

RAFAEL MARINS REZENDE

MORFOLOGIA DO CORAÇÃO DA LAGARTIXA *Hemidactylus mabouia*
(MOREAU JONNÈS, 1818) (SQUAMATA: GEKKONIDAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Estrutural, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R467m
2011 Rezende, Rafael Marins, 1978-
Morfologia do coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia*
(Moreau Jonnès, 1818) (Squamata: Gekkonidae) / Rafael
Marins Rezende. – Viçosa, MG, 2011.
x, 75f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Clóvis Andrade Neves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 68-75

1. *Hemidactylus mabouia*. 2. *Hemidactylus mabouia* -
Coração - Anatomia. 3. *Hemidactylus mabouia* - Coração -
Histologia. 4. Microscopia eletrônica. 5. Lagartixa. 6. Réptil.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 597.952

RAFAEL MARINS REZENDE

MORFOLOGIA DO CORAÇÃO DA LAGARTIXA *Hemidactylus mabouia*
(MOREAU JONNÈS, 1818) (SQUAMATA: GEKKONIDAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Estrutural, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de agosto de 2011

Prof. Mariella Bontempo Duca de Freitas

Prof. Cristina Delarete Drummond

Prof. Clóvis Andrade Neves
(Orientador)

“O Senhor é o meu pastor e nada me faltará.”

Salmo 23:1

Dedico esta dissertação aos meus amados
pais, Alberto e Rute e a minha querida
esposa Letícia.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Estrutural, pela oportunidade e pela excelência do ensino.

Ao meu orientador, Prof. Clóvis Andrade Neves, pelos conhecimentos transmitidos, por sua disposição para o ensino e paciência.

Aos meus co-orientadores, Prof. Sirlene S. Rodrigues Sartori e ao Prof. Vinicius Albano Araújo, pelo incentivo e presteza para comigo.

Ao Laboratório de Biologia Celular e Estrutural do Departamento de Biologia Geral da UFV, na pessoa do Alex Behring, disponibilizando os materiais e equipamentos utilizados em todas as preparações histológicas, pelos ensinamentos, boa companhia e amizade.

A todos os amigos do Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Estrutural, em especial aos colegas Kenner, Rômulo, Arlete, Marli e Kyvia pela importante colaboração, amizade, e ajuda nos momentos de dificuldade, na bancada do laboratório.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV, e seus funcionários sempre dispostos.

Ao Prof. José Lino Neto, pela colaboração na obtenção das imagens fotográficas deste trabalho, atenção e ensinamentos.

Ao meu pai Alberto, pela educação, carinho e suporte indispensáveis.

À minha mãe Rute, pelas correções gramaticais desse trabalho, paciência e amor.

À minha esposa Leticia pela compreensão, carinho e apoio incondicionais.

Ao Senhor Deus, por todas as bênçãos ministradas em minha vida.

BIOGRAFIA

Rafael Marins Rezende, filho de Alberto Martins Rezende e Rute Marins Rezende, irmão de Rodolfo Marins Rezende e Aline Marins Rezende, nasceu em Viçosa, MG, no dia 30 de setembro de 1978.

Em agosto de 2004, concluiu seu Bacharelado em Fisioterapia pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Durante o período de graduação, foi monitor das disciplinas de Anatomia Humana, Fisioterapia Traumatológica e Fisioterapia Reumatológica.

Em 2006, iniciou a docência no ensino superior como professor do curso de Fisioterapia da Faculdade de Ciências da Saúde (FACISA), em Viçosa-MG.

Em março de 2009, iniciou o curso de Mestrado em Biologia Celular e Estrutural, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

SUMÁRIO

Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
1. Introdução.....	01
2. Revisão Bibliográfica.....	05
2.1. Aspectos Gerais	05
2.2. Aspectos Anatômicos.....	08
2.3. Aspectos Histológicos.....	22
2.4. Aspectos Ultra-estruturais.....	24
3. Objetivo.....	26
4. Materiais e Métodos.....	26
4.1. Amostragem.....	26
4.2. Dissecção.....	26
4.3. Morfometria.....	26
4.4. Peso do Animal, do coração.....	26
4.5. Anatomia.....	27
4.6. Histologia	27
4.7. Análise dos Átrios e Ventrículo com Microscopia Eletrônica de Varredura.....	27
4.8. Análise Ultraestrutural com Microscopia Eletrônica de Transmissão.....	28
5. Resultados.....	29
6. Discussão.....	50
7. Conclusão.....	67
8. Referências Bibliográficas.....	68

RESUMO

REZENDE, Rafael Marins Rezende, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, Agosto, 2011. **Morfologia do coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia* Moreau Jonnés, 1818 (Squamata: Gekkonidae)**. Orientador: Clóvis Andrade Neves. Coorientadores: Sirlene Souza Rodrigues Sartori e Vinícius Albano Araújo.

A lagartixa da espécie *Hemidactylus mabouia* (Gekkonidae) é uma colonizadora eficiente, bem estabelecida no Brasil e associada a áreas urbanas. Tem hábitos noturnos e pode ser encontrada próxima a fontes luminosas, sendo de fácil captura e utilização nos modelos experimentais com répteis. Assim, visando descrever a morfologia do coração da *H. mabouia*, e buscando caracteres que possam contribuir para estudos comparativos dos répteis, foram utilizados 11 exemplares adultos, sendo coletados fragmentos do coração, os quais foram processados conforme métodos rotineiros para análise anatômica, histológica, histoquímica e ultra-estrutural. O coração da lagartixa *H. mabouia*, assim como o da maioria dos répteis não-crocodilianos, possui o seio venoso, dois átrios e um ventrículo, incompletamente separado, ocorrendo mistura parcial de sangue oxigenado e desoxigenado. O seio venoso é uma câmara tubular de paredes finas, formada por músculo cardíaco e tecido conjuntivo que recebe as veias pré-cava esquerda, pré-cava direita e pós-cava. Os átrios apresentam forma tetraédrica irregular, suas paredes são finas e formadas por miocárdio esponjoso. O átrio esquerdo é menor e menos muscular que o átrio direito. Ele recebe a veia pulmonar, a qual se abre em sua parede dorsal. O ventrículo apresenta um miocárdio compacto circundando o miocárdio esponjoso. O interior da câmara ventricular é dividido em três subcâmaras interconectadas: cavo pulmonar, cavo venoso e cavo arterioso. As três subcâmaras intercomunicam-se, mas possuem dois importantes septos musculares incompletos: o septo vertical e o septo ventricular. Os núcleos

observados aparecem ovóides e alongados. Também se observou a presença tanto de células cartilaginosas (no suporte cartilaginoso do septo aorticopulmonar), quanto de células ósseas (localizadas na estrutura óssea) localizada à extremidade anterior do septo ventricular. Tanto os átrios, quanto o ventrículo são recobertos externamente pelo epicárdio e internamente pelo endocárdio. As fibras musculares apresentam estrias, mas o arranjo das miofibrilas não parece ser sempre uniforme dentro da mesma fibra. Não foi possível observar figuras inequívocas de discos intercalares.

ABSTRACT

REZENDE, Rafael Marins Rezende, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2011. **Morphology of the heart of the gecko *Hemidactylus mabouia* Moreau Jonnès, 1818 (Squamata: Gekkonidae)**. Advisor: Clóvis Andrade Neves. Co-advisors: Sirlene Souza Rodrigues Sartori and Vinícius Albano Araújo.

The lizard of the species *Hemidactylus mabouia* (Gekkonidae) is an efficient colonizer, well established in Brazil and typically found in urban areas areas. It is a nocturnal species that can be found near light sources, is easy to capture and use in experimental models with reptiles. Thus, in order to describe the morphology of the *H. mabouia* heart, and looking characters that can contribute to comparative studies of reptiles, 11 adult specimens were used which were collected fragments of the heart that were processed according to routine methods for analyzing anatomical, histological, histochemical and ultra-structural. The heart of the gecko *H. mabouia*, like most non-crocodylian reptiles, has the sinus venosus, two atria and one ventricle, incompletely separated, occurring partial mixture between arterial and venous blood. The sinus venosus is a thin-walled tubular chamber, comprising the heart muscle and connective tissue that receives the left precava, right precava and postcava vein. The atria have a tetrahedral irregular shape, their walls are thin and formed by spongy myocardium. The left atrium is smaller and less muscular than the right atrium. The left atrium receives blood from the pulmonary vein, which opens in its dorsal wall. The ventricle has a compact myocardium surrounding the spongy myocardium. The connective tissue is sparse in the ventricle, and the muscle fibers are oriented indifferent directions. The interior of the ventricle chamber is divided into three interconnected subchambers: cavum pulmonale, cavum venosum and cavum arteriosum. The three subchambers intercommunicate, but have two important, incomplete muscle septa: the

vertical septum and the ventricular septum. The nuclei observed appear ovoid and elongated. We also observed the presence of both cartilage cell, in support of the cartilaginous septum aorticopulmonar, and bone cell, located in the bony structure located at anterior end of the muscular ridge. Both atria and ventricles are covered externally by the epicardium and internally by the endocardium. Muscle fibers show striation, but the arrangement of the myofibrils does not appear to be more uniform within the same fiber. It was not possible to see clear pictures of intercalated disks.

1. INTRODUÇÃO

Os membros da classe Reptilia são tetrápodes, ectotérmicos e amniotas. A aquisição da membrana amniótica permitiu que os répteis ficassem independentes da água para reprodução, o que os tornou os primeiros vertebrados efetivamente adaptados à vida em lugares secos (Zug et al., 2001).

A conquista do ambiente terrestre permitiu a diversificação do grupo. Atualmente a classe Reptilia compreende cerca de 7 mil espécies descritas e agrupadas em quatro ordens: Crocodilia, Rhynchocephalia, Testudinata e Squamata (Hillis et al., 1996; Zug et al., 2001). O processo de irradiação adaptativa dos répteis foi acompanhado da aquisição de uma série de características morfofuncionais relacionadas às diferentes demandas fisiológicas e históricas de vida desses animais (Wyneken, 2009).

A evolução dos tetrápodes pode ser evidenciada, dentre outros aspectos, pelas alterações na anatomia cardíaca sofrida dentro dos grandes grupos (Webb et al., 1971; 1974; 1979; Farrell et al., 1998). O coração é um órgão muscular oco que bombeia o sangue de forma que circule no corpo. A maioria dos répteis possui dois átrios e um ventrículo, incompletamente separado, ocorrendo mistura de sangue oxigenado e desoxigenado (Kik and Mitchell, 2005). A partir dos répteis crocodilianos surge uma separação ventricular denominada septo interventricular, dividindo o ventrículo estruturalmente e funcionalmente em duas câmaras: ventrículo direito e ventrículo esquerdo (Farrell et al., 1998). No entanto, nestes animais, a existência do “forâmen de Panizza” (uma estreita comunicação entre a aorta esquerda e aorta direita) ainda permite uma mistura parcial de sangue. Nos

crocodilianos, portanto, ocorre uma menor mistura de sangue oxigenado e desoxigenado quando comparado aos répteis não-crocodilianos.

Diversos trabalhos descreveram e compararam aspectos morfofuncionais do coração entre os grupos de répteis (Hicks and Wang, 1996; Farrell et al., 1998; Kik and Mitchell, 2005; Kardong, 2006; Burggren, 1987; White, 1968; Mackinnon, 1981; Van Mierop, 1985; Webb et al., 1971; 1974; 1979). Entre os principais grupos estudados estão as serpentes (Seymour, 1987; McCracken, 1999; Wang et al., 2001), os quelônios (Burggren, 1977; 1979; Sapsford 1978; Jakson & Heisler, 1984; Wyneken, 2001; 2008), as tuataras e os lagartos (Burggren, 1982; Heisler et al., 1983; Cabanac and Cabanac, 2000) e crocodilos (Axelsson and Franklin, 1997; Jones, 1996; Franklin, 2003). Tais trabalhos descreveram o coração dos répteis e apontaram a sua morfologia externa como relativamente simples. Entretanto, a parte interna é estruturalmente complexa e os trabalhos discutiram, principalmente, variáveis anatômico-funcionais relacionadas com parâmetros morfométricos, localização, forma, número de câmaras, válvulas, vasos, miocárdio, pericárdio, mecânica da circulação cardiopulmonar, mecanismos de condução nervosa, análises de ritmos, fluxos e pressão.

A análise descritiva e comparativa do coração permite ampliar as discussões sobre as variedades morfofuncionais do sistema cardiovascular dos répteis (Farrell et al., 1998; Hicks, 1998; Kik and Mitchell, 2005). Além disso, pode estabelecer métodos de abordagem clínica para avaliação e diagnóstico de patologias (Willians, 1992; Murray, 2006) e auxiliar na elucidação da história evolutiva do grupo, buscando padrões e caracteres específicos para inferências filogenéticas (Hillis et al., 1996).

A classe Reptilia, apesar de muito estudada, ainda possui muitas questões filogenéticas não elucidadas e ainda persistem dúvidas sobre a monofilia de vários táxons (Zug et al., 2001). O coração reptiliano apresenta muitas variações entre as ordens (Farrell et al., 1998; Hicks 1998; Kik and Mitchell, 2005) e trabalhos, descrevendo aspectos morfofuncionais em espécies pouco estudadas, ou de diferentes biomas, podem contribuir significativamente para compreensão dos processos evolutivos e comportamentais da classe e dos tetrápodes.

Recentemente, trabalhos têm sido feitos com a espécie da ordem Squamata, a lagartixa *Hemidactylus mabouia* (Nogueira, 2009; Sartori 2009; Sartori et al., 2010). Nogueira (2009) descreveu a histologia do sistema reprodutor feminino e discutiu aspectos comportamentais da biologia reprodutiva baseado em características morfológicas. A morfofisiologia e o estudo histoquímico do tubo digestivo foram amplamente descritos e discutidos para *H. mabouia* (Sartori 2009; Sartori et al., 2010). Tais trabalhos apontam a perspectiva da espécie ser usada como modelo para descrição morfológica em répteis, devido ao fato de possuírem ampla distribuição geográfica e serem de fácil captura.

A espécie *H. mabouia* (Gekkonidae) é uma colonizadora eficiente, amplamente distribuída e associada a áreas urbanas (Howard et al., 2001). É uma espécie de hábitos noturnos que pode ser facilmente encontrada perto de fontes de luz (Vitt, 1995). Sua dieta é composta basicamente por artrópodes (Anjos, 2007).



Figura 1. Exemplar adulto de *Hemidactylus mabouia* (Sartori, 2009).

Entretanto, apesar do conhecimento científico existente a respeito da origem, do habitat natural, dos hábitos alimentares e reprodutivos de *H. mabouia*, nenhum trabalho foi feito descrevendo a morfologia cardíaca da espécie. Neste trabalho, pretendemos descrever a morfologia do coração de *H. mabouia*, buscando caracteres que possam contribuir para estudos comparativos dos répteis envolvendo aspectos comportamentais, fisiológicos, cardiovasculares e evolutivos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aspectos Gerais do Coração dos Répteis Não-crocodilianos

O coração dos répteis localiza-se dentro do pericárdio (Buchanan, 1956; Farrell et al., 1998, Wyneken, 2009). O saco pericárdico é formado por uma dupla parede. A parede mais externa é uma densa camada de feixes colágenos, o pericárdio fibroso, cuja face interna é forrada por uma membrana serosa, o pericárdio seroso, o qual se reflete à superfície externa do coração constituindo o epicárdio. O pericárdio liga-se ao peritônio visceral a partir do ápice ventricular por uma estrutura ligamentar denominada *gubernaculum cordis* (Kashyap, 1959; Wyneken, 2009). Essa estrutura pode ser observada na maioria dos répteis, mas é ausente em cobras e varanídeos (Wyneken, 2008). Internamente, as cavidades cardíacas são revestidas pelo endocárdio, o qual é contínuo com o tecido endotelial dos vasos sanguíneos. Entre o epicárdio e o endocárdio há músculos e tecidos conjuntivos que, juntos, constituem o miocárdio (Farrell et al., 1998).

