



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**TERMORREGULAÇÃO EM AVES SILVESTRES: revisão sistemática**

Ayla Fernanda de Souza Rodrigues  
Orientadora: Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

BRASÍLIA - DF  
MAIO/2021

---

**AYLA FERNANDA DE SOUZA RODRIGUES**

---

**TERMORREGULAÇÃO EM AVES SILVESTRES: revisão sistemática**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Medicina Veterinária apresentado junto à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

**Orientadora:** Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

BRASÍLIA - DF

MAIO/2021

## Ficha Catalográfica

RR696t      Rodrigues , Ayla Fernanda de Souza  
              TERMORREGULAÇÃO EM AVES SILVESTRES: revisão sistemática  
              / Ayla Fernanda de Souza Rodrigues ; orientador Líría  
              Queiroz Luz Hirano. -- Brasília, 2021.  
              34 p.

              Monografia (Graduação - Medicina veterinária) --  
              Universidade de Brasília, 2021.

              1. endotermia. 2. conforto térmico. 3. janelas  
              termorregulatórias. 4. dissipação de calor. 5. aquecimento  
              global. I. Hirano, Líría Queiroz Luz , orient. II. Título.

## Cessão de Direitos

Nome do Autor: Ayla Fernanda de Souza Rodrigues

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Termorregulação em aves silvestres:  
revisão sistemática

Ano: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



---

Ayla Fernanda de Souza Rodrigues

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: RODRIGUES, Ayla Fernanda de Souza

Título: Termorregulação em aves silvestres: revisão sistemática

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Medicina Veterinária apresentado junto à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.


Aprovado em 18/05/2021.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

Julgamento: Aprovada


Instituição: UnB

Assinatura: 

Med. Vet. Elber Luiz Silva Costa Moraes

Julgamento: Aprovada

Instituição: HumanoVet

Assinatura: 

Med. Vet. Ana Luiza Sarkis Vieira

Julgamento: Aprovada

Instituição: Unb

Assinatura: *Ana Luiza Sarkis Vieira*

Este trabalho é dedicado a todos os animais que passaram em minha vida e me deixaram uma lição, principalmente a Branquinha que durante anos ao meu lado tanto me ensinou sobre o amor e foi minha grande inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me abençoou em cada etapa, me permitiu e me permite a cada dia crescer e continuar realizando meus sonhos. Sou grata a meus pais que sempre se esforçaram para que eu pudesse ter uma ótima criação e se dedicaram para que os estudos fossem uma prioridade. Ao meu irmão que me acompanhou durante esses anos e aos meus avós que são minhas maiores referências e que sempre fizeram de tudo por nós.

Agradeço especialmente à Marina, que partilha comigo não só os trajetos da graduação, mas da vida e me ensina todos os dias o que é realmente estar ao lado de alguém. Agradeço de coração às minhas amigas Ana Paula (minha dupla pra sempre), Mariana, Ádyla, Larissa e Laura por tornarem a graduação uma etapa mais sorridente e cheia de momentos leves e descontraídos, e por me apoiarem durante esses anos. Também aos meus amigos: Esther, Ananda, Vanessa, Alex, Evelyn, Júlio, Cecília, Tatiany, Fernanda, Giulianna e Gustavo por estarem presentes em vários momentos e por me fazerem sentir especial. Um grande abraço à turma 38 por ter sido a melhor turma e ter virado uma grande família, assim como para os veterinários, residentes e docentes da Universidade que se tornaram exemplos para mim.

Agradeço ao Bob, um anjinho que me ensinou que não há tempo mínimo para se amar, que desistir deve estar fora de cogitação e por mais difícil que seja a situação, sempre haverá esperanças. Mas também que a vida é frágil e por mais que a gente faça todo o possível, não possuímos o dom de alterar o fim. Aos meus filhos Mel, Maia, Sushi, Simon e Chanel que fazem minha vida 100% melhor, e aos meus anjinhos Pérola, Cristal, Blue e Nina que carrego sempre no coração.

Por fim, agradeço a todos os profissionais que me acolheram e me ajudaram a crescer como pessoa e como futura médica veterinária, em especial a família Mundo Silvestre, CETRAS Patos de Minas e Hospital Silvestres.

“Nunca se pode concordar em rastejar,  
quando se sente o ímpeto de voar.”

(Helen Keller)

## SUMÁRIO

<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3 REVISÃO SISTEMÁTICA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Características das aves que influenciam na temperatura corporal .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Formas de troca de calor .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Termorregulação e o sistema endócrino .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Termorregulação no frio.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5 Termorregulação no calor .....</b>	<b>17</b>
<b>3.6 Conclusão .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>



## REVISÃO DE LITERATURA

### TERMORREGULAÇÃO DE AVES SILVESTRES: revisão sistemática

#### *WILD BIRDS THERMOREGULATION: systematic review*

Ayla Fernanda de Souza Rodrigues; Líria Queiroz Luz Hirano

#### **RESUMO**

O planeta tem sofrido com grandes mudanças climáticas e crescente aumento na temperatura ambiente, que afeta em grande escala a sobrevivência das espécies. Estudos recentes avaliam a termorregulação nas diferentes ordens de aves e sua influência no futuro de espécies que vivem em ambientes mais hostis. Por serem endotérmicas, as aves mantêm a temperatura corporal mesmo frente a variações ambientais por meio de adaptações morfofisiológicas e comportamentais, incluindo a regulação endócrina. Dentre suas peculiaridades relacionadas à termorregulação podem ser citadas o corpo revestido de penas, presença de ranfoteca em diversos tamanhos e formatos, pernas muitas vezes alongadas e não isoladas termicamente e ausência de glândulas sudoríparas. As formas de perda de calor nesses animais são principalmente latente, evaporativa, ou ativa, e a forma sensível, ou passiva. No frio, as aves apresentam duas estratégias primárias para manter a temperatura corporal, sendo a primeira aumentar a produção de calor com tremores musculares, e a segunda, diminuir a condutância térmica de calor do corpo para o ambiente protegendo as áreas não isoladas. Ao compreender como tais mecanismos ocorrem nas diferentes ordens, assim como as particulares apresentadas nas espécies, os profissionais que atuam na conservação e na clínica médica desses animais podem contar com recursos mais eficazes e elaborar estratégias para garantir a sobrevivência das populações de vida livre, bem como dos pacientes hospitalizados.

**Palavras-chave:** aquecimento global, conforto térmico, dissipação de calor, endotermia, janelas termorregulatórias.

**ABSTRACT**

The planet has suffered from major climatic changes and a growing increase in ambient temperature, which affects the survival of species on a large scale. Recent studies evaluate the thermoregulation in the different orders of birds and their influence on the future of species that live in more hostile environments. Because they are endothermic, birds maintain body temperature even in face of environmental variations through morphophysiological and behavioral adaptations, including endocrine regulation. Among its peculiarities related to thermoregulation, the body covered with feathers, the presence of a bill in different sizes and shapes, legs that are often elongated and not thermally isolated and the absence of sweat glands can be mentioned. The forms of heat loss in these animals are mainly latent, evaporative, or active, and the sensitive form, or passive. In the cold, birds have two primary strategies for maintaining body temperature, the first is to increase heat production with muscle tremors, and the second is to decrease the thermal conductance of the body's heat to the environment, protecting non-isolated areas. By understanding how these mechanisms occur in the different orders, as well as the particular ones presented in the species, professionals working in the conservation and medical clinic of these animals can count on more effective resources and develop strategies to guarantee the survival of free-living populations, as well as hospitalized patients.

**Keywords:** global warming, thermal comfort, heat dissipation, endothermy, thermoregulatory windows.

## 1 INTRODUÇÃO

A classe das aves possui uma das maiores diversidades de fauna catalogadas no mundo. Nesse contexto, o Brasil detém uma das mais ricas avifaunas conhecidas, além de ser um dos países que mais registra novos táxons, com cerca de 3051 espécies e subespécies de aves registradas. Esses fatores fazem com que o país necessite de iniciativas conservacionistas eficientes para preservar tal biodiversidade (PIACENTINI et al., 2015).

