation in the horned lizard, *Phrynosoma m'calli**. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 16, p. 103-119, 1965.
- MORGAREIDGE, K. R., WHITE, F. N. Cutaneous vascular change during heating and cooling in the Galapagos marine iguana. **Nature**, v. 223, p. 587-590, 1969.
- MILSON, W. K. et al. Seasonal changes in daily metabolic patterns of tegus lizards (*Tupinambis merianae*) placed in the cold (17 °C) and dark. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 81, n. 2, p. 165-175, 2008.

- MILSOM, W. K. et al. Seasonal Changes in Thermoregulatory Strategies of Tegu Lizards. In: RUF, T. et al. (Ed.). **Living in a Seasonal World: Thermoregulatory and Metabolic Adaptations**. Berlin: Springer-Verlag, 2012. p. 317-324.
- PATTERSON, J. W.; DAVIES, P. M. C. Energy expenditure and metabolic adaptation during winter dormancy in the lizard *Lacerta vivipara* jacquin. **Journal of Thermal Biology**, v. 3, p. 183-186, 1978.
- PIERCY, J. C. **Estimating metabolic rate in tegu lizards (*Tupinambis merianae*): can once calculate oxygen consumption from heart rate?**, 2005. 126 f. Dissertação (Master of Science). The Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia, Vancouver, 2005
- PIERCY et al. The relationship between body temperature, heart rate, breathing rate, and rate of oxygen consumption, in the tegu lizard (*Tupinambis merianae*) at various levels of activity. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 185, n. 8, p. 891-903, 2015.
- POUGH, F. H. Amphibians and reptiles as low-energy systems. In: ASPEY, W. P.; LUSTICK, S.I. (Ed.). **Behavioral Energetics: The Cost of Survival in Vertebrates**. Columbus: Ohio State University Press, 1983. p. 141-188.
- RANDALL, D. J.; BURGGREN; W. W.; FRENCH, K. **Eckert Animal Physiology**. 4 ed. New York: Freeman, 1997.
- ROCHA, C. F. D. et al. Comportamento de termorregulação em lagartos brasileiros. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 1, p. 115-131, 2009.
- ROLLINSON, N.; TATTERSALL, G. J.; BROOKS, R. J. Overwintering habitats of a northern population of painted turtles (*Chrysemys picta*): winter temperature selection and dissolved oxygen concentrations. **Journal of Herpetology**, v. 42, p. 312-321, 2008.
- SANDERS, C. E. et al. Daily and annual cycles in thermoregulatory behavior and cardio-respiratory physiology of black and white tegu lizards. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 185, n. 8, p. 905-915, 2015.
- SCHMIDT, I. Effect of central thermal stimulation on the thermoregulatory behavior of the pigeon. **Pflugers Archiv – European Journal of Physiology**, n. 363, v. 3, p. 271-272, 1976.
- SEEBACHER, F. Heat transfer in a microvascular network: the effect of heart rate on heating and cooling in reptiles (*Pogona barbata* and *Varanus varius*). **Journal of Theoretical Biology**, v. 203, p. 97-109, 2000.
- SEEBACHER, F. Responses to temperature variation: integration of thermoregulation and metabolism in vertebrates. **The Journal of Experimental Biology**, n. 212, p. 2885-2891, 2009.
- SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. Control of heart rate during thermoregulation in the heliothermic lizard *Pogona barbata*: importance of cholinergic and adrenergic mechanisms. **The Journal of Experimental Biology**, v. 204, p. 4361-4366, 2001.

SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. Cardiovascular mechanisms during thermoregulation in reptiles. **International Congress Series**, v. 1275, p. 242-249, 2004.

SEEBACHER, F.; GRIGG, G. C. Changes in heart rate are important for thermoregulation in the varanid lizard, *Varanus varius*. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 171, p. 395-400, 2001.

SMITH, E. N.; ROBERTSON, S.; DAVIES, D. G. Cutaneous blood flow during heating and cooling in the American alligator. **American Journal of Physiology**, v. 235, n. 3, p. R160-R167, 1978.

TATTERSAL et al. Seasonal reproductive endothermy in tegu lizard. **Science Advances**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2016.

TOLEDO, L. F. et al. Effects of season, temperature, and body mass on the standard metabolic rate of tegu lizards (*Tupinambis merianae*). **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 81, n. 2, p. 158-164, 2008.