Morfologicamente, o coração dos répteis não-crocodilianos é formado por quatro câmaras ocas denominadas seio venoso, átrio direito, átrio esquerdo e ventrículo. Cada câmara possui estrutura e funções específicas que podem variar sutilmente de acordo com as espécies. A grande diferença entre o coração dos crocodilianos e não-crocodilianos é que há um septo ventricular completo nos crocodilianos, enquanto nos escamados e quelônios esse septo é incompleto. No coração dos não-crocodilianos o septo é formado por músculo que separa funcionalmente o sangue desoxigenado do oxigenado (Kik and Mitchell, 2005). Esta projeção muscular não se assemelha ao septo

interventricular de formas superiores na escala filogenética e, por isso, Mahendra (1942) preferiu denominá-la “crista muscular”. Entretanto, de acordo com Webb et al. (1971), o ventrículo dos répteis não-crocodilianos é dividido funcionalmente por dois grandes septos, o septo *Muskelleiste* (ou crista muscular) e o septo vertical, compartimentalizando três subcâmaras denominadas cavo pulmonar (ventro-lateral), cavo arterioso (dorso-lateral esquerdo) e cavo venoso (dorso-lateral direito). Essas características parecem ser comuns a todos os répteis não-crocodilianos (Mahendra, 1942; Buchanan, 1956; Kashyap, 1959; Farrell et al., 1998; Wyneken, 2009).

A forma e o tamanho do coração de répteis podem variar consideravelmente entre as espécies. O coração de cobras é alongado, enquanto o dos quelônios, lagartixas, crocodilianos e tuataras tende a ser mais ovóide ou triangular. Para Kashyap (1959), a forma do coração pode estar diretamente relacionada à forma corporal externa do animal. Além disso, para Farrell et al. (1998), a massa do coração está entre 0,20% a 0,32% da massa corporal dos répteis, sendo que os corações proporcionalmente mais largos são encontrados em espécies mais ativas e em cobras escaladoras.

De acordo com Wyneken (2009), a posição do coração pode variar consideravelmente dentro das linhagens reptilianas, entretanto o coração tende a estar posicionado ao longo da linha média. Em quelônios, o coração situa-se na linha média ventral, onde os escudos umeral, peitoral e abdominal se intersectam (Kik and Mitchell, 2005). Nas lagartixas, o coração encontra-se anteriormente à região gular (em geckos do gênero *Hemidactylus* [Farrell et al., 1998] e dragões barbudos da espécie *Pogona vitticeps*) ou pode ocorrer mais caudalmente dentro do gradil costal (como em iguanas, camaleões e varanídeos [Wyneken, 2009]). Já na maioria das cobras, o coração é localizado

a 1/3 e 1/4 do comprimento total do corpo, a partir da cabeça (Kik and Mitchell, 2005; Mitchell, 2009).

Para Seymour (1987), a compreensão dos determinantes relacionados à variação da posição do coração em répteis pode estar ligada ao que se observa na associação entre o estilo de vida das cobras e a posição do coração destes animais. Em cobras aquáticas, por exemplo, o coração aparece, frequentemente, deslocado caudalmente, em uma posição que varia entre 25% e 45% do comprimento total a partir da cabeça. No entanto, em espécies arbóreas e terrestres, o coração localiza-se entre 15% e 25% do comprimento total a partir da cabeça (Farrell et al., 1998).

2.2. Aspectos Anatômicos do Coração de Répteis Não-crocodilianos

O coração dos não-crocodilianos tem sido classificado como um órgão de três câmaras. Contudo, alguns autores consideram o seio venoso como uma câmara funcional e, por isso, classificam o coração dos não-crocodilianos como um órgão de quatro câmaras (Kik and Mitchell, 2005; Mitchell, 2009).

O seio venoso é a primeira câmara a receber sangue sistêmico em todos os répteis. Localiza-se dorsalmente ao átrio direito e ventrículo, ao nível da confluência das veias cava (Girling, 2004). É um compartimento largo, mas é normalmente menor que as demais câmaras cardíacas. Sua forma pode variar entre os répteis, podendo ser triangular, tubular, sacular ou assimétrica. Suas paredes são finas e formadas por músculo cardíaco e tecidos conjuntivos (Farrell et al., 1998; Wyneken, 2009).

Para Buchanan (1956), o músculo cardíaco contido nas paredes do seio venoso age como um marcapasso do coração. Segundo este autor, o coração dos répteis não possui um sistema de condução baseado em fibras especializadas de Purkinje. De acordo com Farrell et al. (1998), a contração se inicia nas fibras musculares cardíacas do seio venoso e se estende, de forma coordenada e seqüencial, às demais câmaras cardíacas através de arranjos anulares ou circulares de miofibras, dentro e ao redor das aberturas de cada câmara. Esse arranjo topográfico das fibras musculares nos pontos de junção entre as câmaras cardíacas foi descrito por Shaad and Qayyum (1975) como nodos contendo uma massa de fibras musculares histologicamente especializadas, espessas, alongadas e intimamente entrelaçadas. Para os autores, o sistema cardíaco de condução da lagartixa *Uromastix hardwickii* é composto pelo nodo sinoatrial e nodo atrioventricular. Estas estruturas

especializadas parecem estar relacionadas à coordenação da pausa que ocorre entre a contração de uma câmara cardíaca e a seguinte (Farrell et al., 1998).

Em lacertílios, quelônios, rincocéfalos e testudinos, o seio venoso aparece como uma câmara relativamente larga e indivisível que comunica-se com o átrio direito através da abertura sinoatrial (Rau, 1924; Kashyap, 1959; Farrell et al., 1998). Entretanto, no lagarto da espécie *Leiopisma grande*, em serpentes e em saurias, observa-se a presença de um septo (“*sinus septum*”) evidenciado externamente por uma constrição entre a porção terminal da veia pré-cava esquerda e a confluência das veias pré-cava direita e pós-cava, ao nível da extremidade esquerda da abertura sinoatrial (Buchanan, 1956; Farrell et al., 1998). Para Buchanan (1956), essa constrição é devida a invaginação dorsal e posterior da musculatura do seio venoso através de uma massa de tecido conjuntivo, a qual continua com a base do ventrículo, sendo denominado “ligamento dorsal” ou “dobra seio-ventricular”. Contudo, esse septo parece possuir importante função na prevenção do refluxo de sangue da veia pré-cava esquerda para o interior da veia pós-cava (Farrell et al., 1998).

O sangue venoso do corpo drena ao interior do seio venoso a partir das veias pré-cava direita, pré-cava esquerda e pós-cava. O seio venoso comunica-se com o átrio direito através do orifício sinoatrial, protegido por um par de válvulas denominadas válvulas sinoatriais (Rau, 1924; Buchanan, 1956; Shaad and Qayyum, 1975; Mitchell, 2009). Estas válvulas são inteiramente formadas pelo endocárdio atrial e arranjam-se de modo que a válvula esquerda sobrepõe-se à válvula direita na extremidade posterior, enquanto na extremidade anterior, as duas válvulas dispõem-se paralelas e fundem-se para formar o ligamento suspensor (Mathur, 1944; Buchanan, 1956; Shaad and

Qayyum, 1975; Farrell et al., 1998). Esse ligamento, por sua vez, continua-se com a musculatura atrial, conectando as válvulas sinoatriais à parede dorsal do átrio direito.

Os átrios são de paredes finas e altamente distensíveis. Quando repletos de sangue, aparecem mais escuros e maiores que o ventrículo. O átrio direito pode ser maior ou do mesmo tamanho do átrio esquerdo. Contudo, a diferença de tamanho entre os dois átrios é pequena entre os quelônios, moderada em lacertílios, rincocéfalos e crocodilianos, sendo extrema no coração dos ofídios (Kashyap, 1959, Farrell et al., 1998).

As câmaras atriais são melhores visualizadas em cortes anatômicos frontais e anteriores do animal. Neste aspecto, os átrios se destacam por apresentarem forma tetraédrica irregular, posicionados sobre a base ventricular e com os troncos arteriais entre eles.

Durante a diástole atrial, o sangue do seio venoso flui para o interior do átrio direito. Este, por sua vez, é mais distensível e largo que o átrio esquerdo, especialmente em serpentes, sendo um pouco menos extensível em testudinos (Farrell et al., 1998).

O átrio esquerdo, além de ser menor que o direito, possui paredes menos musculares (Farrell et al., 1998). Ele recebe a veia pulmonar comum, a qual abre-se em sua parede dorsal, próxima ao septo interatrial. Contudo, a abertura da veia pulmonar não é guarnecida por válvulas (Rau, 1924). Segundo Buchanan (1956), não há uma válvula bem marcada nesta região, mas há um ligeiro crescimento membranoso no lábio caudal da abertura, onde à parede ventral da veia uni-se a parede dorsal do átrio. Além disso, a musculatura atrial é mais espessa ao redor do orifício, o que poderia ajudar a fechá-lo durante a sístole atrial (Buchanan, 1956; Farrell et al., 1998; Wyneken, 2009).

As paredes atriais são finas, mas sua musculatura se organiza como uma rede reforçada por pilares e trabéculas musculares que dão um aspecto esponjoso ao seu revestimento (Buchanan, 1956; Farrell et al., 1998). Além disso, suas paredes contêm tecido conjuntivo, sendo a maior proporção formada por tecido muscular (Wyneken, 2009). Deste modo, os átrios geralmente contêm miocárdio não compacto. Contudo, segundo Mackinnon (1981), o átrio de varanídeos e algumas serpentes possuem uma camada cortical de músculo compacto.

Os átrios são separados por um delgado septo muscular denominado septo interatrial. Em secções frontais, ele geralmente apresenta-se dobrado, mas estas dobras desaparecem quando o átrio está cheio de sangue (Mathur, 1944). Desta forma, o septo interatrial não se dispõe totalmente na vertical quando os átrios estão repletos, mas é ligeiramente oblíquo e tem sua superfície côncava voltada para a cavidade atrial direita (Rau, 1924). Cranialmente, o septo é particularmente fino, enquanto caudalmente ele é mais espesso, continuando-se com o funil átrio-ventricular, onde este se liga às cúspides das válvulas átrio-ventriculares (Buchanan, 1956; Shaad and Qayyum, 1975).

A comunicação dos átrios com o ventrículo ocorre através de projeções atriais no interior do ventrículo. Estas assumem a forma de um cone muscular invertido, que se estende caudalmente, e por uma pequena distância, à base do ventrículo (Buchanan, 1956; Shaad and Qayyum, 1975; Farrell et al., 1998). Esta estrutura, denominada junção átrio-ventricular (Buchanan, 1956), coxim átrio-ventricular (Shaad and Qayyum, 1975) ou funil átrio-ventricular (funil AV) [Farrell, 1998] possui fibras musculares que se dispõem em um arranjo circular em torno da abertura átrio-ventricular. Esse arranjo circular das fibras

musculares do funil AV é conhecido como anel átrio-ventricular (anel AV) [Buchanan, 1956]. As extremidades laterais do funil AV são estendidas como válvulas e se ligam de modo independente aos seus respectivos lados. Segundo Shaad and Qayyum (1975), a extremidade esquerda é profundamente e firmemente inserida no lado esquerdo do ventrículo, enquanto a extremidade direita do funil AV é contínua, com o lado direito do ventrículo, mas sua conexão é comparativamente fraca em relação à extremidade esquerda. Além disso, os músculos atriais e ventriculares da extremidade dorsal do funil são livremente contínuos, mas ventralmente e à direita, próximo à origem dos grandes vasos, eles permanecem separados por tecido fibroso (Buchanan, 1956; Farrell et al., 1998).

As aberturas átrio-ventriculares direita e esquerda são guarnecidas pelas valvas átrio-ventriculares (valvas AV). Em cada uma existe uma única cúspide medial e uma pequena cúspide lateral (Kashyap, 1959; Shaad and Qayyum, 1975; Farrell et al., 1998). As duas valvas são membranosas e não possuem cordões tendíneos. Contudo, segundo Rau (1924), junto ao septo interatrial as valvas parecem conter uma pequena quantidade de tecido muscular. Juntas formam uma estrutura em forma de sino com a concavidade voltada para o ventrículo (Rau, 1924; Buchanan, 1956; Kashyap, 1959). Cranialmente, as valvas AV são ligadas ao septo interatrial, enquanto ventralmente e dorsalmente se unem às paredes do canal átrio-ventricular (canal AV) por finas bandas de tecido conjuntivo, que são contínuas com o septo interatrial. Desta forma, as valvas AV e as duas bandas de tecido conjuntivo dividem o canal AV em partes direita e esquerda. Para Buchanan (1956), em secções transversais essas valvas aparecem como um anel contínuo de tecido fibroso, podendo ser

arbitrariamente divididas em duas cúspides, por suas ligações ventrais e dorsais com as paredes do canal AV.

O ventrículo, geralmente, é piramidal com seu ápice caudal e sua base cranial. Da região da base emergem três troncos arteriais: tronco pulmonar, tronco aórtico esquerdo e tronco aórtico direito.

A estrutura do ventrículo está diretamente relacionada à função cardíaca de bombear o sangue aos circuitos pulmonar e sistêmico. Nesse sentido, as paredes ventriculares são fortes e possuem um miocárdio cortical compacto, circundado por um miocárdio esponjoso denominado miocárdio medular (Rau, 1924). As fibras musculares são arranjadas em camadas com diferentes direções, e o tecido conjuntivo é distribuído irregularmente (Shaner, 1924 *apud* Farrell et al., 1998, p. 382; Kik and Mitchell, 2005).

O ventrículo é dividido funcionalmente em três subcâmaras, classificadas por Goodrich (1919, 1930) como: cavo pulmonar; cavo venoso e cavo arterioso. Deste modo, para Webb et al. (1971), dois septos funcionais principais dividem o coração em três subcâmaras que se comunicam.

O primeiro, o septo vertical, também chamado de septo incompleto (Batia, 1929), septo interventricular (Kashyap, 1950) e septo muscular (Wyneken, 2009), é orientado dorso-ventralmente, e divide parcialmente o cavo látero-dorsal em cavo arterioso (à esquerda) e cavo venoso (à direita) (Webb et al., 1971). Ele origina-se caudal e dorsalmente ao septo interatrial inserindo-se, verticalmente, no ápice ventricular. Entretanto, não possui projeções à parede ventral do ventrículo por boa parte de seu comprimento e, assim, não separa totalmente o ventrículo (Wyneken, 2009). Seu papel funcional parece ser o de separar o sangue ejetado dos dois átrios, sendo sugerido por diversos autores (Farrell et al., 1998; Kik and Mitchell, 2005; Mitchell, 2009; Wyneken, 2009) que

sua posição, imediatamente posterior ao septo interatrial, é estratégica para a separação do sangue arterial pulmonar do sangue venoso sistêmico, durante a diástole ventricular. O cavo arterioso e o cavo venoso comunicam-se através do canal interventricular. Este, de acordo com Kashyap (1959) e Farrell et al. (1998), localiza-se entre a margem livre do septo vertical e as válvulas átrio-ventriculares.