Na rotina clínica de animais silvestres, a maior casuística em hospitais especializados é composta por aves, das quais podem-se destacar as ordens Passeriformes e Psittaciformes (STIEHL et al., 2019). Isso se deve ao alto quantitativo de espécies desses grupos, às características das aves possuírem um excelente perfil como animais de estimação, além de uma beleza exuberante e cantos admiráveis, sendo também as maiores vítimas do tráfico ilegal de animais silvestres (FONSECA et al., 2018). Quando em cativeiro, o acompanhamento médico veterinário é indispensável e deve ser realizado periodicamente. Dentre os parâmetros fisiológicos analisados durante o exame físico, a temperatura corporal é uma informação importante para a avaliação da saúde do paciente (RODRIGUES & CUNHA, 2019).

Em termos conservacionistas, o planeta tem sofrido mudanças climáticas intensas, com crescente aumento na temperatura ambiente. Isso afeta em grande escala a sobrevivência das espécies, pois muitas adaptações necessárias para se manterem em seus habitats naturais se tornam defasadas e ineficientes. Com isso, estudos recentes, como os de McWHORTER et al. (2018) e de STAGER et al. (2020), têm se preocupado em como a termorregulação ocorre nas diferentes ordens de aves e como esse conhecimento pode ajudar na conservação e na previsão do futuro de espécies que vivem em ambientes mais hostis.

A partir da importância do conhecimento sobre as características e fisiologia térmica das aves, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática acerca da termorregulação nesses animais, com direcionamento para aplicação médica e conservacionista em espécies silvestres.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi realizada uma pesquisa sistemática a respeito do tema termorregulação de aves. O levantamento bibliográfico foi feito nas plataformas de compilados de trabalhos científicos *Google Scholar*, *Scielo*, *Elsevier*, *Journal of Experimental Biology*, *Springer* e *Pubmed*, com inclusão de publicações dos últimos cinco anos. Foram utilizados como termos indexadores “termorregulação em aves”, “dissipação de calor em aves”, “condutividade térmica em aves”, “avian body temperature”, “avian thermoregulation”, “endothermic thermoregulation”, “thermoregulation classification”, “animals thermoregulation” e “thermoregulation penguins”.

Os critérios de inclusão dos trabalhos foram: (1) abordagem de temas relacionados à termorregulação de aves silvestres; (2) estudos publicados entre janeiro de 2017 e abril de 2021; (3) artigos em idioma inglês ou português; (4) estrutura de artigo científico ou livro. Adicionalmente, foram excluídas as publicações que: (1) abordavam temas com direcionamento diferente ao do presente trabalho; (2) publicados antes de 2017; (3) estudos em formato de vídeos ou de canais informais. Após a leitura de 50 artigos obtidos, 35 foram selecionados para esta pesquisa.

## 3 REVISÃO SISTEMÁTICA

A temperatura corporal é um importante parâmetro fisiológico que influencia todas as funções orgânicas de um animal. De acordo com as diferentes formas de promover o aquecimento corpóreo, os animais são classificados em endotérmicos ou ectotérmicos, e pelo modo de manutenção térmica, em homeotérmicos, heterotérmicos ou na categoria dos poiquilotérmicos, também denominados de pecilotérmicos (GANSLOßER & JANN, 2019; SOKOLOVA, 2019; STAGER et al., 2020).

Animais endotérmicos possuem a capacidade de produzir calor metabólico, o que lhes permite viver em diversos tipos de ambientes e climas. Esse grupo contém principalmente mamíferos e aves, mas podem ser encontrados

exemplares de peixes, como o atum. Por outro lado, grupos ectotérmicos necessitam de uma fonte externa de calor, pois produzem uma quantidade ínfima de aquecimento a partir da queima metabólica e abrange principalmente os répteis, os anfíbios e a maior parte das espécies de peixes (LABOCHA & HAYES, 2019; SOKOLOVA, 2019; STAGER et al., 2020).

A homeotermia é a capacidade de manter a temperatura constante ou com pequenas alterações, independente da variação ambiental, enquanto na heterotermia a temperatura corporal muda de acordo com as condições do meio. A diferença dos ectotérmicos com os heterotérmicos é que esses últimos promovem uma mudança somente momentânea de temperatura corporal, como por exemplo, durante a hibernação ou o torpor, mas conseguem produzir calor endógeno (GANSLOBER & JANN, 2019; SOKOLOVA, 2019).

Poiqilotérmicos, como a maioria dos peixes e invertebrados, são animais que apresentam um conjunto de características fisiológicas, como baixos níveis de calor metabólico, rápida perda de calor e alta condutividade térmica com o meio externo, que se associam com fatores ambientais. Isso faz com que sua temperatura corporal varie conforme a temperatura ambiental em condições fisiológicas, abrangendo uma grande variação. Esses animais não são considerados ectotérmicos em sua totalidade pois podem ser encontrados indivíduos endotérmicos no grupo, como o caso dos atuns (GANSLOBER & JANN, 2019; SOKOLOVA, 2019).

### **3.1 Características das aves que influenciam na temperatura corporal**

As aves compõem um grupo com diversas diferenças e particularidades anatômicas. Dentre suas peculiaridades ligadas à termorregulação podem ser citadas o corpo revestido de penas, presença de ranfoteca em diversos tamanhos e formatos, pernas muitas vezes alongadas e não isoladas termicamente e ausência de glândulas sudoríparas (RYELAND et al. 2017; LEITE, 2020; ROGALLA et al., 2021).

Ainda que algumas partes do corpo, como a ranfoteca, pernas e garras, tenham evoluído para outros fins principais, elas podem apresentar importante

função no processo de termorregulação por não serem isoladas por penas e por terem uma abundante vascularização, compondo janelas termorregulatórias (TATTERSALL et al., 2017; ROGALLA et al., 2021). A regulação da vascularização dessas áreas ocorre em quadro de estresse térmico e na medida que o fluxo sanguíneo aumenta, a capacidade de dissipar calor por essas superfícies é otimizada (TATTERSALL et al., 2017).

As penas são estruturas acessórias extremamente importantes que realizam o isolamento da superfície corporal das aves e mantêm uma camada de ar protetora subjacente (LEWDEN et al., 2017b; STAGER et al., 2020; ROGALLA et al., 2021). Elas retêm temperatura no clima frio e reduzem a transferência de calor para a pele exposta a altas temperaturas (TATTERSALL et al., 2017; POLLOCK et al., 2019). Essa função é evidenciada em mudanças nas plumagens de acordo com a sazonalidade do clima e no fato de exemplares que habitam locais de clima frio apresentarem penugens com densidade maior para aprimorar a conservação de calor (POLLOCK et al., 2019).

A ranfoteca, considerada uma janela termorregulatória essencial em quase todas as aves, sofreu influência em seu tamanho pela temperatura ambiente, e no formato, pelo tipo de forrageamento realizado pela espécie (RYELAND et al. 2017; ROGALLA et al., 2021). Sua capacidade de dissipar calor é proporcional à extensão de sua superfície em relação ao corpo (TATTERSALL et al., 2017) Como exemplo, em tucanos-toco (*Ramphastos toco*) o bico representa em média 40% da área corporal e dissipa até 60% do calor corpóreo (RYELAND et al., 2017).

Em tentilhão-de-solo-pequeno (*Geospiza fuliginosa*) foi suposto que taxas mais altas de perdas evaporativas pode implicar no resfriamento da superfície do bico de forma mais eficaz, um fator que pode contribuir para sua presença em ambientes termicamente desafiadores (TATTERSALL et al., 2017). Em linhagens de corujas-das-torres (*Tyto furcata*) foi observado que indivíduos habitantes de climas mais frios apresentam bicos menores e o comportamento noturno, que implica em menor risco de superaquecimento, faz com que o tamanho reduzido do bico seja um modo evitar a perda de calor (ROGALLA et al., 2021).