O segundo, o septo ventricular, mais proeminente, foi definido por Greil (1903) como “Muskelleiste”. Entretanto, outras nomenclaturas também foram utilizadas, tais como: septum ventriculorum (O’Donoghue, 1918), septo muscular incompleto (Goodrich, 1919), septo interventricular (Rau, 1924), septo horizontal (Leene & Vorstman, 1930), banda helicoidal (Acolat, 1935), septo muscular (Von Hofsten, 1941), septo esquerdo (Nakamura, 1941), e crista muscular (Mahendra, 1942; Mathur, 1946; White, 1966; Farrell et al., 1998; Wyneken, 2009). O septo ventricular delimita uma porção ventro-lateral direita, definida como cavo pulmonar, e uma porção dorso-lateral esquerda, definida como cavo látero-dorsal (Webb et al., 1971). Segundo Farrell et al. (1998), ele consiste em uma forte banda muscular que surge a partir da base fibrosa (ou cartilaginosa) dos arcos aórticos, entre o arco pulmonar e a aorta direita. A partir da base dos arcos aórticos, o septo ventricular espirala-se em direção ao ápice do ventrículo, unindo-se à porção dorsal do septo vertical. Além disso, o septo ventricular é contínuo, com a parede ventral do ventrículo, mas é incompleto dorso-lateralmente (Webb et al., 1971).

Neste contexto, segundo Wyneken (2009), as subcâmaras podem ser facilmente entendidas a partir da compreensão dos padrões de fluxo sanguíneo, no interior do ventrículo.

O sangue venoso sistêmico retorna ao coração a partir da confluência de três veias principais: a veia pré-cava esquerda, a veia pré-cava direita e a veia pós-cava. Estes vasos calibrosos desembocam dorso-lateralmente ao átrio direito, num compartimento denominado seio venoso.

Durante a diástole atrial, o sangue flui do seio venoso ao átrio direito. Neste momento, o canal atrioventricular direito permanece fechado pela ação da valva AV direita. O fechamento do canal AV permite o enchimento do átrio direito, enquanto o ventrículo esvazia seu conteúdo no momento da sístole ventricular. Do mesmo modo, cranialmente, a valva sinoatrial impede que o sangue retorne ao seio venoso e, conseqüentemente, à circulação venosa sistêmica. Em seguida, na sístole atrial, a valva atrioventricular se abre direcionando o sangue do átrio direito para o cavo venoso, e deste, ao cavo pulmonar. Durante a sístole ventricular, o sangue deixa o cavo pulmonar a partir do tronco pulmonar, fluindo para as artérias pulmonares direita e esquerda, e destas, para os pulmões. O sangue é oxigenado nos pulmões e retorna ao coração pela veia pulmonar comum. A veia pulmonar comum desemboca dorsalmente ao átrio esquerdo que, na diástole atrial, recebe o sangue oxigenado dos pulmões. A valva atrioventricular esquerda permanece fechada durante todo o ciclo diastólico atrial, prevenindo o fluxo de sangue do átrio ao ventrículo na fase sistólica ventricular. Ao término do período diastólico atrial, na fase sistólica, a valva AV esquerda se abre e o sangue deixa o átrio esquerdo, sendo ejetado para o cavo arterioso. Do cavo arterioso, o sangue flui através do canal interventricular para o cavo venoso, e deste, para os troncos aórticos, deixando o coração, através da artéria aorta direita e aorta esquerda, e dessas, à circulação sistêmica.

O sangue deixa o ventrículo a partir do tronco pulmonar e dos troncos aórticos. O controle da contensão, ou da ejeção do fluxo sanguíneo do coração, é estabelecido por três valvas cardíacas: duas valvas bicúspides, localizadas na base das aortas direita e esquerda, e uma valva semilunar, localizada na base do tronco pulmonar (Wyneken, 2009). Entretanto, segundo Buchanan (1956), cada tronco possui em sua origem somente um par de válvulas semilunares.

Essas três artérias e suas tributárias têm paredes finas, musculares e elásticas, sendo vasos de “alta-pressão” (Wyneken, 2009). Desta forma, as bases aórticas e pulmonar, incluindo o septo interaórtico e o septo aórticopulmonar, devem possuir estruturas que confirmam suficiente resistência e elasticidade para suportarem as altas pressões de fluxo sanguíneo. Por isso, de acordo com diversos autores (Matumoto, 1938 apud López et al., 2003, p. 219; Kashyap, 1950, 1959; Farrell et al., 1998, López et al., 2003), depósitos de cartilagem hialina são, regularmente observados, no esqueleto cardíaco fibroso de uma série de espécies reptilianas. No entanto, em animais mais velhos, essa cartilagem pode encontrar-se calcificada (Farrell et al., 1998; Wyneken, 2001). Esse suporte é frequentemente presente em corações de lacertílios, quelônios e crocodilianos. Já no coração de ofídios, o suporte cartilaginoso é usualmente ausente. Contudo, de acordo com Kashyap (1950), uma pequena haste cartilaginosa também foi encontrada no coração do *Thyphlops braminus*. Além disso, a localização usual da cartilagem é próxima à extremidade anterior do septo ventricular, nas proximidades das válvulas dos troncos aórticos (Kashyap, 1959). Entretanto, sua presença não se correlaciona com o tamanho do corpo, com o habitat ou relações taxonômicas (Farrell et al., 1998).

Outra análise importante está relacionada ao suprimento de sangue rico em oxigênio ao miocárdio. A oferta de oxigênio ao tecido cardíaco pode ocorrer através de dois mecanismos essenciais: pela circulação coronária, e a partir do sangue oxigenado contido nas câmaras cardíacas (Farrell et al., 1998). O miocárdio esponjoso (ou medular) recebe seu suprimento de oxigênio através do sangue que banha a superfície interna das câmaras cardíacas, enquanto o miocárdio compacto (ou cortical) recebe o sangue rico em oxigênio a partir da circulação coronária. Nesse sentido, segundo Mackinnon (1981), o coração dos répteis possui um sistema bem desenvolvido de vasos coronários, responsáveis pelo aporte sanguíneo ao miocárdio compacto nos lados esquerdo e direito do coração. No lagarto *Leiopisma grande*, o coração possui uma artéria coronária principal, que surge dorsalmente e imediatamente após a origem da artéria aórtica direita. Ela continua dorsalmente, mas corre caudalmente até a base do ventrículo onde se ramifica em artéria coronária ventral e artéria coronária dorsal (Buchanan, 1956). Desta forma, as artérias coronárias e seus ramos tendem a permanecer na superfície externa do coração, sendo responsáveis apenas pelo suprimento do miocárdio compacto (Farrell et al., 1998). Entretanto, de acordo com Buchanan (1956), o miocárdio ventricular da maioria dos répteis é predominantemente esponjoso, recebendo o sangue oxigenado à medida que este passa pelas câmaras e compartimentos.

Em resumo, o ventrículo de répteis não-crocodilianos não é completamente dividido, mas é compartimentalizado em um cavo dorsal e um cavo pulmonar através de um septo ventricular que corre do ápice à base do ventrículo (Webb, 1979; Johansen e Burggren, 1980; Hicks, 1996, 1998). O cavo dorsal é dividido em cavo venoso e cavo arterioso através do septo

vertical (Van Mierop & Kutsche, 1981, 1985). A artéria pulmonar emerge do cavo pulmonar, enquanto o arco aórtico direito e esquerdo emergem do cavo venoso (Wang et al., 2002). O retorno venoso pulmonar passa do átrio esquerdo para o cavo arterioso. Essa câmara não possui uma saída direta, e o sangue flui dela em torno do septo vertical para o interior do cavo venoso. O cavo venoso é a bomba sistêmica principal, ejetando no interior dos arcos aórticos direito e esquerdo. A margem direita do cavo venoso também recebe sangue do átrio direito. A maior parte desse sangue flui em torno da crista muscular para o interior do cavo pulmonar (White, 1959). Essa câmara, que recebe sangue somente através do cavo venoso, ejeta sangue na artéria pulmonar (Burggren, 1994; Farrell et al., 1998; Hicks, 2002; Wang et al., 2002). Segundo Farrell et al. (1998), a anatomia ventricular aparece para facilitar o fluxo intracardíaco, de modo que os padrões de fluxo sanguíneo variam com a função respiratória.

Entretanto, a separação do fluxo sanguíneo dos circuitos pulmonares e sistêmicos é dirigida, em parte, pelo septo ventricular no interior do ventrículo, e por derivações (“shunts”) de fluxo sanguíneo (Burggren, 1994; Hicks; Wang et al., 2002; Wyneken, 2009). Essa separação, de acordo com Wang et al.(2002), permite alta pressão de perfusão sistêmica e transporte mais efetivo de oxigênio, enquanto protege o pulmão contra edemas.

Não obstante, o ventrículo dos não-crocilianos é uma câmara anatomicamente contínua. Em alguns répteis, o septo ventricular é pequeno e pouco desenvolvido, e o ventrículo funciona como uma única bomba pressórica durante todo o ciclo cardíaco (Burgreen, 1987; Hicks, 1998). Para Farrell et al. (1998), a evidência para esta afirmação é que medidas pressóricas em cada um dos três ventrículos se sobrepõem durante todo o ciclo cardíaco em

Trachmys scripta, *Testudo graeca* e espécies do gênero *Thamnophis*. Desta forma, de acordo com Burggren (1994), há sempre um potencial para a mistura intracardíaca do sangue atrial direito (pobrememente oxigenado) com o sangue atrial esquerdo (ricamente oxigenado) quando chegam ao ventrículo.

Essas características morfológicas resultam em um potencial para “shunts” cardíacos (Hicks, 2002). Os “shunts” cardíacos são padrões intraventriculares de fluxo sanguíneo que requerem um septo incompleto, os quais são encontrados em répteis não-crocodilianos (Burggren, 1994; Hicks, 1996; Wang, 2002; Wyneken, 2009). Eles representam derivações da “circulação normal” e são definidos por suas direções: direita-esquerda (D-E) e esquerda-direita (E-D). Desta forma, um “shunt” D-E está relacionado à recirculação do sangue venoso sistêmico (pobre em oxigênio) de volta à circulação arterial sistêmica. Segundo Hicks (1996), uma vez que esse sangue não passa pelos pulmões, a porção desviada (“shunted”) não tem chance de ser oxigenada e, por isso, a saturação de oxigênio do sangue arterial diminui. Em contraste, o “shunt” E-D representa a recirculação do sangue venoso pulmonar (rico em oxigênio) à circulação pulmonar (Hicks, 1996; Wang, 2002; Wyneken, 2009).

O controle da quantidade e direção do “shunt” cardíaco pode estar diretamente relacionado a fatores ambientais e ao estado fisiológico do animal. Padrões de “shunt” cardíaco associados às atividades diárias do animal, tais como repouso, mergulho, alimentação e digestão, e ao seu estado fisiológico, tais como na termorregulação, ventilação, hipóxia e hipercapnia, por exemplo, têm sido investigados por diversos autores (Millard e Johansen, 1973; Backer e White, 1970; Heisler e Glass, 1985; Hicks, 1994; Wang e Hicks, 1996).

Deste modo, na ventilação reptiliana de repouso, a anatomia ventricular permite um alto grau de separação entre o fluxo sanguíneo sistêmico e o pulmonar. Neste sentido, a mistura de sangue intracardíaco é muito baixa e o fluxo sanguíneo tende a assumir uma direção esquerda-direita (“shunt” E-D), baseado na diferença de pressão entre os arcos cardíacos (Wyneken, 2009). Segundo Farrell et al. (1998), a pressão sanguínea diastólica é baixa no arco pulmonar comparada com os arcos sistêmicos e, por isso, o fluxo sanguíneo se inicia nas artérias pulmonares antes das artérias sistêmicas. Desta forma, durante a sístole ventricular, a maior parte do sangue flui tanto do cavo venoso para o circuito sistêmico, quanto do cavo pulmonar para o circuito pulmonar. Entretanto, durante o estado de apnéia, o fluxo sanguíneo pulmonar reduz significativamente através da vaso-constricção das arteríolas pulmonares (Burgreen, 1987). A resistência pulmonar pode elevar-se e o fluxo sanguíneo tende a assumir a direção direita-esquerda (“shunt” D-E) (Farmer and Hicks, 2002). De acordo com Wyneken (2009), isso significa que o fluxo para as artérias pulmonares é reduzido e a maioria do sangue saindo do ventrículo muda para as artérias sistêmicas, resultando no aumento do padrão direito-esquerdo (“shunt” D-E) e na redução dos níveis de sangue sistêmico oxigenado. A mudança no padrão hemodinâmico (maior “shunt” D-E), associada a baixos níveis de oxigênio sanguíneo, pode servir para o controle do metabolismo do animal durante períodos de apnéia e de atividade de mergulho em espécies semi-aquáticas (White, 1976; Farmer and Hicks, 2002). Em contraste, atividades que demandam maior volume ventilatório e maior taxa de metabolismo são caracterizadas pelo aumento no fluxo sanguíneo pulmonar, redução do padrão direito-esquerdo (“shunt” D-E), e

desenvolvimento do padrão esquerdo-direito (“shunt” E-D) com conseqüente aumento dos níveis de oxigênio no sangue (Hicks, 2002; Wyneken, 2009).

2.3. Aspectos Histológicos do Coração de Répteis Não-crocodilianos

Estudos a respeito dos aspectos histológicos do coração dos répteis são muito escassos. A maioria dos trabalhos sobre a morfologia do coração reptiliano limita-se ao estudo das características anatômicas e fisiológicas do coração. No entanto, alguns autores (Shaad and Qayyum, 1975; Buchanan, 1956; López et al., 2003) utilizaram técnicas histológicas para descrição mais detalhada de algumas estruturas cardíacas, tais como o tecido de condução cardíaco, o miocárdio e o tecido cartilaginoso cardíaco.

O tecido muscular cardíaco dos répteis é muito complexo e pouco conhecido. Como visto na revisão dos aspectos anatômicos, para Farrell et al. (1998), as fibras musculares do tecido cardíaco se organizam para formar o miocárdio esponjoso (medular) e o miocárdio compacto (cortical). O miocárdio esponjoso é encontrado revestindo a parede de todas as câmaras cardíacas, apresentando fibras organizadas em pilares e trabéculas que dão um aspecto de esponja ao tecido. Já o miocárdio compacto é encontrado circundando o miocárdio esponjoso da câmara ventricular, possuindo fibras que se orientam na mesma direção e que se arranjam em feixes muito compactos, não deixando espaços entre as fibras (Farrell et al., 1998). Além disso, segundo Buchanan (1956), Mackinnon (1981) e Farrell et al. (1998), o miocárdio esponjoso recebe o suprimento de oxigênio através do sangue que flui no interior das câmaras cardíacas, enquanto o miocárdio compacto é irrigado por um sistema bem desenvolvido de vasos coronários.

De acordo com Buchanan (1956), as fibras musculares de todas as câmaras cardíacas do coração da *Leiolopisma grande* são uni ou multinucleadas, possuem sarcoplasma relativamente abundante e apresentam

estrias transversais. Para o autor, o núcleo posiciona-se axialmente dentro da fibra muscular, podendo variar muito seu tamanho e forma. Entretanto, para ele não há sinais de discos intercalares em nenhum local, e nem de tecido conjuntivo fibroso ao redor das fibras e feixes musculares.

Além disso, Buchanan (1956) não observou a presença de depósitos de cartilagem, como visto na crista muscular da *Tiliqua* (Rau, 1924), *Thyphlops braminus* (Kashyap, 1950) e do quelônio *Mauremys leprosa* (López et al., 2003).

Assim como nos outros tecidos, pouco se conhece a respeito do tecido de condução cardíaco. Shaad and Qayyum (1975), utilizando métodos de impregnação por prata, descreveu o sistema de condução como formado por nodos (nodo sinoatrial e nodo atrioventricular), contendo fibras musculares com características diferenciadas. Já para Buchanan (1956) e Farrell et al. (1998) o sistema de condução é baseado no próprio tecido muscular, onde o arranjo e a distribuição das fibras musculares permitem a propagação da contração e a coordenação das pausas entre as câmaras cardíacas. Além disso, os autores não observaram a presença de fibras de Purkinje.

2.4. Aspectos Ultra-estruturais do Coração de Répteis Não-crocodilianos

A maioria dos trabalhos com análises ultra-estruturais do músculo cardíaco tem se concentrado nos estudos do coração dos mamíferos. Esses corações são formados por células miocárdicas (cardiomiócitos) que apresentam estruturas altamente especializadas em manter a condução eficiente do sinal elétrico e a contração muscular adequada ao ritmo cardíaco. Estas estruturas incluem: miofibrilas, arranjadas em unidades funcionais denominadas sarcômeros; os túbulos transversais ou túbulos T, os quais são invaginações do sarcolema que penetram tanto transversalmente quanto longitudinalmente, na fibra miocárdica (Forssmann, 1970); o retículo sarcoplasmático, que é uma rede intracelular de canais membranosos anastomosados que está envolvido na mobilização do cálcio (Richard, 1961); e os discos intercalares, que mantêm a junção e a comunicação entre os cardiomiócitos (North, 1961).

Entretanto, alguns autores (Fawcett, 1958; Bergman, 1960; Kisch, 1966; Leak, 1968; Sommer, 1969) observaram diferenças estruturais marcantes entre os vertebrados inferiores (anfíbios, répteis, aves) e os mamíferos, tais como o diâmetro das células miocárdicas, a presença dos túbulos T e do retículo sarcoplasmático, aumentando os questionamentos a respeito das características morfofuncionais, evolutivas e filogenéticas de cada espécie estudada. No entanto, pouco se conhece a respeito dos aspectos ultra-estruturais do coração dos répteis.

De acordo com Forbes (1971), o músculo ventricular cardíaco em *Anolis* é formado por fibras musculares pequenas e alongadas, com o núcleo em forma de fuso e localizado próximo ao centro da célula. Para o autor, a

estrutura do sarcômero no coração de lagartos é muito semelhante ao coração de outros vertebrados com as bandas A e I e as linhas Z e M muito evidentes. Ainda segundo Forbes (1971 e 1974), o retículo sarcoplasmático do músculo ventricular é bem desenvolvido e composto por um sistema de túbulos anastomosados que se estende ao longo da região sarcomeral, enquanto os túbulos T não foram observados na espécie estudada. Já os discos intercalares são relativamente simples no coração desses lagartos. Eles formam a junção entre células adjacentes e estendem-se, transversalmente, no espaço entre uma ou duas miofibras, e depois seguem, longitudinalmente, a outro nível. Esses bordos celulares longitudinais, às vezes, contém contatos desmossomais e junções comunicantes (Forbes, 1971).

3. OJETIVOS

Descrever: a anatomia, a histologia e a ultra-estrutura do coração de *Hemidactylus mabouia* (Gekkonidae: Reptilia).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Amostragem: Foram coletados 11 indivíduos adultos (machos e fêmeas) de *Hemidactylus mabouia*. Os espécimes foram coletados na área urbana do Município de Viçosa, Minas Gerais - Brasil (20°45'14"S, 42°52'55" W), no período de janeiro a dezembro de 2010 (Licença: 105041- IBAMA). Os animais foram anestesiados e eutanasiados por inalação de éter.

4.2. Dissecação: A coleta dos corações foi realizada "*in situ*" através de uma incisão longitudinal mediana na região ventral em solução salina. Os órgãos foram imediatamente fixados em solução fixadora de Carson (Carson et al., 1973) por, no mínimo 24 horas, em temperatura ambiente.

4.3. Morfometria: As características morfométricas avaliadas incluíram: comprimento rostro-cloacal (CRC), largura e comprimento do coração. A medida da largura foi feita a partir da região mais larga do coração, enquanto o comprimento foi estabelecido entre a base e o ápice cardíaco. Todas as medidas foram efetuadas utilizando um paquímetro.

4.4. Peso do animal, do coração: O peso corporal do animal foi aferido em balança de precisão antes da eutanásia. O coração foi removido e imediatamente pesado. O índice cardiossômático foi calculado pela razão do peso do coração pelo peso corporal.

4.5. Anatomia: Para análise da anatomia cardíaca, os corações foram dissecados e visualizados em microscópio estereoscópico (SZ-40, Olympus) e fotografados com uma câmara digital (Coolpix 4500, Nikon).

4.6. Histologia: Para análise histológica, após a fixação, o material foi desidratado em concentrações crescentes de álcool (70°, 80°, 90°, 95° e 100°) com trocas em intervalos de trinta minutos. Em seguida, o material foi incluído em resina à base de glicol-metacrilato (Historesin®, Leica). Foram feitos cortes seriados com 3µm de espessura. As secções obtidas foram coradas com azul de toluidina-bórax 1% (AT), visando a descrição panorâmica, ou submetidas ao método histoquímico do ácido periódico de Schiff (PAS). Após o processo de coloração, as lâminas foram montadas com Entellan® (Merck). A análise e documentação do material foram realizadas em microscópio Olympus BX-60 com câmara digital (Olympus). As imagens digitalizadas de microscopia de luz tiveram seus aumentos calculados com o uso do aplicativo Image-Pro Plus 4.5 (Media Cybernetcs), e as pranchas montadas com auxílio do Power Point (Microsoft).

4.7. Análise dos Átrios e Ventrículo com Microscopia Eletrônica de Varredura: Foram coletados fragmentos das paredes dos átrios e ventrículo, os quais foram lavados em solução de cacodilato 0.1M (pH 7.4) e, imediatamente, fixados em solução de Karnovsky (Karnovsky, 1965), por 24 horas. Os fragmentos foram desidratados em série etílica, secados até o ponto crítico, metalizados com ouro, montados em “stubbs” e examinados sob microscópio eletrônico de varredura (MEV, modelo LEO VP1430), com um

sistema de captura para registro das imagens em computador no Núcleo de Microscopia e Micro-análise da UFV.

4.8. Análise Ultraestrutural com Microscopia Eletrônica de Transmissão:

Foram coletados fragmentos da parede do ventrículo e fixados em Karnovsky por 24 horas. Após o período de fixação, o material foi lavado em solução cacodilato de sódio 0.1M (pH 7.4) e, imediatamente, pós-fixado em tetróxido de ósmio, por 2 horas. Os fragmentos foram lavados rapidamente em solução cacodilato de sódio a 0.1M (pH 7.4), desidratados em séries alcoólicas (30°, 50°, 70°, 90°, 100°), álcool a 100° e acetona (1:1), por 10 minutos, e mais três séries de 10 minutos de acetona. Após a desidratação, o material foi infiltrado em três séries de acetona/EPON (2:1, 1:1 e 1:2), por 12 horas cada série, incluídos em EPON e levados à estufa por três dias.

5. RESULTADOS

5.1. Aspectos Gerais

O coração da *Hemidactylus mabouia*, quando adulto, possui forma piramidal (Fig 1 e 2A), com $4,24 \pm 0,74$ mm de comprimento e $3,66 \pm 1,023$ mm em sua região mais larga. Ocupa o interior da cavidade torácica, localizando-se na linha média corporal, imediatamente ventral à traquéia e ao esôfago do animal. Estende-se da região da cintura escapular, cranialmente, ao processo olecraniano, quando os membros torácicos são posicionados junto ao corpo.

O índice cardiossomático (ICS) dos espécimes analisados encontra-se em média 0,33%.

O coração é revestido pelo pericárdio. Caudalmente, o pericárdio e o ápice do ventrículo ligam-se ao peritônio visceral, a partir do *gubernaculum cordis*. Esse ligamento ancora o ventrículo e parece permitir o desenvolvimento de tensão longitudinal no momento da contração.

5.2. Aspectos Anatômicos

O coração de *Hemidactylus mabouia* consiste em quatro câmaras distintas: seio venoso, dois átrios e um ventrículo (Fig. 1 e 2A).

O seio venoso é uma câmara tubular de paredes finas, formada por músculo cardíaco e tecidos conjuntivos, situada posteriormente e à direita do átrio direito (Fig. 2A e 3A). Ele apresenta uma constrição em seu meio, que o divide em uma larga parte direita, a qual recebe as veias pré-cava direita, pós-cava, e uma pequena porção esquerda, recebendo a veia pré-cava esquerda ao nível da extremidade da abertura sinoatrial (Fig. 3A).

Em secções transversais, no aspecto dorsolateral direito do seio venoso, observa-se a presença de um gânglio nervoso, caracterizado por possuir um conjunto de corpos neuronais, delicadamente unidos por tecido conjuntivo e ligados à parede externa e dorsal do seio venoso (Fig. 3C).

A comunicação entre o seio venoso e o átrio direito ocorre mediante o orifício sinoatrial. Este, por sua vez, é protegido por um par de cúspides, desenvolvido a partir de projeções do endocárdio atrial, denominada valva sinoatrial. A cúspide direita da valva sinoatrial é bilaminar e contém reflexões musculares, tanto para o seio quanto para o átrio (Fig. 3A).

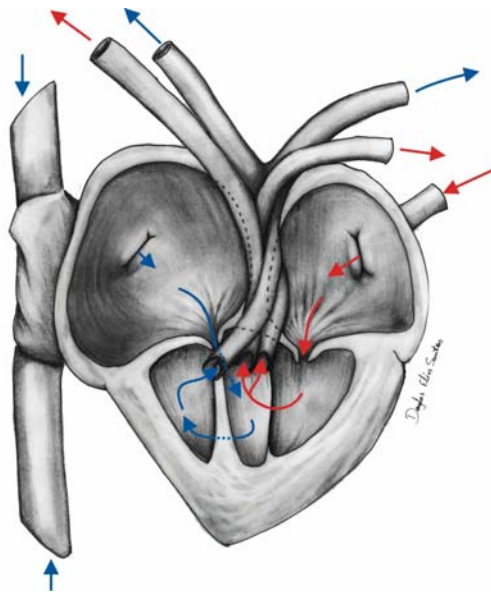


Figura 1: Esquema da anatomia cardíaca interna e do fluxo sanguíneo no coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia*. Visão ventral: seta azul: circulação sistêmica; seta vermelha: circulação pulmonar.

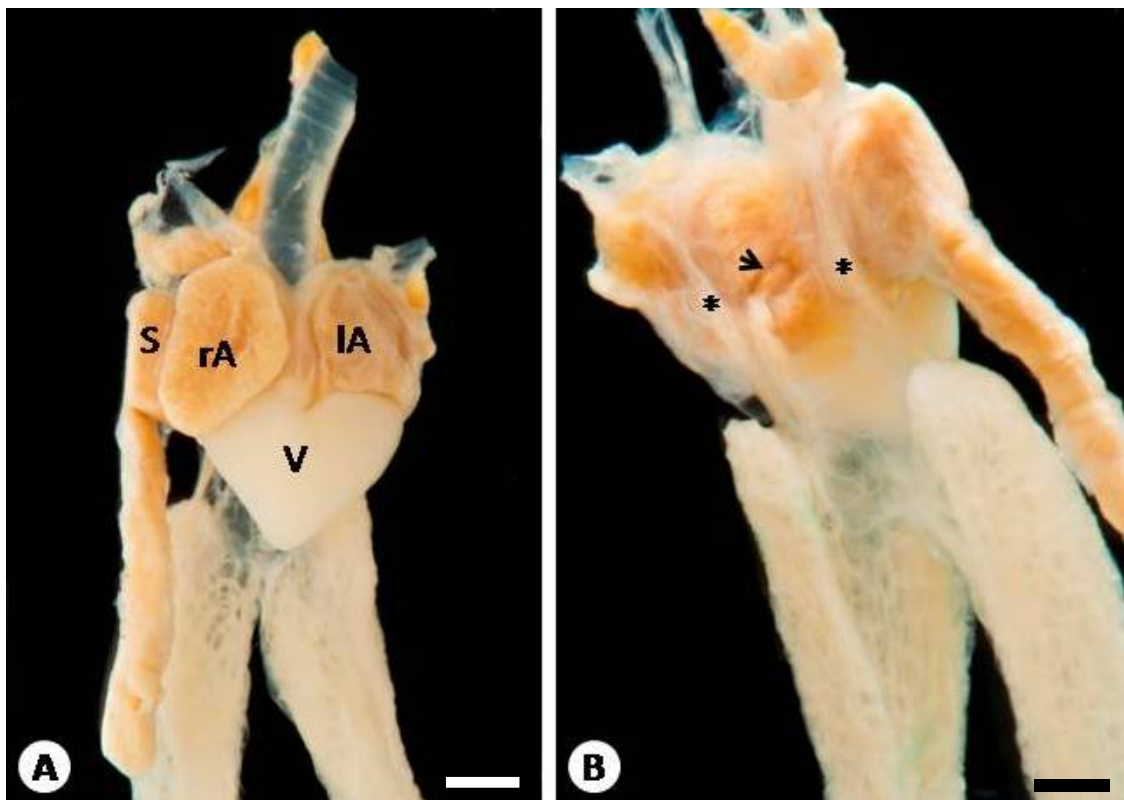


Figura 2: Anatomia do coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia*. A- Visão ventral. IA: átrio esquerdo; rA: átrio direito; S: seio venoso; V: ventrículo. B- Visão dorsal. asterisco: artérias pulmonares direita e esquerda; seta: veia pulmonar comum. (Barras: 10mm)