### 3.2 Formas de troca de calor

Para manter a homeostase, é necessário haver um equilíbrio entre o ganho juntamente com a produção de calor, *versus* a sua perda (BELVAL & ARMSTRONG, 2018). A princípio, existem as formas latente e sensível para a dissipação da temperatura corporal, sendo que a perda de calor latente ocorre de forma ativa por mecanismos evaporativos, enquanto a perda de calor sensível ocorre de forma passiva, a partir de um gradiente de temperatura entre superfícies (LEITE, 2020).

O processo de perda de calor evaporativo é o mecanismo de resfriamento predominante nas aves e nos mamíferos (BELVAL & ARMSTRONG, 2018). Nas primeiras, esse processo ocorre principalmente por meio da respiração ofegante devido à ausência de glândulas sudoríparas. Por ser um processo ativo, há maior gasto energético para resfriar o corpo por meio da perda de calor latente (LEITE, 2020).

De forma sensível e passiva, o calor corpóreo pode ser dissipado por meio da convecção e da condução (SÁ-FILHO et al., 2018; GONÇALVES, 2020; LEITE, 2020). A convecção é a troca de calor entre o corpo e um fluxo adjacente, sendo realizado normalmente entre a corrente de ar e a superfície corporal das aves durante o voo. Na condução, a troca de calor acontece entre dois corpos sólidos por contato e é amplificada pelo aumento no fluxo sanguíneo periférico (BELVAL & ARMSTRONG, 2018).

Quanto maior a diferença de temperatura entre os corpos, maior será a eficiência do mecanismo sensível, e caso esse gradiente se reduza a zero, a ativação do mecanismo latente é realizada (GONÇALVES, 2020; LEITE, 2020). Entretanto, devido à presença das penas, a troca de calor sensível nas aves é limitada e pouco eficiente, tornando o resfriamento evaporativo essencial na termorregulação. Além disso, mudanças comportamentais também são vistas como estratégias de dissipação de calor, como manter as asas abertas, deitar em superfície mais fria, buscar abrigos e locais sombreados, bem como aumentar o consumo de água (SÁ-FILHO et al., 2018).

### 3.3 Termorregulação e o sistema endócrino

Por serem endotérmicas, as aves conseguem manter a temperatura corporal mesmo frente a algumas variações ambientais (LABOCHA & HAYES, 2019; STAGER et al., 2020). Isso ocorre por meio de adaptações morfofisiológicas e comportamentais, incluindo a regulação endócrina. Tal fato permite que elas vivam em uma ampla gama de habitats, como por exemplo, em áreas desérticas de temperatura elevada, como a abetarda-gigante (*Ardeotis kori*), e espécies que residem em regiões de frio extremo com temperatura ambiente muito abaixo da temperatura corporal, como a coruja-das-neves (*Bubo scandiacus*) (RUUSKANEN et al., 2021).

O sistema de termorregulação responsável por manter a constância na temperatura corporal pode ser dividido em três partes. Na primeira parte, a sensorial, há osmorreceptores, barorreceptores e termorreceptores periféricos, centrais e viscerais para detecção de mudanças ambientais. Enquanto isso, a parte integradora está presente no centro termorregulador do hipotálamo anterior e monitora mudanças de temperatura ambiente pelos neurônios termossensíveis e termorreceptores periféricos. Por último, há a parte de comando que envolve sinais neurológicos e endócrinos para controle da temperatura corporal por termogênese sem tremores, termogênese com tremores, perda de calor evaporativo, vasodilatação ou vasoconstrição periférica e mudanças comportamentais (RUUSKANEN et al., 2021).



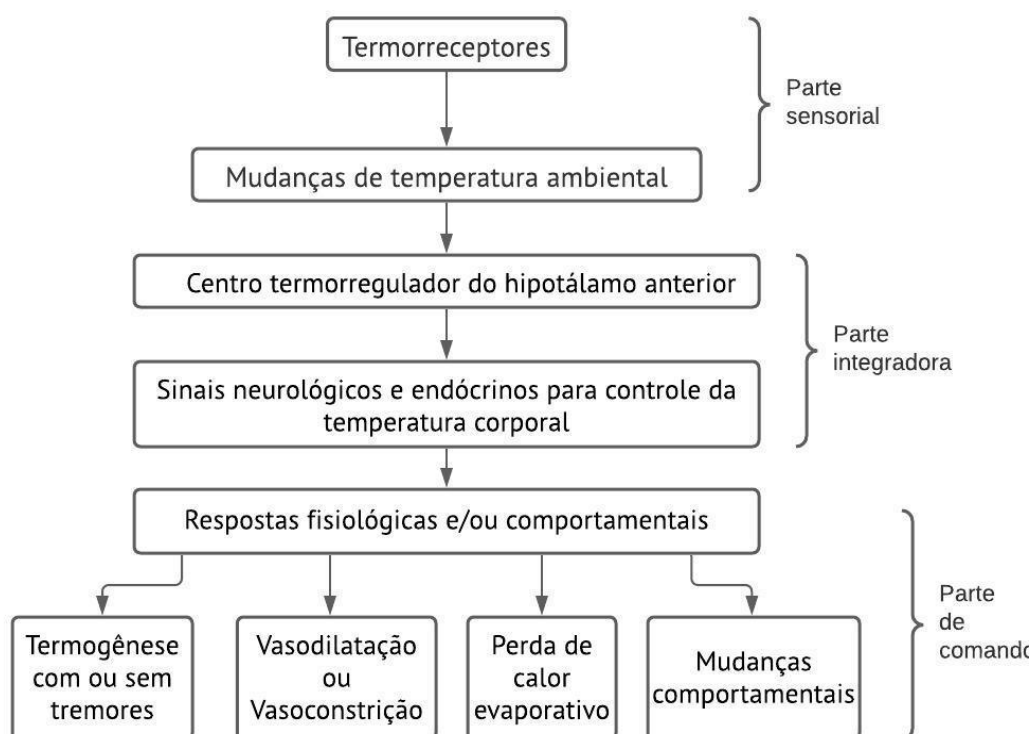


FIGURA 1 - Esquema simplificado dos mecanismos de termorregulação.

A produção do calor metabólico, ou seja, a termogênese, é subdividida em com tremor e sem tremor. A primeira é desencadeada quando há uma exposição maior ao frio, com aquecimento corpóreo através de contrações musculares por controle neuronal e é a forma mais eficiente em aves. Na termogênese sem tremores, a produção de calor é feita a partir de produção metabólica de energia, com fosforilação oxidativa e ativação do tecido muscular e hepático, e o aumento na taxa metabólica por hormônios tireoidianos que são os mais importantes nas funções termorregulatórias (BELVAL & ARMSTRONG, 2018).

Os termorreceptores enviam sinais ao centro termorregulador da região pré-óptica do hipotálamo anterior, que estimula o núcleo paraventricular hipotalâmico e resulta em maior produção e secreção do hormônio liberador de tireotropina (TRH). O TRH por sua vez estimula os tireotrofos presentes na hipófise anterior para liberarem o hormônio estimulador da tireoide (TSH), o qual ativa os receptores da tireoide. Toda essa sucessão de interações do eixo hipotálamo-hipófise-tireóide aumenta a síntese dos hormônios tireoidianos, principalmente o

T4, que é transformado nos tecidos em T3 pela enzima deiodinase (DIO1-3). A exposição ao frio eleva a conversão de T4 em T3, primordialmente pelo fígado e esse mecanismo é controlado por *feedback* negativo de T3 na secreção de TRH e TSH (RUUSKANEN et al., 2021).

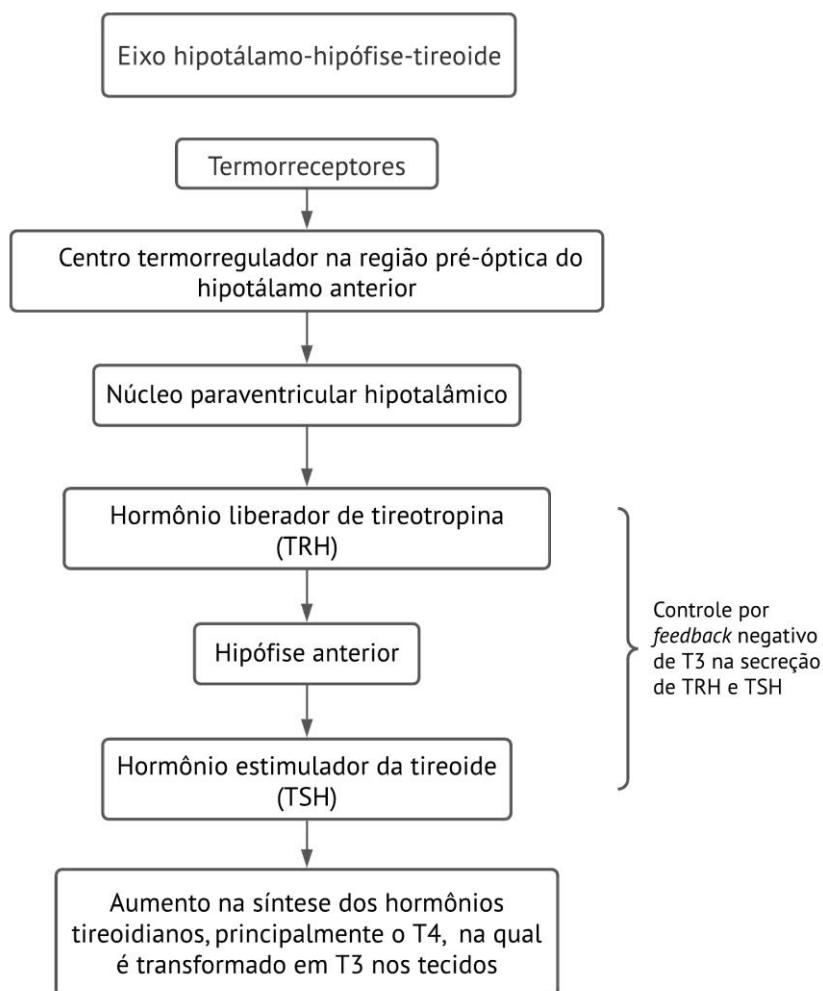


FIGURA 2 - Esquema simplificado do eixo hipotálamo-hipófise-tireoide.

Para comprovar a influência endócrina na termorregulação, pesquisas realizadas induziram um quadro de hipotireoidismo em aves e demonstraram uma menor produção de calor. Em contrapartida, o hipertireoidismo induziu maior termogênese em espécies como escrevedeira-pigmeia (*Emperiza pusilla*), pintassilgo-americano (*Carduelis tristis*), chapim-real (*Parus major*) e chapim-montês (*Poecili montanus*). Além disso, evidências comprovam a correlação positiva entre a concentração de hormônios tireoidianos e a taxa metabólica basal.

Assim como se especulava, a temperatura ambiente mais baixa também influencia na maior conversão hepática de T4 em T3 pela expressão de deiodinase tipo 2 (DIO2), enquanto o estresse térmico diminui sua expressão (RUUSKANEN et al., 2021).

O principal glicocorticoide em aves é a corticosterona, que é liberada pelas glândulas adrenais quando ocorre estresse, como nas mudanças bruscas de temperatura. Esses quadros fazem com que haja liberação do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) no hipotálamo que induzem a secreção de corticosterona. Teorias supõem que esse hormônio mobiliza reservas internas de energia e ativa o comportamento de forragear para manter a taxa metabólica alta em ambientes frios. A corticosterona atua na síntese de glicose a partir do glicogênio hepático ou de reservas de gordura e pode influenciar na forma em como o indivíduo irá responder e se adaptar às mudanças de temperatura. Todavia, também foi demonstrado uma possível relação da corticosterona com a temperatura corporal periférica em mudanças lentas de temperaturas, como ocorre entre as estações do ano (RUUSKANEN et al., 2021).

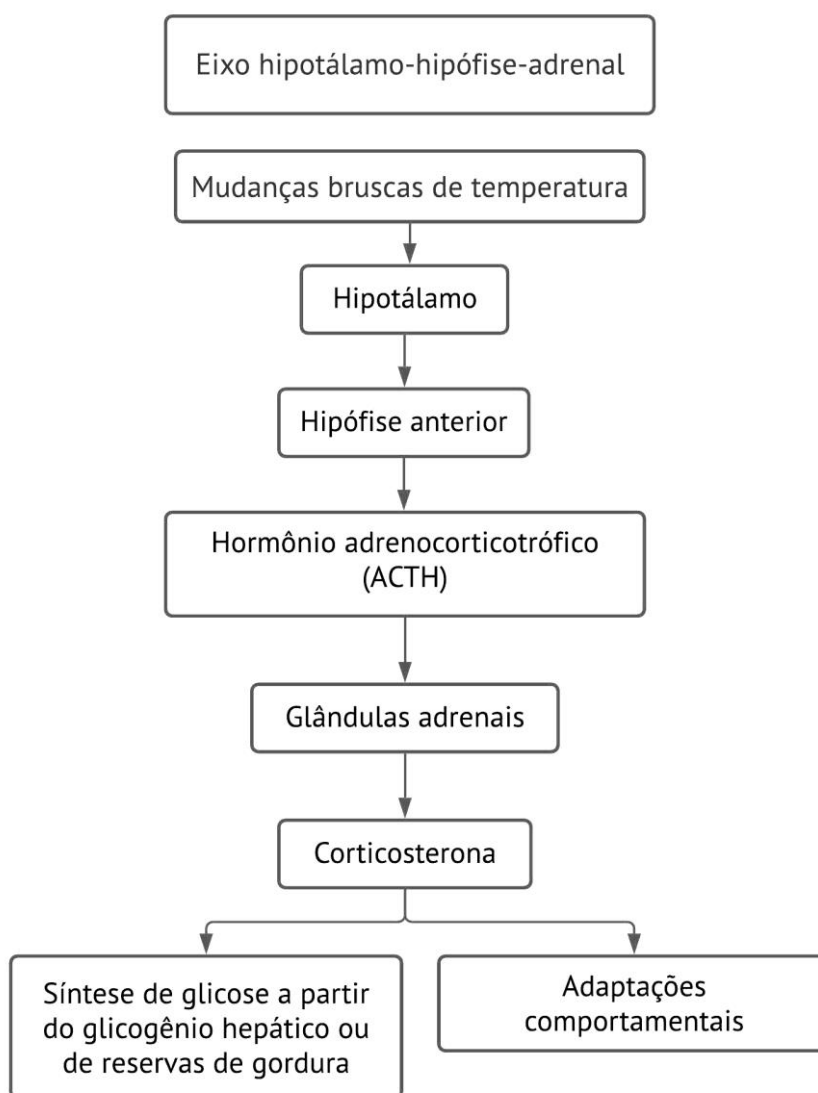


FIGURA 3 - Esquema simplificado do eixo hipotálamo-hipófise-tireoide.

Alguns outros eixos hormonais também podem estar relacionados com a termorregulação. Por exemplo, o neuropeptídeo Y de carácter orexígeno é secretado em maior quantidade em resposta ao frio; a melatonina melhora o isolamento térmico e a produção máxima de calor, conferindo maior resistência ao frio; a leptina eleva após estresse agudo de temperatura; e a grelina, produzida principalmente pelo trato gastrointestinal, que por efeitos indiretos, aumenta a concentração de corticosterona, T4 e glicose. Tanto a leptina quanto a grelina estão associadas com o ganho de massa corporal em experimentos realizados por

HENDERSON et al. (2018) com chapim-carvoeiro (*Periparus ater*), o que possivelmente ajuda na termorregulação no inverno (RUUSKANEN et al., 2021).