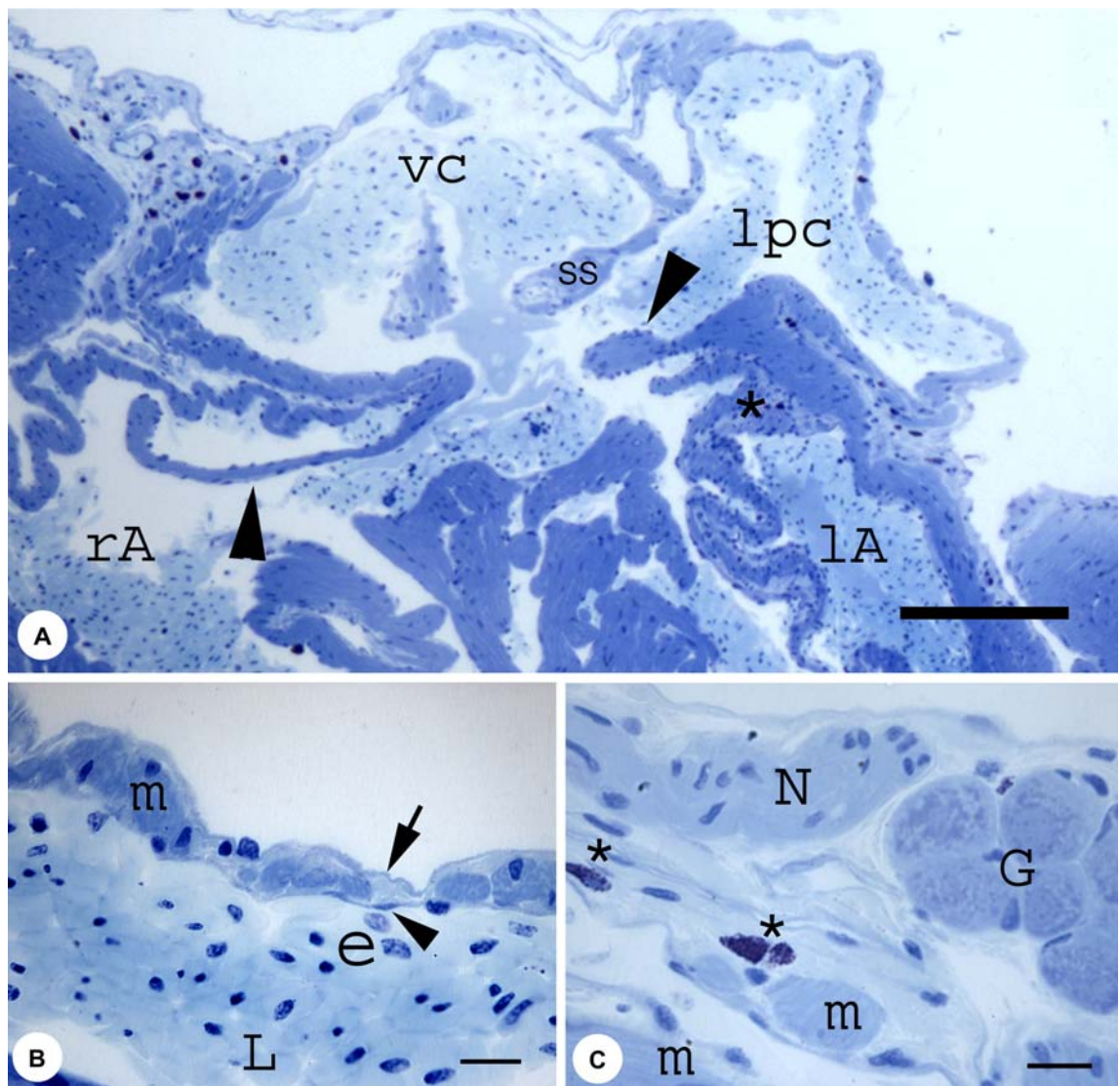


Figura 3: Histologia do seio venoso de *H. mabouia* (azul de toluidina). A- Secção transversal do seio venoso. asterisco: septo interatrial; cabeça de seta: válvulas sinoatriais; IA: átrio esquerdo; lpc: veia pré-cava esquerda; rA: átrio direito; ss: sinus septo; vc: confluência das veias pré-cava direita e pós-cava;. B- Parede do seio venoso. cabeça de seta: endocárdio; seta: epicárdio; e: eritrócito; L: luz do seio venoso; m: miocárdio. C- Gânglio nervoso. asterisco: mastócito; G: células ganglionares; m: miocárdio; N: nervo. (Barras: A: 100 μ m; B e C: 10 μ m).

A musculatura atrial organiza-se como uma rede muscular trabeculada dando aspecto esponjoso às paredes atriais. Estas, são côncavas ventralmente e, além de musculares, possuem tecido conjuntivo. Em cortes frontais, não se observa a presença de camadas corticais de músculo compacto (Fig. 4A e 4B).

O átrio esquerdo é um pouco menor que o direito. Ele recebe a veia pulmonar comum, que se abre na parede dorsal do átrio, junto ao septo interatrial. A abertura da veia é guarnecida por pregas formadas pelo endocárdio, que se projetam a partir da parede dorsal para o interior da câmara atrial. Além disso, em cortes frontais, observa-se uma área de espessamento da musculatura atrial ao redor de sua desembocadura (Fig. 4F).

A veia pulmonar comum ascende vertical e cranialmente, a partir dos pulmões. Em seguida, e imediatamente antes de inserir-se na parede dorsal do átrio, ela assume uma posição horizontal, desembocando medialmente e junto ao septo interatrial.

Os dois átrios são separados entre si por uma delgada estrutura de tecido muscular (revestido pelo endocárdio) denominado septo interatrial (Fig. 4C). Este surge caudalmente e ventralmente, no funil atrioventricular (uma estrutura em forma de um “V” invertido), e ascende-se em uma trajetória ligeiramente curva, terminando, cranialmente e dorsalmente, na superfície basal do coração, próximo à abertura sinoatrial. Em cortes frontais, e com o coração repleto de sangue, o septo se encontra bem distendido, facilitando sua identificação e a observação de sua extensão (Fig. 4C). Já em cortes transversais, e mesmo repleto de sangue, o septo assume uma forma mais sinuosa e irregular, dificultando muito sua visualização.

A comunicação entre os átrios e o ventrículo é determinada pela junção atrioventricular. Ela é formada pela invaginação, do tipo funil, dos átrios dentro

do ventrículo, sendo denominado funil atrioventricular (funil AV) (Fig. 4C). Em cortes transversais, observa-se que as fibras musculares do funil AV arranjam-se de forma concêntrica em sua base, formando o anel atrioventricular (anel AV). Já na extremidade posterior do funil, as musculaturas atriais e ventriculares são contínuas, enquanto ventralmente, elas permanecem separadas por tecido fibroso. Além disso, em secções transversais e frontais observa-se que o funil atrioventricular é dividido em dois canais: um a partir de cada átrio, o canal atrioventricular direito e o atrioventricular esquerdo. Estes canais são guarnecidos por um par de valvas bicúspides (as valvas atrioventriculares direita e esquerda). Em cada abertura, existe uma cúspide larga e medial, e outra cúspide muito pequena e lateral. Nenhuma delas apresenta cordões tendíneos (Fig. 4G e 4H).

Cada valva bicúspide é formada por uma cúspide septal medial (projeção funcional do funil AV) e uma cúspide atrioventricular lateral. As duas cúspides são membranosas e ligam-se cranialmente ao septo interatrial (Fig. 4G e 4H). Entretanto, dorsalmente e ventralmente, elas se juntam às paredes do canal atrioventricular através de feixes de tecido conjuntivo, os quais são contínuos com o septo interatrial. Assim, as valvas e esses dois feixes de tecidos conjuntivos dividem o canal AV em partes direita e esquerda. Em secções transversais, essas valvas aparecem como um anel contínuo de tecido fibroso dividido em duas cúspides, através de suas ligações dorsais e ventrais com a parede do canal atrioventricular.

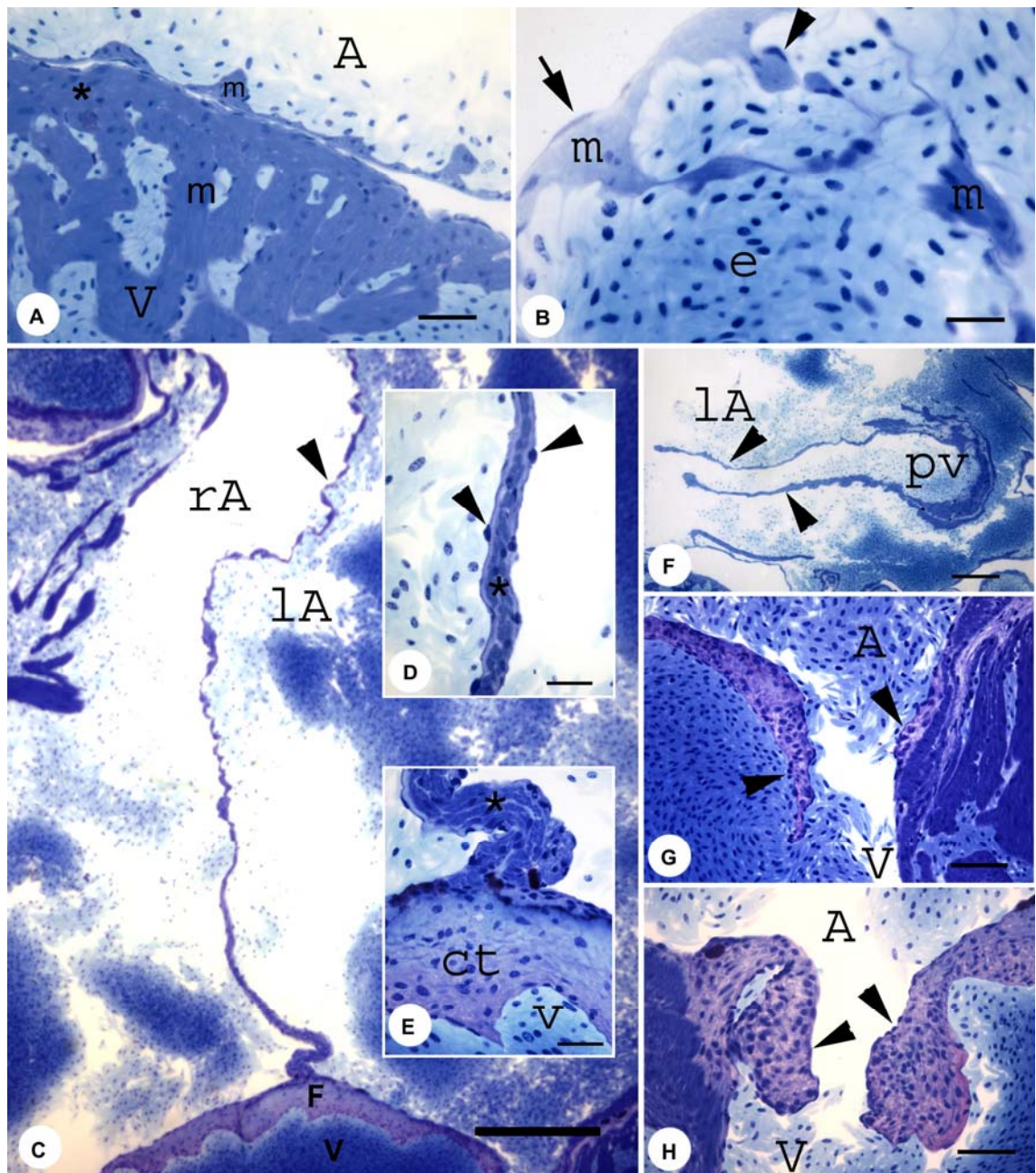


Figura 4: Histologia das câmaras atriais e da transição átrio-ventricular (azul de toluidina). A- Secção longitudinal das paredes atrial e ventricular: A: átrio; asterisco: miocárdio compacto; m: miocárdio esponjoso; V: ventrículo. B- Parede atrial: cabeça de seta: endocárdio; e: eritrócito; m: miocárdio esponjoso; seta: epicárdio. C- Septo interatrial e funil átrio-ventricular: cabeça de seta: porção cranial do septo interatrial; F: funil átrio-ventricular; lA: átrio esquerdo; V: ventrículo; rA: átrio direito. D- Septo interatrial: asterisco: miocárdio; cabeças de setas: endocárdio. E- Base do funil átrio-ventricular: asterisco: septo interatrial;

ct: tecido conjuntivo; V: ventrículo. F- Veia pulmonar comum. cabeças de setas: projeções musculares do tipo retalho solto; pv: abertura da veia pulmonar comum; IA: átrio esquerdo. G- Valva átrio-ventricular esquerda. A: átrio; cabeças de setas: válvulas átrio-ventriculares; V: ventrículo. H- Valva átrio-ventricular direita. A: átrio; cabeças de setas: válvulas átrio-ventriculares; V: ventrículo. (Barras: A e B: 25 μ m; C: 50 μ m; D, E, F, G e H: 25 μ m).

O ventrículo apresenta um miocárdio compacto (cortical) circundando o miocárdio medular esponjoso. O tecido conjuntivo é esparso no ventrículo, e as fibras musculares são orientadas em diferentes direções.

O interior da câmara ventricular é dividido em três subcâmaras interconectadas: cavo pulmonar, cavo venoso e cavo arterioso (Fig. 5B). O cavo arterioso e o cavo venoso estão posicionados dorsolateralmente ao cavo pulmonar. Além disso, o cavo arterioso localiza-se na porção dorsal e esquerda do ventrículo, enquanto o cavo venoso localiza-se na porção dorsal e direita do ventrículo (Fig. 5B).

As três subcâmaras intercomunicam-se, mas possuem dois importantes septos musculares incompletos: o septo vertical e o septo ventricular.

O septo vertical é formado por um feixe muscular que se inicia caudalmente e posteriormente ao septo interatrial, e estende-se em direção ao ápice ventricular. Na análise dos cortes histológicos transversais, observa-se que ele não se liga completamente à parede ventral do ventrículo e, portanto, não separa completamente o ventrículo (Fig. 5A) . Desta forma, ele separa parcialmente o cavo arterioso e o cavo venoso. Na análise de secções frontais, observa-se que o septo vertical também não se completa cranialmente. O espaço formado entre a margem livre do septo vertical e as válvulas

atrioventriculares também permite a comunicação entre o cavo arterioso e o cavo venoso e denomina-se canal interventricular. Além disso, o tamanho proeminente do septo vertical serve como sinal de demarcação dos cavos arterioso e venoso.

O septo ventricular (também denominada Muskelleista; Greil, 1903) ocorre entre o cavo venoso e o cavo pulmonar. Ele é formada por um feixe muscular que surge a partir da base óssea entre os arcos aórticos e pulmonar e estende-se ao longo da parede dorsal em direção ao ápice ventricular (Fig 5A e 5B). A partir da base do arco aórtico, o septo ventricular estende-se em direção ao ápice do ventrículo, unindo-se à porção dorsal do septo vertical. Na análise de cortes transversais, observa-se que o septo ventricular é contínuo com a parede ventral do ventrículo, mas é incompleto dorsolateralmente (Fig. 5B). Do mesmo modo, no aspecto dorsocranial, o septo ventricular também é incompleto, permitindo uma estreita comunicação entre o cavo venoso e o cavo pulmonar (Fig. 5A).

Na base do coração, o septo ventricular continua-se com o septo fibroso (septo aórtico-pulmonar), separando a artéria pulmonar e o vestíbulo aórtico (Fig. 5C e 5D). Caudalmente, o septo ancora-se à extremidade ventral do septo ventricular muscular, que por sua vez, insere-se em uma estrutura óssea de formato irregular (Fig. 5B, 5C, 5D e 5F). Cranialmente, e no interior do septo áortico-pulmonar, percebe-se a presença de um disco cartilaginoso que, em secções transversais, aparece destacada com uma coloração mais clara e avermelhada que os demais tecidos quando corada por azul de toluidina (Fig. 5D e 5F).

Na base do ventrículo, em uma região denominada “região bulbar”, originam-se os troncos aórticos (Fig. 5C e 5D). Os dois troncos surgem a partir

de um vestíbulo aórtico comum que se comunica caudalmente com o cavo venoso. Ambos se encontram em um mesmo nível. Entretanto, o tronco aórtico esquerdo surge ventralmente ao tronco aórtico direito. Além disso, cada tronco possui um par de válvulas semilunares que, ao se fecharem, impedem o retorno do sangue arterial sistêmico ao ventrículo (Fig. 5C e 5D). Cada valva possui uma cúspide lateral e uma cúspide medial (Fig. 5E). As duas cúspides mediais são contínuas entre si, sendo ambas ligadas à estrutura óssea. Já as cúspides laterais são separadas, e cada uma liga-se caudalmente às paredes do vestíbulo aórtico, próximo à origem dos respectivos troncos (Fig. 5D).

O tronco pulmonar origina-se cranialmente e ventralmente aos troncos sistêmicos como um prolongamento anterior do cavo pulmonar. Sua parede dorsal é formada por tecido fibroso, o qual é contínuo com o septo ventricular e com o septo aórtico-pulmonar. Este tecido participa, diretamente, da formação das cúspides da valva pulmonar. Sua projeção ao septo aórtico-pulmonar permite a formação da cúspide dorsal, ligada à margem livre do septo aórtico-pulmonar e ao septo ventricular, enquanto sua projeção anterior forma a cúspide ventral, ligada à parede ventral do cavo pulmonar (Fig. 5A e 5B).

Deixando a base do ventrículo, a artéria sistêmica direita encontra-se dorsal e entre as outras, com a artéria sistêmica esquerda, à esquerda da artéria pulmonar. As três artérias, depois, ascendem e espiralam-se, sendo que o tronco pulmonar, que é primeiramente ventral e à direita, torna-se dorsal e esquerdo, enquanto a artéria sistêmica esquerda, que é primeiramente ventral, torna-se dorsal (Fig. 1 e 2A).

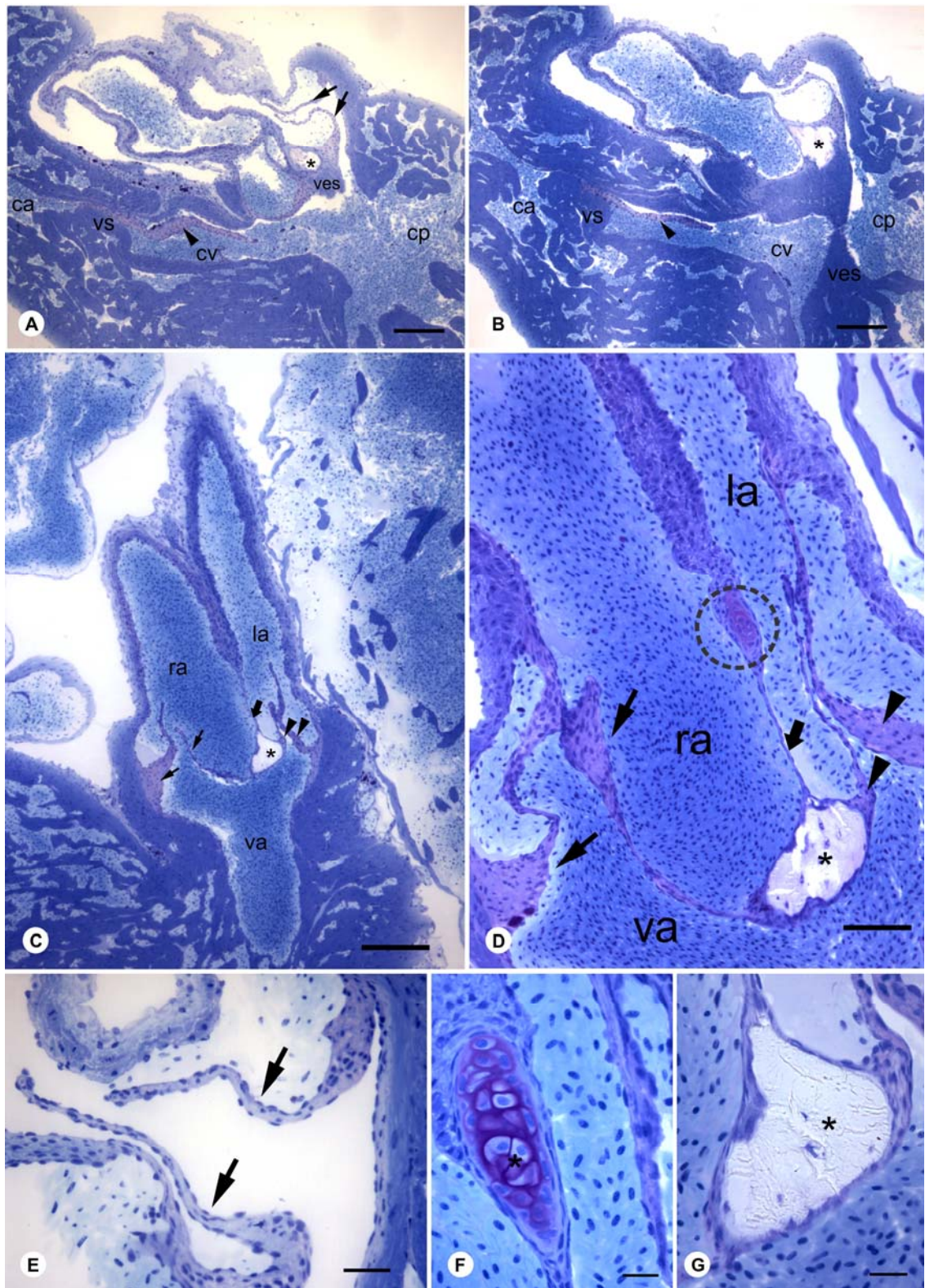


Figura 5. Histologia da câmara ventricular e dos troncos aórticos e pulmonar (azul de toluidina). A- Secção transversal ao nível da base ventricular: asterisco: estrutura óssea; ca: cavo aórtico; cp: cavo pulmonar; cabeça de seta: funil AV; cv: cavo venoso; setas: válvulas pulmonares; vs: septo vertical; ves: septo ventricular. B- Secção transversal dos cavos ventriculares: asterisco:

estrutura óssea; ca: cavo aórtico; cp: cavo pulmonar; cabeça de seta: funil AV; cv: cavo venoso; seta: septo aórtico-pulmonar; vs: septo vertical; ves: septo ventricular. C- Secção longitudinal do vestíbulo aórtico: asterisco: estrutura óssea; cabeça de seta: válvulas da aorta esquerda; la: aorta esquerda; ra: aorta direita; setas: válvulas da aorta direita; seta grossa: septo aórtico-pulmonar. D- Secção longitudinal posterior do vestíbulo aórtico ao nível do suporte cartilaginoso: asterisco: estrutura óssea; cabeças de seta: válvulas da aorta esquerda; círculo pontilhado: suporte cartilaginoso; la: aorta esquerda; ra: aorta direita; setas: válvulas da aorta direita; seta grossa: septo aórtico-pulmonar; va: vestíbulo aórtico. E- Valva pulmonar: setas válvulas pulmonares. F- Suporte cartilaginoso: asterisco: tecido cartilaginoso. G- Estrutura óssea: asterisco: tecido ósseo. (Barras: A, B, C e D: 25 μ m; E, F, G: 10 μ m).

5.3. Aspectos Histológicos

Todas as câmaras cardíacas do coração da *H. mabouia* apresentam fibras musculares estriadas. Estas fibras arranjam-se em feixes que se organizam para formar o miocárdio esponjoso e o miocárdio compacto. O miocárdio esponjoso foi encontrado em todas as câmaras do coração da *H. mabouia*, enquanto o miocárdio compacto só foi observado na câmara ventricular. No miocárdio esponjoso, os feixes possuem diversos tamanhos, e assumem uma orientação variada, criando espaços que dão um aspecto trabeculado às paredes (Fig. 6A). Tanto em cortes transversais, quanto em cortes longitudinais, foi possível evidenciar a orientação irregular das fibras musculares. À luz das câmaras cardíacas, também se observa o epitélio de revestimento pavimentoso simples (endocárdio) recobrendo o miocárdio esponjoso (Fig. 3B, 4B e 6A). Em contato com o endocárdio, o sangue no interior das câmaras cardíacas oferta o oxigênio necessário ao metabolismo das células musculares do miocárdio esponjoso. Além disso, as paredes externas de todas as câmaras cardíacas são revestidas pelo epicárdio (Fig. 4B e 5A). Esta membrana, juntamente com a membrana parietal do pericárdio seroso, mais o pericárdio fibroso, forma o pericárdio. Já o miocárdio compacto, presente apenas no ventrículo, aparece circundando o miocárdio esponjoso, e não apresenta espaços entre os feixes musculares, possuindo um aspecto mais uniforme (Fig. 4A, 6A e 6B). Esta camada muscular não entra em contato com o sangue do interior da câmara ventricular, possuindo um sistema de irrigação próprio. Em lâminas coradas pelo PAS, foi observada a presença de vários capilares sanguíneos distribuídos na superfície externa da câmara ventricular (Fig. 6B).

O limite entre as fibras musculares não foi observado, não sendo possível afirmar se estas são uni ou multinucleadas. Entretanto, os núcleos observados aparecem ovóides e alongados dentro da fibra. Em secções transversais, as fibras aparecem com um sarcoplasma relativamente abundante, quando comparado ao tamanho do núcleo. Não há sinal de discos intercalares em nenhum local. Tanto nos átrios quanto nos ventrículos, as fibras que se orientam na mesma direção agrupam-se em feixes para formar a arquitetura cardíaca de músculo esponjoso ou compacto, geralmente sem nenhum tecido conjuntivo ao redor deles. Também se observou a presença tanto de células cartilaginosas, no suporte cartilaginoso do septo aórticopulmonar, quanto de células ósseas, localizadas na estrutura óssea à extremidade anterior da crista muscular.

As paredes do seio venoso são mais finas que as demais câmaras cardíacas, possuindo fibras musculares mais delgadas, mas que também possuem estrias transversais. Estas fibras aparecem intimamente associadas ao tecido conjuntivo. Possuem núcleos ovais ou esféricos, relativamente pequenos quando comparados ao tamanho das fibras. A musculatura estriada do seio venoso estende-se a um curto trajeto das veias cavas, e ao aspecto interno das válvulas sino-atriais, onde se torna contínua com os músculos atriais.

As paredes atriais são mais espessas que as do seio venoso, mas são formadas apenas por uma camada de músculo esponjoso. A parede do átrio direito é mais espessa que a parede do átrio esquerdo. As fibras musculares atriais são mais espessas que as do seio venoso e possuem estrias transversais um pouco mais evidentes. Podem ser uni ou multinucleadas, não sendo possível afirmar, com um núcleo oval e alongado que, ocasionalmente,

aparece mais largo e proeminente na superfície da célula. No septo interatrial, as fibras são envolvidas por tecido conjuntivo fibroso. Em secções longitudinais, observa-se claramente a orientação perpendicular das fibras do septo interatrial. Já no anel átrio-ventricular, as fibras musculares se dispõem em um arranjo circular e são mais compactas pela interposição de uma grande quantidade de tecido conjuntivo. Neste ponto, as fibras musculares parecem possuir uma menor quantidade de estrias transversais. Entretanto, as fibras aqui parecem ser idênticas àsquelas encontradas nas outras regiões.

A musculatura ventricular é formada por feixes de fibras entrelaçadas, que se arranjam em duas camadas bem definidas: camada muscular esponjosa e camada muscular compacta. Não se observa a presença de tecido conjuntivo fibroso no miocárdio ventricular, nem de discos intercalares.

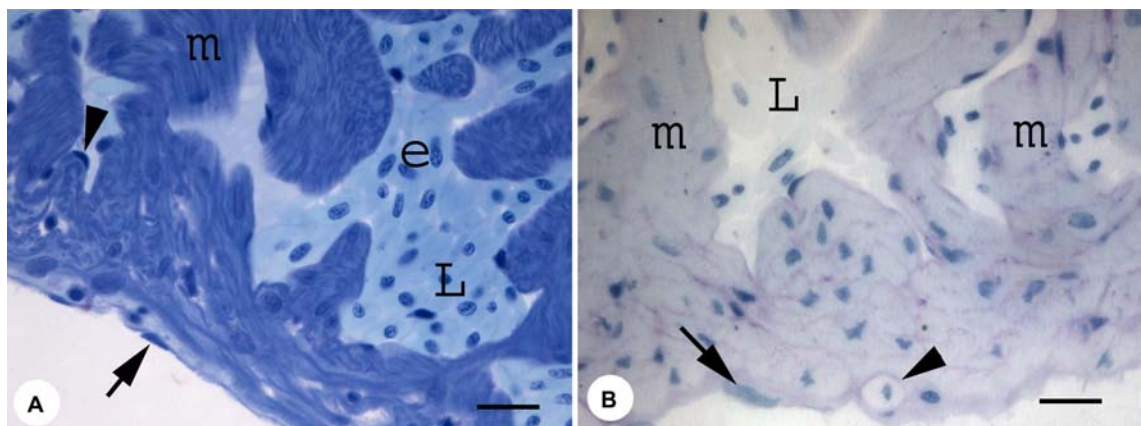


Figura 6: Histologia da câmara ventricular. A- Secção transversal da parede ventricular (azul de toluidina). cabeça de seta: endocárdio; e: hemácias; L: lúmen; m: miocárdio esponjoso; seta: epicárdio. B- Secção transversal do ventrículo (PAS). cabeça de seta: capilar sanguíneo; L: lúmen; m: miocárdio esponjoso; seta: epicárdio. (Barras: 10 μ m).

5.4. Aspectos Ultra-estruturais

5.4.1 Microscopia de Varredura

As paredes atriais são formadas por uma camada muscular delgada quando comparada aos ventrículos. Tanto os átrios, quanto o ventrículo são recobertos, externamente, pelo epicárdio e, internamente, pelo endocárdio. O aspecto membranoso do epicárdio difere do endocárdio, cujas células possuem um aspecto mais diferenciado (Fig. 7A, 7B e 7F).

As células endocárdicas possuem a região citoplasmática onde se localiza o núcleo, mais volumosa. Dessa região, partem ramos que se tornam mais delgados à medida que se afastam da região nuclear. Suas ramificações terminais formam pequenas elevações retilíneas que recobrem a membrana sarcoplasmática (Fig. 7B e 7F).

Nas paredes ventriculares, observa-se claramente o arranjo trabeculado do miocárdio esponjoso, a orientação irregular das fibras musculares, e os espaços formados entre elas. As células musculares se ramificam profusamente e os ramos podem ter diferentes diâmetros e direcionamentos (Fig. 7C). Com maior aumento, as diferentes orientações das fibras tornam-se mais evidentes e fibras com direções opostas são notadas dispostas lado a lado (Fig. 7D).

A análise da superfície de uma fibra espessa, ou de um grupo de fibras, (Fig. 7D) cortadas transversalmente, permite que se observe invaginações de diferentes espessuras para o interior da fibra, evidenciando ainda mais o aspecto irregular das fibras musculares ventriculares (Fig. 7E).

Cortes transversais de fibras musculares ventriculares, vistas com grande aumento, permite a observação do padrão irregular das miofibrilas. Há miofibrilas de diferentes diâmetros e formas, com pequenos espaços aparentemente vazios entre elas (Fig. 7F).