Em espécies que vivem em ambientes quentes e secos é importante compreender a regulação endócrina no equilíbrio hídrico. Um dos principais hormônios que realizam essa regulação é a arginina vasotocina, produzida na hipófise posterior. Estudos feitos com estorninho-comum (*Sturnus vulgaris*) demonstraram que a arginina vasotocina pode diminuir a frequência cardíaca em atividades rotineiras, enquanto em pombos (*Columba livia*), ela reduz a produção de tremores e a temperatura corporal. Posteriormente, descobriu-se que a mesma aumenta os níveis plasmáticos de T4 e diminui os de T3 (RUUSKANEN et al., 2021).

Na hipotermia facultativa, há a diminuição da temperatura corporal frente ao clima frio ou escassez de alimentos, o que leva à economia energética. Hormônios como a corticosterona e a testosterona podem estar relacionados com esse mecanismo, em beija-flores por exemplo, a corticosterona induz o torpor. Adicionalmente, em todis-de-porto-rico (*Todus mexicanus*) foi evidenciado que o torpor era restrito apenas para as fêmeas e em laverças (*Alauda arvensis*) e chapins-azuis (*Cyanistes caeruleus*), a hipotermia foi mais acentuada nas fêmeas, o que indica a função limitadora desse mecanismo pela testosterona. Experimentos com frangos revelaram que a combinação de frio com jejum suprimiu a deiodinase hepática (DIO2) e níveis séricos de T3, sugerindo que os hormônios tireoidianos possam ter papel regulador na hipotermia relativa sob essas condições (RUUSKANEN et al., 2021).

O processo de aclimatização da termorregulação compreende mudanças fisiológicas ou comportamentais provisórias que permitem ao indivíduo lidar com as variações de temperatura. Em aves migratórias como o pardal-de-coroa-branca (*Zonotrichia leucophrys*) e maçaricos-de-papo-vermelho (*Calidris canutus*), os níveis de hormônios tireoidianos se modificam sazonalmente e podem regular o gasto de energia de acordo com as condições ambientais. Por outro lado, foi evidenciado que os passeriformes possuem a maior capacidade termogênica, isso se deve por aumento sazonal da musculatura esquelética envolvida na termogênese e do volume de órgãos como o coração e o fígado. Essas adaptações

são relacionadas com a maior atividade de enzimas respiratórias e níveis elevados de T3 (RUUSKANEN et al., 2021).

### **3.4 Termorregulação no frio**

Por serem seres endotérmicos, no geral as aves apresentam a temperatura corporal superior à do ambiente, o que em ambientes frios, requer adaptações para intensificar o ganho de calor ou minimizar sua perda (BELVAL & ARMSTRONG, 2018). Em locais de baixa temperatura, os animais frequentemente sofrem com a redução de alimentos e da luz do dia, com um maior intervalo de tempo em jejum. Em oposição ao que ocorre em mamíferos, as aves permanecem ativas mesmo frente a tais adversidades, por isso desenvolveram mecanismos eficientes de termorregulação que mantêm a temperatura corporal constante (STAGER et al., 2020).

No frio extremo, a hibernação e o torpor observados em mamíferos poderiam ser alternativas viáveis, entretanto, os fatores fisiológicos e comportamentais da termorregulação das aves fazem com que tais mecanismos possam ser dispensáveis (KEMP et al., 2017; TEGAN et al., 2017). O torpor é um estado em que o indivíduo se encontra letárgico e não responsivo, o que o deixa vulnerável a predadores e inviabiliza sua ocorrência nas aves que são presas na natureza. A possibilidade da realização do torpor ou hibernação foi levantada apenas para algumas espécies insetívoras e de táxons mais antigos, como os caprimulgídeos e apodiformes, embora a escassez de estudos limite afirmações conclusivas (TEGAN et al., 2017; LUND et al., 2020).

Dentre os mecanismos utilizados para aquecimento ou redução de perda de calor pelas aves, há os comportamentais quando essas buscam abrigos, áreas com radiação solar ou se agrupam em bandos (TEGAN et al., 2017; STAGER et al., 2020). Fisiologicamente, as aves apresentam duas estratégias primárias para manter a temperatura corporal. A primeira é aumentar a produção de calor com tremores musculares a partir de sua alta taxa metabólica, entretanto, esse mecanismo pode ter efeito deletério por consumir energia e intensificar a demanda de alimentos (STAGER et al., 2020).

A segunda estratégia consiste na diminuição da condutância térmica de calor do corpo para o ambiente, por meio da proteção das áreas sem penas (STAGER et al., 2020). Nessa, geralmente observa-se que as aves posicionam o bico entre as penas do dorso para protegê-lo, posição conhecida como *back rest* (RYELAND et al., 2017), retraem os membros pélvicos para junto do corpo e eriçam as penas para ajustar sua densidade, criando uma camada de ar quente isolante na superfície corporal (STAGER et al., 2020; ROGALLA et al., 2021).

As aves também podem reduzir a temperatura corporal para evitar a perda excessiva de calor para o ambiente. Estudos sugerem que essa hipotermia relativa reduz o gasto de energia em até 30% e diminui a perda de calor para o ambiente frio. A redução da taxa metabólica se torna eficiente principalmente à noite, em que a temperatura tende a ser mais baixa e a maior parte das espécies de aves está em repouso. Esse mecanismo é relatado principalmente em aves do gênero *Junco* e resulta na redução da temperatura corporal em até 7° C, sem grandes efeitos deletérios. Ele é considerado uma condição transitória e de curta duração, de modo que as aves retornam à normotermia facilmente quando as condições termais do ambiente se tornam favoráveis (TEGAN et al., 2017; STAGER et al., 2020).

Anatomicamente as aves evoluíram para se adaptar ao ambiente em que vivem. Algumas espécies de passeriformes, por exemplo, podem apresentar penas com densidade maior em épocas mais frias (STAGER et al., 2020). Espécies de ambientes temperados, por suportarem uma temperatura ambiental mais extrema, exibem características evolutivas que auxiliam na conservação de calor, como a adaptação a uma zona termoneutra ampliada que poupa energia para a manutenção da homeostase, a redução na condutância térmica e a presença de penas mais densas que otimizam o isolamento térmico durante o inverno (POLLACK et al., 2019).

Os filhotes de pato-do-mato (*Cairina moschata*), quando em jejum e em ambientes termoneutros, reduzem a circulação sanguínea nas janelas termorregulatórias para limitar a condutância térmica e reduzir os custos energéticos para manter a temperatura corporal. Adicionalmente, em aves grandes, como espécies de gansos e pinguins maiores, a redução da temperatura central é

muito pequena e é compensada pelo declínio na taxa metabólica basal durante o jejum (LEWDEN et al., 2017a).

A maioria dos animais, quando em condições que desafiam seu metabolismo energético, a exemplo da escassez de alimento e frio intenso, podem aumentar o tecido adiposo como estoque de energia, como o acúmulo de gordura abdominal e subcutânea. Um dos exemplos mais marcantes são os pinguins-imperadores machos (*Aptenodytes forsteri*) que podem ficar até quatro meses em jejum durante o período reprodutivo em pleno inverno ártico, com temperatura do ar que pode atingir  $-40^{\circ}\text{C}$  (LEWDEN et al., 2017a;b).

Espécies da ordem de Sphenisciformes conseguem realizar jejum prolongado graças à gordura subcutânea e abdominal estocada antes do período crítico. Além disso, elas realizam o comportamento de se aglomerarem para reduzir a perda de calor. Pinguins também contam com uma camada de ar isolante entre as plumagens e a pele, que exerce dupla função, primeiro como reservatório de energia e segundo como importante isolante térmico (LEWDEN et al., 2017a;b).