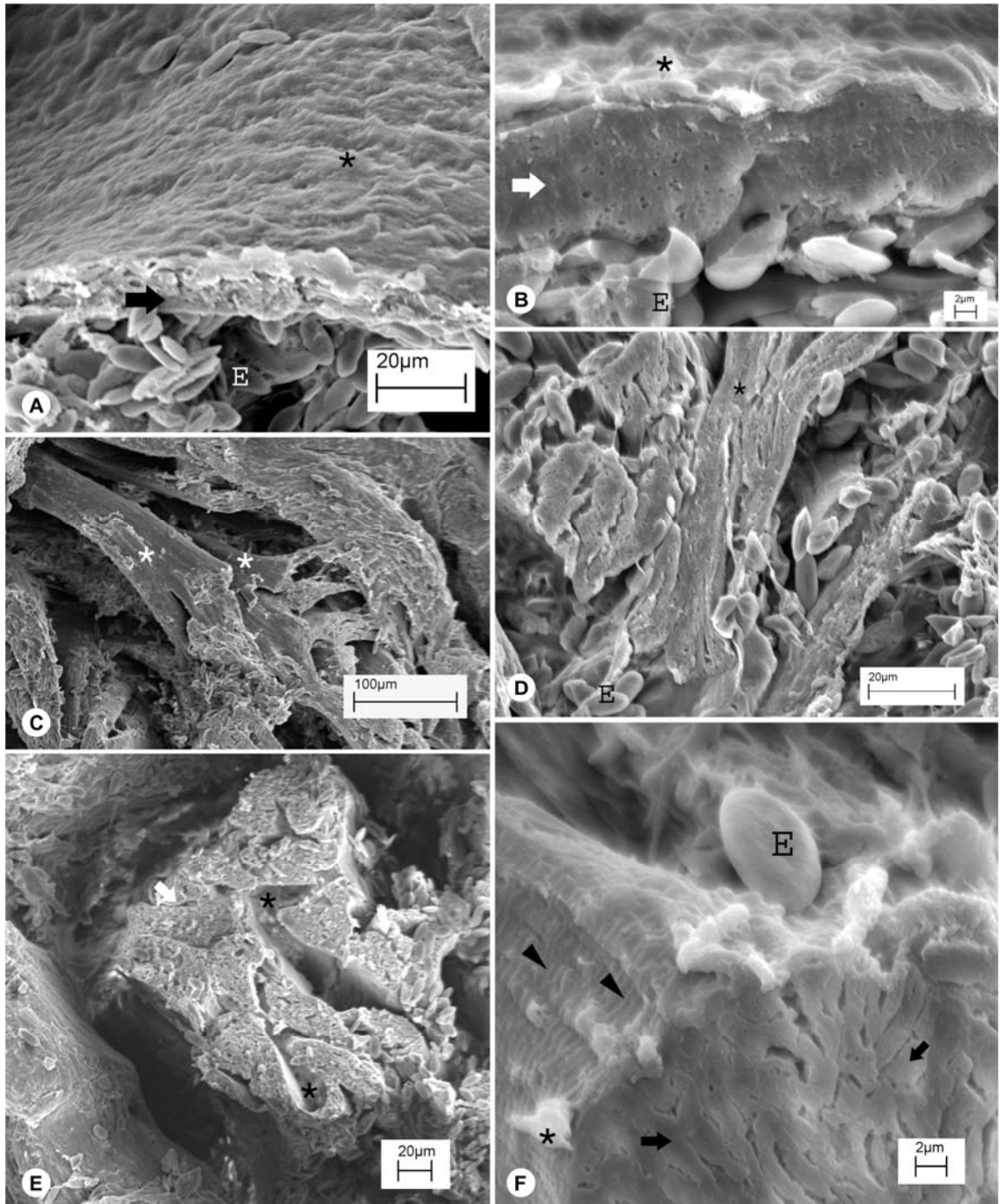


Figura 7: Ultra-estrutura das paredes atriais e ventriculares da *H. mabouia*. A- Parede atrial. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio atrial. B- Parede atrial. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio atrial. C- Parede atrial. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio atrial. D- Parede atrial. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio atrial. E- Parede atrial. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio atrial. F- Parede ventricular. asterisco: epicárdio; E: eritrócitos; seta: miocárdio ventricular.

Parede ventricular. asteriscos: fibras musculares. D- Parede ventricular. asterisco: miocárdio esponjoso. E- Parede ventricular. asterisco: lacunas no interior do miocárdio ventricular esponjoso. F- Parede ventricular. asterisco: endocárdio; cabeça de seta: estrias transversais; seta: miofibrilas; E: hemácias.

5.4.2 Microscopia Eletrônica de Transmissão

A análise ultra-estrutural do miocárdio ventricular do coração de *H. mabouia* permitiu observar que os cardiomiócitos são recobertos pelo endocárdio. As células endocárdicas apresentam citoplasma extremamente delgado, núcleo achatado com cromatina descondensada e poucos grumos de heterocromatina (Fig. 8A).

As fibras musculares apresentam estrias devido ao arranjo em série dos sarcômeros organizadas em miofibrilas. Os limites de cada sarcômero (linhas Z) aparecem como áreas mais elétrons densas em secções longitudinais, sendo possível observar, também, as bandas I e A (Fig. 8B e 8C), e poucas mitocôndrias, que eram volumosas e com cristas irregulares (Fig. 8C). No entanto, o arranjo das miofibrilas não parece ser sempre uniforme dentro da mesma fibra. Em alguns cortes, é possível observar que as miofibrilas orientam-se, tanto longitudinalmente, quanto transversalmente (Fig. 8B, 8E e 8F).

Não foi possível observar figuras inequívocas de discos intercalares. Entretanto, nos cortes longitudinais, foram observadas regiões elétrons densas que ainda não se pode afirmar se são regiões de contato entre as fibras (Fig. 8C). Regiões elétrons densas também foram observadas em cortes transversais e parecem ocorrer entre as fibras musculares que não possuem tecido conectivo entre elas (Fig. 8D).

As fibras musculares possuem núcleos ovóides com a membrana nuclear bastante evidente e cromatina descondensada, indicando alta atividade sintética (Fig. 8E). Cortes transversais permitem a observação de grande quantidade de miofibrilas de diferentes espessuras e distribuídas de forma irregular ao redor do núcleo. Na região do sarcoplasma não preenchida por

miofibrilas, há espaços elétron lúcidos com poucos grumos elétron densos. (Fig. 8E e 8F).

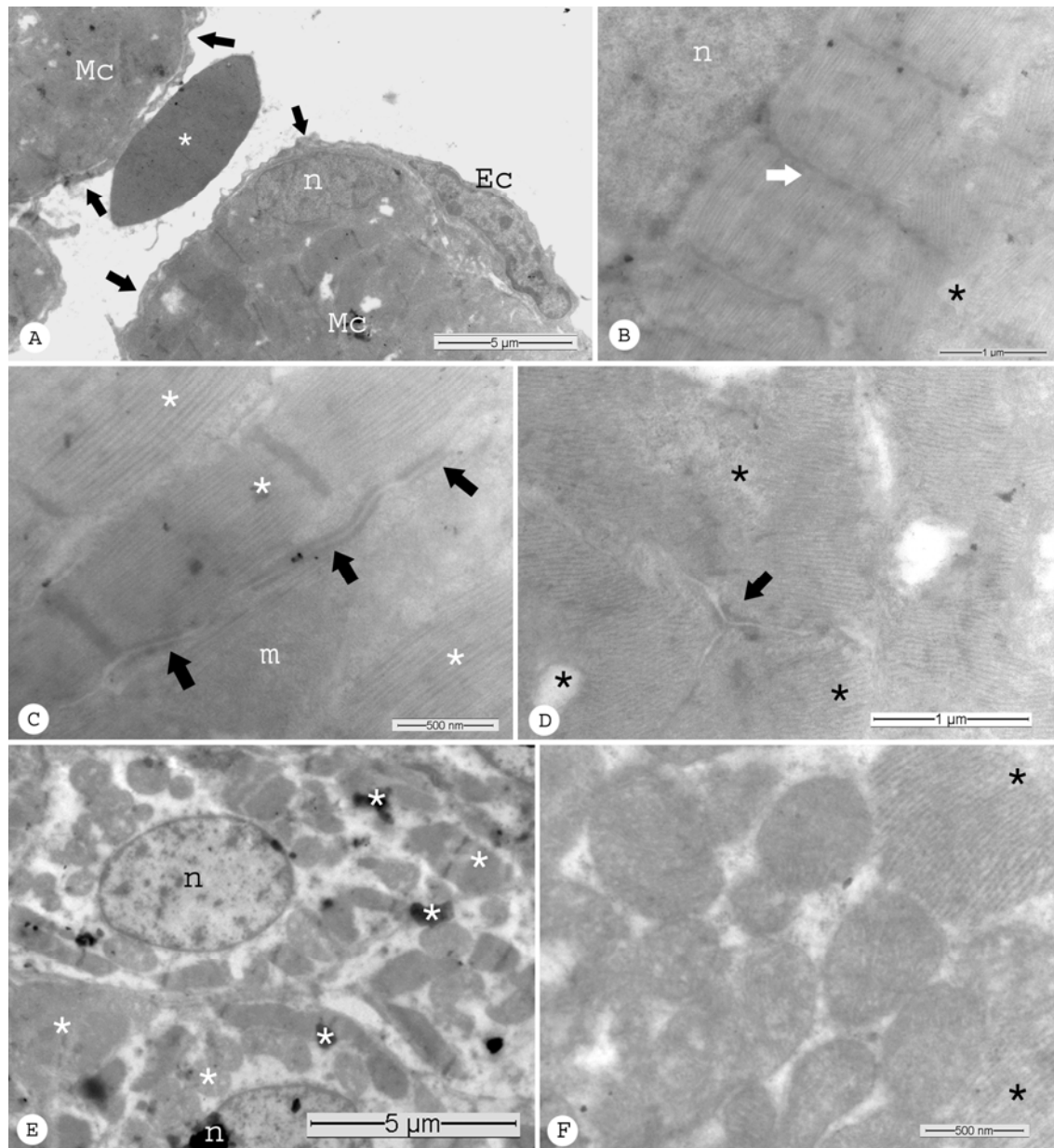


Figura 8: Ultra-estrutura da parede ventricular da *H. mabouia*. A- Revestimento endocárdico do miocárdio: asterisco: hemácia; Ec: célula endocárdica; Mc: célula miocárdica; n: núcleo da célula miocárdica; setas: endocárdio. B- Secção longitudinal da célula miocárdica: asterisco: miofibrila em diferentes direções; n: núcleo da célula miocárdica; seta: linha Z. C- Miofibrilas: asteriscos: miofilamentos; m: mitocôndria; setas: regiões elétron densas. D- Secção longitudinal do miocárdio: asteriscos: células miocárdicas; seta: região elétron

densa. E- Secção transversal do miocárdio: asteriscos: miofibrilas organizadas no sarcoplasma; n: núcleo da célula miocárdica. F- Secção transversal do miocárdio: asterisco: miofibrilas.

6. DISCUSSÃO

O coração de *Hemidactylus mabouia* localiza-se na linha média do corpo, anteriormente, próximo da cabeça. De acordo com Farrell et al. (1998), em lagartixas a posição do coração pode aproximar-se da região gular, e ocorre mais caudalmente dentro do gradil costal em camaleões, iguanas e varanídeos. Segundo Seymour (1987), a posição anterior do coração em cobras favorece a escalada e o levantamento da cabeça, pois a mudança posicional reduz a pressão hidrostática da coluna de sangue sobre o coração e tende a estabilizar a pressão sanguínea cefálica. Para Badeer (1998), a posição do coração próxima à cabeça permite que a pressão gravitacional nas artérias que vão para a cabeça seja neutralizada pela pressão gravitacional do sangue nas veias, descendo para o coração (princípio do sifão), diminuindo o trabalho cardíaco extra. Esse mecanismo fisiológico parece explicar como a *H. mabouia* consegue, quando à procura de alimentos, escalar e permanecer longos períodos, parada, em posições inclinadas, sem alterar o equilíbrio hemodinâmico, favorecendo boa adaptação aos diversos ambientes do seu habitat natural.

O índice cardiossomático de 0,33%, observado no presente estudo para *H. mabouia*, está no limite superior estabelecido para várias espécies de répteis por Hess (1921 *apud*, Farrell et al., 1998, p.376). Segundo esse autor, a massa do coração em relação ao peso corporal dos répteis varia entre 0,20% e 0,32%. Já Poupá e Lindstrom (1983) observaram uma maior variação no índice cardiossomático das cobras. Para os autores, índices elevados, como o da cobra *Dispholidus typus* (0,45%) por exemplo, podem estar relacionados à intensa atividade do animal. De acordo com Farrell et al. (1998), os répteis

podem apresentar uma estreita relação entre atividades atléticas e a massa do coração. Para o autor, baixos índices relacionam-se à espécies mais inativas, como o esquamata *Anguis fragilis* (0,16%; Hess, 1921 *apud* Farrell et al., 1998, p.376), enquanto espécies mais ativas, como os lagartos *Lacerta* (0,21%) e *Pogona vitticeps* (0,29%; Else e Hulbert, 1983) apresentam índices mais elevados.

De acordo com Hatano et al. (2001), o geconídeo *H. mabouia* possui hábitos noturnos, mas também pode ser encontrado ativo durante o início da manhã e ao final da tarde, quando as temperaturas ambientais estão baixas. Ele se alimenta de artrópodes como baratas, grilos e gafanhotos (Vanzolini et al., 1980). Seu modo predatório consiste na observação prolongada, aproximação lenta e captura da presa com uma rápida mordida (Vitt, 1995). Entretanto, apesar de, aparentemente, se movimentar pouco, esta espécie parece ser muito atlética, escalando e caçando intensamente ao longo do dia. Segundo Ramires (2004), em seu estudo sobre a predação de aranhas marrons pela *H. mabouia*, este geconídeo é capaz de caçar e comer até três aranhas marrons em trinta minutos e até seis aranhas por dia. Nesse sentido, apesar da intensidade das atividades dessa espécie variar muito entre baixos e altos níveis ao longo do dia, seu índice cardiossomático é muito elevado, quando comparado aos níveis encontrados por Hess (1921 *apud* Farrell et al., 1998, p.376). No entanto, este índice pode estar diretamente relacionado à taxa metabólica e à pressão do sangue arterioso desse animal. Essa relação foi amplamente discutida por diversos autores (Goetz e Keen, 1957; Hudson e Brush, 1964; Poupa e Lindström, 1983), e foi demonstrado que o tamanho do coração é proporcional ao tamanho do animal, à sua taxa metabólica e à pressão de sangue arterioso. Para estes autores, em geral, corações são

relativamente grandes em animais de tamanho similar com altas taxas metabólicas e altas pressões sanguíneas. Neste contexto, a *H. mabouia*, por ser uma espécie atlética e possuir um alto índice cardiosomático, também parece possuir alta demanda metabólica e alta pressão de sangue arterioso. No entanto, dados mais uniformes para os répteis são escassos, e uma avaliação mais adequada desse aspecto anatômico funcional requer mais estudos para espécie em questão.

O seio venoso da *H. mabouia* recebe a primeira fração de sangue sistêmico que retorna ao coração. Muitos autores (Burgreen e Wood, 1981, Heisler, 1983; Jensen, 2010) não o consideram uma câmara cardíaca verdadeira. Entretanto, para Buchanan (1956), Shaad and Qayyum (1975), Farrell et al. (1998) e Kik e Mitchell (2005), o seio venoso, assim como o ventrículo e os átrios direito e esquerdo, são câmaras cardíacas com estrutura e função determinadas. Em *H. mabouia*, o seio venoso é bastante desenvolvido quando comparado às demais câmaras cardíacas. Em sua composição, observa-se a presença de elementos importantes para a manutenção das funções cardíacas, que podem credenciá-lo como parte essencial ao complexo cardíaco.

Rau (1924) e Kashyap (1959) consideram o seio venoso uma câmara relativamente larga e indivisível. A presença do *sinus septum* é negada por esses e outros autores (Mahendra, 1942; Mathur, 1944; Shaad and Qayyum, 1975). No entanto, os achados da presente investigação estão em conformidade com o que foi descrito por Buchanan (1956) na espécie *Leiolopisma grande*, e por Farrell et al. (1998) em serpentes e sáurios.

A localização dorsal ao átrio direito e sua parede fina e muscular está de acordo com o que foi observado por Rau (1924), Kashyap (1959), Shaad and

Qayyum (1975), Farrell et al. (1998), Kik e Mitchell (2005) e Wyneken (2009). Buchanan (1956) sugere que as fibras musculares contidas no seio venoso funcionam como um marcapasso para o coração. O autor não relata a presença do nodo sinoatrial na espécie *Leiolopisma grande*. Já Shaad and Qayyum (1975), em suas observações neuro-histológicas do coração da lagartixa *Uromastix hardwickii*, descreve a presença do nodo sinoatrial localizado na extremidade cranial do septo interatrial, junto à porção invaginada da valva sinoatrial. Para Shaad and Qayyum (1975), o sistema cardíaco de condução da lagartixa *Uromastix hardwickii* é composto pelo nodo sinoatrial e nodo atrioventricular. Diferentemente de Shaad, no presente estudo não foi possível notar a presença do nodo sinoatrial nem do nodo atrioventricular. Além disso, não se observou qualquer especialização nas fibras musculares que confirmasse a hipótese sugerida por Buchanan (1956), a respeito do marcapasso cardíaco. No entanto, o que se observou foi a presença de um grande gânglio nervoso localizado junto à parede dorso-lateral do seio venoso. Pela proximidade desse gânglio com o coração, é possível inferir que ele possa participar do controle nervoso da função cardíaca desse animal.