Algumas espécies de pinguins, como o pinguim-rei (*Aptenodytes patagonicus*), podem empregar mecanismos adaptativos para o mergulho em águas frias. Dentre eles podem ser citadas a termogênese com tremores e a hipotermia relativa ou regional, que reduz custos para a normotermia (LEWDEN et al., 2017a;b; ROUSSEL et al., 2020).

Outro método importante para reduzir a perda de calor corpóreo utilizado por sphenisciformes é a construção de ninhos em locais rochosos. A disposição das rochas pode formar abrigos e foi demonstrado para exemplares de pinguim-azul (*Eudyptula minor*) que esse modo de nidificação resulta em um sucesso reprodutivo maior, pois requer menor gasto energético e pouca modificação comportamental para a termorregulação (COLOMBELLI-NÉGREL, 2019).

Nas demais aves marinhas, a camada de ar que se encontra entre as penas se torna sua grande proteção, mas por mais que o ar seja um isolante melhor do que a gordura, ao mergulhar em grandes profundidades esse isolamento se fragiliza. Dessa forma, para espécies como os corvos-marinhos, que dependem unicamente dessa camada, os desafios termorregulatórios se acentuam, pois perdem facilmente calor (LEWDEN et al., 2017b).



### 3.5 Termorregulação no calor

A participação dos sistemas endócrino e neurológico ocorre igualmente na dissipação de calor e as aves possuem uma grande plasticidade de respostas termorregulatórias. Uma delas é a hipertermia relativa, que consiste na elevação temporária da temperatura corporal frente a um estresse térmico, o que reduz a necessidade de resfriamento evaporativo e a demanda de consumo de água (RUUSKANEN et al., 2021).

Aves que vivem em ambientes áridos e desérticos devem possuir mecanismos de dissipação de calor mais eficientes para driblar a exposição à radiação solar intensa, além da falta de recursos hídricos (SMITH et al., 2017; TALBOT et al., 2017). Ademais, os padrões climáticos dos últimos anos indicam que as ondas de calor aumentarão progressivamente devido ao aquecimento global, podendo ultrapassar as habilidades termorregulatórias das aves e gerar eventos de mortalidade em massa (McWHORTER et al., 2018; O'CONNOR et al., 2018; TALBOT et al., 2018).

A forma passiva de dissipação térmica é realizada pelas áreas do corpo não isoladas, chamadas janelas térmicas, que em ambientes quentes, têm o fluxo sanguíneo capilar ampliado, principalmente nos membros pélvicos e na ranfoteca (ROGALLA et al., 2021). Em contraposição, na forma de perda ativa de calor, as aves apresentam três respostas principais de resfriamento latente ou por evaporação, que englobam a respiração ofegante, a via cutânea e o *gullar flutter* (TALBOT et al., 2017).

Quando a temperatura ambiente ultrapassa a temperatura corporal, a perda de calor por evaporação intensa é a única opção para se manter o corpo em uma situação compatível com a vida. Alguns estudos revelam que esse tipo de mecanismo de resfriamento pode ser deletério, pois depende da movimentação ativa da musculatura respiratória, o que resulta em gasto energético e, conseqüentemente, na produção de calor a ser dissipado, com perda conjunta de líquido corporal (O'CONNOR et al., 2017; SMITH et al., 2017; TALBOT et al., 2018).

No caso do mecanismo de *gullar flutter*, esse consiste no ato da ave vibrar rapidamente o osso hioide, na maioria das vezes de forma assíncrona com a

respiração. Ele apresenta vantagens sobre a respiração ofegante, pois é eficiente na perda de calor evaporativo, uma vez que a superfície e a vascularização orais são intensas, além de não elevar intensamente a taxa metabólica (TALBOT et al., 2017). Nesse contexto, espécies que empregam predominantemente o *gullar flutter* ou a evaporação cutânea na perda de calor, como por exemplo os caprimulgiformes e os columbiformes, possuem o resfriamento evaporativo mais eficiente porque a razão entre a perda de calor evaporativo e a taxa metabólica é superior ao daqueles que realizam a respiração ofegante, além de ter pouco ou nenhum custo metabólico (O'CONNOR et al., 2018).

A ordem Caprimulgiformes possui espécies crepusculares e noturnas, como os bacuraus, que toleram uma ampla variação de temperatura. Tais indivíduos apresentam taxas metabólicas basais menores em comparação a outros grupos de mesmo porte, o que contribui para a redução de calor gerado e possibilita maior tolerância térmica. Além disso, sua principal via de perda de calor evaporativo é o *gullar flutter* (MCKECHNIE et al., 2017; O'CONNOR et al., 2017), dessa forma, TALBOT et al. (2017) e O'CONNOR et al. (2017) evidenciaram que espécies dessa ordem conseguem se empoleirar e construir ninhos em ambientes abertos e com áreas escassas de sombra, com temperaturas de até 70°C no solo.

Semelhantemente, em aves da ordem Columbiformes, a via mais eficaz de perda de calor evaporativo em estresse térmico é a cutânea, que gera pouca resposta metabólica (MCKECHNIE et al., 2017; TALBOT et al., 2017; TALBOT et al., 2018). Tal característica faz com que essas aves sejam mais resistentes ao calor extremo, permanecendo ativa por todo o período do dia, mesmo sob exposição solar (McWHORTER et al., 2018).

Por outro lado, em pequenos passeriformes, a respiração ofegante é a via principal para redução do calor corporal. Esse mecanismo é menos eficiente no resfriamento corpóreo, além de elevar a taxa metabólica e a perda de água corporal, o que torna esse grupo altamente sensível ao estresse térmico (MCKECHNIE et al., 2017; McWHORTER et al., 2018). Evidências do impacto climático das últimas décadas já podem ser observadas em passeriformes da Austrália, com mudanças no tamanho corporal em análises recentes (MCKECHNIE et al., 2017). Por isso, adaptações comportamentais se tornaram essenciais para a sobrevivência dessas aves, como a procura por microclimas ambientais amenos,

ingestão hídrica em poças de água nos horários menos quentes, manutenção das asas abertas e em movimento para ventilação, pressionamento da região ventral do corpo ao solo mais frio e redução de atividades em horários mais quentes (McWHORTER et al., 2018).

Aves da ordem Psittaciformes também reduzem o calor corporal por meio da evaporação cutânea, da respiração ofegante e do *lingual flutter*, que é a vibração da língua análoga ao *gullar flutter* e por medidas comportamentais. Comparadas às demais ordens, os psitaciformes se assemelham aos passeriformes, com pouca tolerância a temperaturas extremas de calor (McWHORTER et al., 2018).

Em rapinantes a fisiologia da termorregulação pode variar entre as espécies. Foi observado que aquelas que habitam locais com climas mais quentes possuem uma taxa metabólica de repouso menor do que as que vivem em climas temperados. O bico dessa ordem em geral evoluiu de acordo com o tamanho do crânio e as garras de acordo com as presas, não priorizando fatores termorregulatórios (ROGALLA et al., 2021).

Um estudo realizado por ROGALLA et al. (2021) avaliou as águias-pescadoras (*Pandion haliaetus*), espécie migratória e cosmopolita, associada ao ambiente aquático. Essas aves apresentam uma fisiologia termorregulatória incomum por permanecerem em diferentes habitats durante a migração, com adaptações térmicas específicas que se enquadram na Regra de Bergmann. Essa teoria afirma que indivíduos que se reproduzem em climas mais frios e em latitudes mais altas tendem a ser maiores do que indivíduos de climas tropicais ou subtropicais. Um tamanho corporal maior propicia um melhor equilíbrio hídrico, porém torna o indivíduo mais sensível ao estresse térmico, fator que pode explicar o baixo limite de temperatura ambiente ( $>26,3^{\circ}$  C) em que a espécie inicia a respiração ofegante.

No caso das águias-pescadoras, apesar da excelente vascularização a ranfoteca desempenha um papel termorregulatório menor devido à sua pequena área de superfície. Em contraposição, os pés e as garras compõem 9% da área corporal total e são responsáveis por 13% da troca de calor. Áreas como o dorso, que possuem uma plumagem mais densa, são altamente isolantes e restringem o resfriamento do corpo, entretanto, o tronco desses rapinantes é uma importante

área de dissipação devido à sua extensa superfície relativa. A zona termoneutra específica para as águias-pescadoras não foi definida, porém foi titulada com temperaturas entre 23 e 32° C, semelhante à da coruja-das-torres (*Tyto furcata*). Como resposta ao estresse térmico, esses exemplares realizam a abertura das asas para aumentar a dissipação de calor por radiação, convecção e a respiração ofegante, apresentando ainda uma significativa evaporação cutânea (ROGALLA et al., 2021).

Na ordem Strigiformes, os exemplares são conhecidos por nidificar em tocas e se empoleirar em árvores, refúgios térmicos que os protegem das ondas de calor, podendo suportar uma temperatura média do ar de aproximadamente 48° C (O'CONNOR et al., 2017; TALBOT et al., 2018). Levando em consideração as habilidades termorregulatórias, estudos apontaram que as corujas se encontram em nível intermediário entre os caprimulgídeos e os passeriformes de desertos, pois apresentam uma taxa metabólica mais baixa quando em zonas termoneutras e o mecanismo de *gullar flutter* eficiente (TALBOT et al., 2018). No entanto, não conseguem poupar eficientemente a perda de líquido corporal em altas temperaturas, sendo a razão entre a perda e a produção de calor metabólico mais baixa em relação aos caprimulgiformes (O'CONNOR et al., 2017).

Algumas espécies de strigiformes apresentam uma resposta hipertérmica em conjunto com o mecanismo de perda de calor evaporativo, o que permite poupar energia para resfriamento e reduzir o ganho de calor do ambiente (TALBOT et al., 2018). Nas corujas de porte maior, foi evidenciado que a realização do *gullar flutter* pode ocorrer juntamente com a respiração ofegante em estresse térmico. Espécies como a coruja-das-torres (*Tyto furcata*), coruja-buraqueira (*Athene cunicularia*) e corujão-orelhudo (*Bubo virginianus*) apresentaram sincronia entre os dois mecanismos quando foram colocadas em condição de calor crescente no ambiente controlado de laboratório (O'CONNOR et al., 2017). Entretanto, para as corujas menores, o abrigo adequado se torna essencial, porém pode não ser suficientes para protegê-las no clima futuro vigente, uma vez que elas são mais sensíveis do que espécies noturnas (O'CONNOR et al., 2017; TALBOT et al., 2018).

As aves noturnas possuem mecanismos de resfriamento evaporativos eficientes e conseguem poupar a perda de água corporal para reduzir o risco de

desidratação durante o dia. Elas apresentam consumo hídrico mais restrito, permanecendo até 14 horas sem ingestão de água. Em contrapartida, as aves diurnas por passarem por grandes períodos em exposição ao calor, compensam a perda de água por evaporação no consumo hídrico mais frequente e no ato de forragear (O'CONNOR et al., 2018).

O estudo realizado por CZENZE et al. (2020) com aves da África Austral demonstrou que a necessidade de consumo de água está relacionada com a dieta. Por exemplo, espécies granívoras consomem mais água do que espécies insetívoras e onívoras, que possuem maior teor hídrico na alimentação. Para espécies com maior disposição de água e que fazem ingestão frequente, o resfriamento por eliminação líquida é uma importante forma de dissipar calor, com algumas espécies, como os abutres, apresentando ato de defecar nas pernas (BELVAL & ARMSTRONG, 2018). Considerando também que alguns exemplares voam grandes distâncias para chegar às fontes de água, os mesmos possuem menor capacidade de manter a temperatura corporal em níveis não letais, mas em contrapartida, apresentam um limite maior de tolerância ao calor antes que ocorra um quadro de hipertermia.

Tal fator também é apontado em espécies de aves do deserto africano Kalahari, em que aquelas que costumam beber água iniciam a respiração ofegante em temperaturas ambientes menores do que as que não o fazem. Nos grupos em que a fonte primária de água são os insetos ou outras presas, a eficiência no forrageamento e em comportamentos como respiração ofegante, queda das asas para maior ventilação e busca de lugares sombreados se tornam compensatórios para conservar água. Todavia, espécies insetívoras e carnívoras estão em declínio em locais que demandam grande necessidade de resfriamento, tal vulnerabilidade pode estar relacionada ao baixo limiar de calor tolerado e a uma possível desidratação e hipertermia letal (CZENZE et al., 2020).

Em ratitas, ordem composta por aves de grande porte como avestruzes, emas, emus e casuares, as mudanças comportamentais são as principais estratégias de resfriamento no calor. Tais exemplares abrem suas asas e bico para aumentar a superfície de troca de calor e podem realizar a respiração ofegante de forma conjunta. A procura por sombras e aumento no consumo hídrico também são observados (SÁ-FILHO et al., 2018).

### 3.6 Conclusão

As mudanças climáticas observadas nas últimas décadas, têm sido mais severas e implicam em maior conhecimento da anatomia, fisiologia e comportamento de termorregulação das aves, assim como das particularidades entre as espécies. Ao compreender tais mecanismos, os profissionais que atuam na conservação, manejo e na clínica médica desses animais podem contar com recursos mais eficazes e elaborar estratégias para garantir a sobrevivência das populações de vida livre, bem como os pacientes hospitalizados.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELVAL, L. N.; ARMSTRONG, L. E. Comparative physiology of thermoregulation. In: CASA, D. J. **Sport and physical activity in the heat**, Philadelphia: Springer Springer, cap. 1, p. 3-14, 2018.

COLOMBELLI-NÉGREL, D. Benefits, costs and trade-offs of nesting habitat selection in Little Penguins. **Journal of Ornithology**, Adelaide, v. 160, n. 2, p. 515-527, 2019.

CZENZE, Z. J.; KEMP, R.; JAARSVELD, B. V.; FREEMAN, M. T.; SMIT, B.; WOLF, B. O.; MCKECHNIE, A. E. Regularly drinking desert birds have greater evaporative cooling capacity and higher heat tolerance limits than non-drinking species. In: **Functional Ecology**, Pretória, v. 34, n. 8, p. 1589-1600, 2020.

DE PIACENTINI, V. Q.; ALEIXO, A.; AGNE, C.E.; MAURÍCIO, G. N.; PACHECO, J. F.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. .R.; NAKA, L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S.; SILVEIRA, L. F.; BETINI, G. S.; CARRANO, E.; FRANZ, I.; LEES, A. C.; LIMA, L. M.; PIOLI, D.; SCHUNCK, F.; AMARAL, F. R.; BENCKE, G. A.; COHN-HAFT, M.; FIGUEIREDO, L. F. A.; STRAUBE, F. C.; CESARI, E. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 91-298, 2015.

FONSECA, A. R.; CORRÊA MENEZES, C.; GOMIDES, C. E.; SILVA SANTOS, D. Aves em liberdade: solte essa ideia!: relato de ações extensionistas voltadas para a preservação ambiental. **Revista Em Extensão**, Minas Gerais, v. 17, n. 1, p. 243-260, 2018.

GANSLOBER, U.; JANN, G. Thermoregulation in Animals: Some Fundamentals of Thermal Biology. In: FATH, B. D. **Encyclopedia of Ecology (Second Edition)**, Greifswald, v. 3, ed. Oxford: Elsevier, p. 328-336, 2019.

GONÇALVES, I. C. M. **Análise térmica computacional de aviário no semiárido brasileiro**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba.

HENDERSON, L. J.; COCKCROFT, R. C.; KAIYA, H.; BOSWELL, T.; SMULDERS, T. V. Peripherally injected ghrelin and leptin reduce food hoarding and mass gain in the coal tit (*Periparus ater*). **Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences**, Newcastle upon Tyne, v. 285, n. 1879, p. 20180417, 2018.

KEMP, R.; NOAKES, M. J.; MCKECHNIE, A. E. Thermoregulation in free-ranging ground woodpeckers *Geocolaptes olivaceus*: no evidence of torpor. **Journal of Avian Biology**, Pretória, v. 48, n. 10, p. 1287-1294, 2017.

LABOCHA, M. K.; HAYES, J. P. Endotherm. In: FATH, B. **Encyclopedia of Ecology (Second Edition)**, Nevada, v. 3, ed. Oxford: Elsevier, p. 368–374, 2019.

LEITE, P. G. **Dissipação de energia térmica e desempenho produtivo de galinhas d'angola submetidas a diferentes condições ambientais**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

LEWDEN, A.; ENSTIPP, M. R.; BONNET, B.; BOST, C.; GEORGES, J. Y.; HANDRICH, Y. Thermal strategies of king penguins during prolonged fasting in water. **Journal of Experimental Biology**, Strasbourg, v. 220, n. 24, p. 4600-4611, 2017. (a)

LEWDEN, A.; ENSTIPP, M. R.; PICARD, B.; WALSUM, T. V.; HANDRICH, Y. High peripheral temperatures in king penguins while resting at sea: thermoregulation versus fat deposition. **Journal of Experimental Biology**, Strasbourg, v. 220, n. 17, p. 3084-3094, 2017. (b)

LUND, J.; BOLOPO, D.; THOMSON, R. L.; ELLIOTT, D. L.; ARNOT, L. F.; KEMP, R.; LOWNEY, A. M.; MCKECHNIE, A. E. Winter thermoregulation in free-ranging

pygmy falcons in the Kalahari Desert. **Journal of Ornithology**, Cape Town, v. 161, n. 2, p. 549-555, 2020.

MCKECHNIE, A. E.; GERSON, A. R.; MCWHORTER, T. J.; SMITH, E. K.; TALBOT, W. A.; WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: evaporative cooling in five Australian passerines reveals within-order biogeographic variation in heat tolerance. **Journal of Experimental Biology**, Pretória, v. 220, n. 13, p. 2436-2444, 2017.

MCWHORTER, T. J.; TALBOT, W. A.; SMITH, E. K.; MCKECHNIE, A. E.; WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: evaporative cooling capacity and thermal tolerance in two Australian parrots. **Journal of Experimental Biology**, Adelaide, v. 221, n. 6, 2018.

O'CONNOR, R. S.; WOLF, B. O.; BRIGHAM, R. M.; MCKECHNIE, A. E. Avian thermoregulation in the heat: efficient evaporative cooling in two southern African nightjars. **Journal of Comparative Physiology**, Pretória, v. 187, n. 3, p. 477-491, 2017.

O'CONNOR, R. S.; SMIT, B.; TALBOT, W. A.; GERSON, A. R.; BRIGHAM, R. M.; WOLF, B. O.; MCKECHNIE, A. E. Avian thermoregulation in the heat: is evaporative cooling more economical in nocturnal birds?. **Journal of Experimental Biology**, v. 221, n. 17, Pretória, 2018.

POLLOCK, H. S.; BRAWN, J. D.; AGIN, T. J.; CHEVIRON, Z. A. Differences between temperate and tropical birds in seasonal acclimatization of thermoregulatory traits. **Journal of Avian Biology**, v. 50, n. 4, Illinois, 2019.

RODRIGUES, T. T. F.; CUNHA, G. N. Viabilidade das vias retal, axilar e oral para aferição da temperatura corporal de cães. **Ars Veterinaria**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 43-49, 2019.

ROGALLA, S.; SHAWKEY, M. D.; VANTHOURNOUT, B.; D'ALBA, L. Thermoregulation and heat exchange in ospreys (*Pandion haliaetus*). **Journal of Thermal Biology**, Gante, v. 96, p. 102857, 2021.

ROMANOVSKY, A. A. The thermoregulation system and how it works. In: ROMANOVSKY, A. A. **Handbook of clinical neurology**, 2018. v. 156, cap. 1, p. 3-43.

ROUSSEL, D.; COADIC, M. L.; ROUANET, J. L.; DUCHAMP, C. Skeletal muscle metabolism in sea-acclimatized king penguins. I. Thermogenic mechanisms. **Journal of Experimental Biology**, Villeurbanne, v. 223, n. 21, 2020.



RUUSKANEN, S.; HSU, Y. B.; NORD, A. Endocrinology of thermoregulation in birds in a changing climate. **Molecular and Cellular Endocrinology**, Turku, v. 519, p. 111088, 2021.

RYELAND, J.; WESTON, M. A.; SYMONDS, M. R. E. Bill size mediates behavioural thermoregulation in birds. **Functional Ecology**, Victoria, v. 31, n. 4, p. 885-893, 2017.

SÁ-FILHO G. F., DANTAS, M. R., SANTOS, M. M., LIMA, S. P., DANTAS, M. R. T., COSTA, L. L. M. Uma perspectiva comportamental da termorregulação de emas (*Rhea americana*). **Multidisciplinary Reviews**, Natal, n. 1: e2018001, 2018.

SMIT, B.; WHITFIELD, M. C.; TALBOT, W. A.; GERSON, A. R.; MCKECHNIE, A. E., WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: phylogenetic variation among avian orders in evaporative cooling capacity and heat tolerance. **Journal of Experimental Biology**, Grahamstown, v. 221, n. 6, 2018.

SMITH, E. K.; O'NEILL, J. J.; GERSON, A. R.; MCKECHNIE, A. E.; WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: resting metabolism, evaporative cooling and heat tolerance in Sonoran Desert songbirds. **Journal of Experimental Biology**, Albuquerque, v. 220, n. 18, p. 3290-3300, 2017.

SOKOLOVA, I. Poikilotherms. In: FAITH, B. **Encyclopedia of Ecology (Second Edition)**, Charlotte, v. 3, ed. Oxford: Elsevier, p. 558-561, 2019.

STAGER, M.; SENNER, N. R., TOBALSKE, B. W.; CHEVIRON, Z. A. Body temperature maintenance acclimates in a winter-tenacious songbird. **Journal of Experimental Biology**, Missoula, v. 223, n. 12, 2020.

STIEHL, A. C. R.; LARREA, D. S.; DIETZE, W.; SANTOS, E. O. Casuística de atendimentos do setor de animais silvestres e domésticos não-convencionais entre 2018 e 2019 no Hospital Veterinário da Ulbra - Canoas. In: **XI Salão de Extensão (Canoas)**, Rio Grande do Sul, 2019. Resumo... Rio Grande do Sul: Universidade Luterana do Brasil, 2019.

TALBOT, W. A.; MCWHORTER, T. J.; GERSON, A. R.; MCKECHNIE, A. E.; WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: evaporative cooling capacity of arid-zone Caprimulgiformes from two continents. **Journal of Experimental Biology**, Albuquerque, v. 220, n. 19, p. 3488-3498, 2017.

TALBOT, W. A.; GERSON, A. R.; SMITH, E. K.; MCKECHNIE, A. E.; WOLF, B. O. Avian thermoregulation in the heat: metabolism, evaporative cooling and gular flutter

in two small owls. **Journal of Experimental Biology**, Albuquerque, v. 221, n. 12, 2018.

TATTERSALL, G. J.; CHAVES, J. A.; DANNER, R. M. Thermoregulatory windows in Darwin's finches. **Functional Ecology**, Ontário, v. 32, n. 2, p. 358-368, 2018.

TEGAN, D. K.; COOPER, C. E.; WHITHERS, P. C. Avian torpor or alternative thermoregulatory strategies for overwintering? **Journal of Experimental Biology**, Bentley, v. 220, n. 7, p. 1341-1349, 2017.