Assim como em outras espécies de répteis não-crocodilianos (Rau, 1924; Buchanan, 1956; Kashyap, 1959; Shaad and Qayyum, 1975), o seio venoso da *H. mabouia* comunica-se com o átrio direito através do orifício sinoatrial. Segundo Farrell et al. (1998), o orifício sinoatrial é oblíquo em relação ao átrio direito, e é resguardado por um par de cúspides membranosas desenvolvidas a partir do endocárdio. De acordo com Wyneken (2009), a valva sinoatrial é formada por projeções do endocárdio que se sobrepõem separando o seio venoso do átrio direito. Em *H. mabouia*, a exemplo da lagartixa *Leiolopisma grande* (Buchanan, 1956), observa-se que a cúspide direita da

valva sinoatrial é bilaminar e contém reflexões musculares, tanto para o seio quanto para o átrio, enquanto a cúspide esquerda liga-se diretamente às paredes dorsais do átrio direito. Neste nível, as aberturas das veias pré-cava esquerda e pós-cava podem ser claramente evidenciadas no coração da *H. mabouia*. Essas pequenas diferenças morfológicas entre as espécies são adaptações que servem ao mesmo fim, que é direcionar o fluxo sanguíneo ao interior do átrio direito e evitar o refluxo durante a sístole.

Além do seio venoso, o coração dos répteis não-crocodilianos apresenta dois átrios e um ventrículo, dividido em subcâmaras interconectadas, que separam, funcionalmente, o sangue oxigenado do não oxigenado (Kik e Mitchell, 2005; Koshiba, 2009). A mesma organização funcional e morfológica pode ser descrita em *H. mabouia*. Entretanto, algumas variações estruturais, características do coração dessa espécie foram observadas e devem ser mais discutidas.

O átrio direito da espécie em estudo é ligeiramente maior que o átrio esquerdo. Semelhantemente, o átrio direito é mais largo que o átrio esquerdo, especialmente em serpentes e em testudinos (Farrell et al., 1998). Da mesma forma, Kik e Mitchell (2005), em sua revisão sobre a cardiologia reptiliana, relata que o átrio direito é maior que o átrio esquerdo em cobras. Já para Kashyap (1959), a diferença de tamanho entre os dois átrios não é significativa no coração de quelônios, mas é moderada em lacertílios, rincocéfalos e crocódilianos, sendo extrema em ofídios. Para Farrell et al. (1998), o volume sistólico final de um átrio direito mais largo teria que ser maior do que a do átrio esquerdo em condições ventilatórias normais, onde o fluxo pulmonar total e o fluxo sistêmico total são razoavelmente bem adaptados. Além disso, segundo o autor, em apnéia por exemplo, um átrio direito mais largo também poderia

acomodar melhor o aumento do retorno venoso sistêmico associado ao “shunt” intracardíaco direito–esquerdo. Da mesma forma, essa maior capacidade de acomodação do “shunt” cardíaco direito-esquerdo também favorece outros mecanismos fisiológicos adaptativos importantes, como a termorregulação desses animais. Baker e White (1970) sugerem que o “shunt” direito-esquerdo facilita o aquecimento do animal através da redução da perda de calor pelos pulmões. Em um estudo experimental Heisler e Glass (1985) demonstraram que, em tartarugas, a média da fração de “shunt” direito-esquerdo durante apnéia é 60% a 15° C, e é reduzida a 27% durante apnéia a 30° C. Hicks e Wang (1996), em estudos preliminares, confirmaram o desenvolvimento do “shunt” direito-esquerdo como mecanismos de aquecimento. Esses dados são fundamentais pois apontam evidências importantes relacionadas aos mecanismos de controle térmico da *H.mabouia*, e explicam, em parte, como esse animal consegue manter seu equilíbrio térmico mesmo em condições de temperaturas ambientais desfavoráveis a sua sobrevivência.

As paredes atriais da *H. mabouia* são muito finas, sendo formadas por tecido muscular cardíaco, tecidos conjuntivos e tecidos epiteliais de revestimento simples (endocárdio e epicárdio). As fibras musculares arranjam-se em uma única camada muscular, formada pelo miocárdio esponjoso. Do mesmo modo, para Farrell et al. (1998), as paredes atriais do coração dos répteis são finas e, geralmente, não possuem miocárdio compacto. Diferentemente, Mackinnon (1981) relata que em varanídeos e algumas serpentes, o miocárdio compacto está presente. No entanto, a variação na quantidade de músculos na parede das câmaras cardíacas dos répteis pode estar diretamente relacionada à capacidade do coração em gerar tanto fluxo, quanto pressão sanguínea. Parece haver uma importante correlação entre

pressão e massa cardíaca. De acordo com Goss (1971), o músculo cardíaco dos vertebrados opera dentro de uma amplitude limitada de estresse e compensa, adaptativamente, o aumento de carga aumentando sua massa. Essa adaptação pode ser fisiológica ou filogenética. Fisiologicamente, quando a pressão sanguínea arterial muda, como no treinamento atlético ou quando exposto a altas altitudes, as paredes do coração hipertrofiam ou atrofiam, tendendo a compensar a carga. Filogeneticamente, na relação, por exemplo, entre a massa cardíaca e o estresse na parede do ventrículo (Seymour, 1987). No entanto, Farrell et al. (1998) relata que nem sempre animais com elevados “outputs” cardíacos necessariamente têm pressão sanguínea alta e câmaras com paredes espessas. Para o autor, mais estudos deveriam ser feitos para ampliar o conhecimento das variáveis fisiológicas envolvidas nesse conceito.

O átrio esquerdo da *H. mabouia* é menor e menos muscular que o átrio direito. Ele recebe a veia pulmonar comum que desemboca na parede dorsal do átrio, junto ao septo interatrial. Sua abertura é guarnecida contra refluxos através de pregas formadas pelo endocárdio, que se projetam a partir da parede dorsal para o interior da câmara atrial. Wyneken (2009) descreve estas estruturas como pregas do tipo “retalho solto”. Segundo a autora, elas constituem a valva pulmoatrial. Semelhantemente, Mathur (1944), sugere que, em *Varanus monitor*, a abertura da veia pulmonar também é guarnecida por uma projeção do tipo retalho da parede atrial. Entretanto, Farrell et al. (1998) considera que a abertura da veia pulmonar é frequentemente, mas nem sempre, guarnecida por esta estrutura. Para Buchanan (1956), em *Leiopisma grande*, e para Rau (1924) em *Tiliqua scincoides* e *Eunectes murinus*, a abertura da veia pulmonar comum não é guarnecida por prega ou valva.

No entanto, em secções frontais do coração da *H. mabouia*, observa-se uma área de espessamento da musculatura atrial ao redor da desembocadura da veia pulmonar, o que parece ajudar a fechá-la durante a sístole atrial. Similarmente, Buchanan (1956) descreve essa região de espessamento e, além disso, a presença de um pequeno crescimento membranoso no lábio caudal da abertura onde a parede ventral da veia une-se à parede dorsal do átrio.

Na análise anatomo-histológica, também foi possível observar que a veia pulmonar comum de *H. mabouia* ascende vertical e cranialmente, a partir dos pulmões, inserindo-se, horizontalmente, na parede dorsal do átrio esquerdo, junto ao septo interatrial. Essa mudança brusca de direção parece formar uma zona de estrangulamento próxima ao ponto de sua inserção, na parede dorsal do átrio e parece estar relacionada ao controle do refluxo sanguíneo neste ponto. A mesma orientação também foi descrita por Kashyap (1959) no coração da *Teratolepis fasciata*. Entretanto, o autor não faz nenhuma inferência a respeito desta possibilidade de controle, sendo a literatura escassa em estudos que reportem esse aspecto anato-funcional.

Os compartimentos atriais da *H. mabouia* são separados pelo septo interatrial. O septo interatrial se apresenta como um delgado septo muscular que se estende do funil átrio-ventricular (caudalmente) à abertura sinoatrial (cranialmente) em uma trajetória curva. Rau (1924), em suas observações sobre a anatomia do coração do Lacertílio *Tiliqua scincoides*, descreve o trajeto do septo interatrial como oblíquo, sendo sua superfície côncava voltada para a cavidade atrial direita. De acordo com Buchanan (1956) e Shaad and Qayyum (1975), cranialmente, o septo é particularmente fino, enquanto caudalmente ele é mais espesso, continuando-se com o funil átrio-ventricular. Similarmente, no

presente trabalho foi verificado que, ao nível do funil AV, o septo interatrial é realmente mais espesso, tornando-se mais fino à medida que ascende cranialmente e à direita, próximo aos limites de sua inserção.

Em *H. mabouia*, cada valva atrioventricular (AV) possui duas cúspides que são membranosas e ligam-se cranialmente ao septo interatrial. Semelhantemente, Mathur (1944); Buchanan (1956) e Farrell et al. (1998) também relatam que as aberturas atrioventriculares são guarnecidas, cada uma, por um par de cúspides. Entretanto, Rau (1924), em suas observações sobre a anatomia do coração do Lacertílio *Tiliqua scincoides* e do Ofídio *Eunectes murinus*, descreve a presença de uma única cúspide membranosa, em forma de sino, ligada à porção caudal do septo interatrial, guarnecendo cada orifício átrio-ventricular. Já Kashyap (1959) considera que as aberturas AV são guarnecidas, cada uma, por uma única cúspide medial e, em alguns corações, por uma pequena cúspide lateral adicional.

Em *H. mabouia*, as cúspides das valvas AV são melhores visualizadas em secções frontais. Nelas as cúspides mediais aparecem mais desenvolvidas, sendo a cúspide medial direita mais desenvolvida que a esquerda. No entanto, a cúspide lateral da valva direita também é bastante desenvolvida, quando comparada com a cúspide lateral da valva AV esquerda. Essa diferença no tamanho das cúspides parece estar associada à função da valva em direcionar o fluxo sanguíneo para o interior dos cavos ventriculares, e ao grau de separação entre eles. O que parece acontecer é que, na sístole atrial esquerda, a cúspide medial da valva AV esquerda fecha o canal interventricular, direcionando o fluxo sanguíneo ao cavo arterioso, aumentando a separação entre o cavo venoso e arterioso. Além disso, a valva AV direita, por ser bastante desenvolvida, parece direcionar todo o fluxo de sangue ao cavo

venoso na sístole atrial direita, somente permitindo a passagem do sangue ao cavo pulmonar na sístole ventricular.

O ventrículo da *H. mabouia* possui a organização estrutural semelhante àquelas descritas para as tartarugas, as cobras e os lagartos em geral (Rau, 1924; Buchanan, 1956; Kashyap, 1959; Webb et al., 1971; Shaad and Qayyum, 1975; Farrell et al., 1998; Hicks, 2002; Kik e Mitchell, 2005; Wyneken, 2009). A presença dos cavos venoso, arterioso e pulmonar, assim como ocorre em outras espécies de répteis não-crocodilianos (*Python molurus*; Wang, 2002), representa, para Burggren (1994), uma evolução no processo de separação entre o sangue venoso e arterioso, quando comparado a peixes e anfíbios. Entretanto, o “design” ventricular da *H. mabouia* apresenta algumas particularidades quando comparado a outras espécies.

Morfologicamente, o cavo venoso e o cavo arterioso da *H. mabouia*, localizam-se dorsolateralmente ao cavo pulmonar. Entretanto, para Wyneken (2009), tanto o cavo arterioso quanto o cavo venoso da maioria dos quelônios, esquamatas e tuataras localizam-se dorsalmente ao cavo pulmonar, enquanto em “pythons” o cavo arterioso é o mais dorsal. Além disso, assim como ocorre em varanídeos (Farrell et al., 1998) e “pythons” (Webb et al., 1971), o cavo arterioso da espécie estudada é largo, enquanto o cavo venoso é reduzido. Este, por sua vez, além de menor, situa-se entre o cavo arterioso e o cavo pulmonar, sendo semelhante ao que foi descrito por Jensen et al. (2010) em “pythons”.

A assimetria no tamanho das subcâmaras ventriculares da *H. mabouia*, assim como acontece nos varanídeos e “pythons”, parece estar diretamente associada à separação do sangue rico e pobre em oxigênio, e ao controle do shunt cardíaco. Para Farrell et al. (1998) e Heisler (1983), essa assimetria está

diretamente relacionada à diferença na espessura das paredes. De acordo com os autores, essa diferença é responsável pela criação de pressões diferenciais entre os lados direito e esquerdo do ventrículo que, somada à presença da crista muscular, divide funcionalmente o coração em um circuito pulmonar e sistêmico durante a sístole.

O cavo arterioso da *H. mabouia* é separado, parcialmente, do cavo venoso pelo septo vertical. Este septo é bastante desenvolvido nessa espécie, mas é incompleto tanto ventralmente quanto cranialmente. O canal interventricular permite que o sangue flua do cavo arterioso ao cavo venoso. Configuração semelhante, também foi descrita em quelônios e esquamatas (Mark, 2009; Wyneken, 2009), rincocéfalos, varanídeos e “pythons” (Wyneken, 2009) e, para diversos autores (Kik e Mitchell, 2005; Mark, 2009) parece ser extremamente importante na separação funcional entre os fluxos de sangue pulmonar e sistêmico durante a diástole ventricular. Para Farrell et al. (1998), o septo vertical, por originar-se caudalmente ao septo interatrial, é análogo à parte muscular do septo ventricular encontrado em crocodilianos. Essa característica também foi observada nos espécimes estudados e parece representar importante marco no processo evolutivo desses animais.

O cavo venoso e o cavo pulmonar da *H. mabouia* são separados parcialmente pelo septo ventricular. O septo ventricular separa funcionalmente o sangue pulmonar e o sangue sistêmico durante a sístole ventricular. Este septo é pouco desenvolvido nessa espécie. De acordo com Farrell et al. (1998) e Wyneken (2008), o septo ventricular é pouco desenvolvido na maioria dos quelônios, mas é bem desenvolvido em muitos esquamatas, particularmente varanídeos e “pythons”. Para Webb (1971), Farrell et al. (1998) e Wyneken (2009), o crista ventricular é incompleto apenas dorso-lateralmente,

diferentemente do que foi observado na *H. mabouia*, onde o septo ventricular é incompleto tanto dorso-lateralmente quanto cranialmente. Em cortes transversais mais craniais, não se observa a presença do septo ventricular nem a separação entre o cavo venoso e cavo pulmonar. Entretanto, em cortes transversais mais caudais, este septo torna-se mais evidente, destacando-se bem sua origem, na base dos arcos aórticos, e extensão, além da divisão entre os cavos venoso e pulmonar.

Essas características morfológicas podem resultar em potencial comunicação entre as subcâmaras ventriculares durante todas as fases do ciclo cardíaco, alterando os mecanismos de controle do “shunt” cardíaco nesse animal. Para Burggren (1987) e Hicks (1994), répteis cujo septo ventricular é pouco desenvolvido e o ventrículo funciona como uma bomba única durante todo o ciclo cardíaco, a direção e a magnitude do shunt cardíaco é determinada por fatores autonômicos de controle da resistência vascular da circulação pulmonar e sistêmica. No entanto, o shunt cardíaco não deve ser considerado uma desvantagem evolutiva. Ao contrário, White (1976), Johansen e Burggren, (1980) e Hicks (2002) defendem a hipótese de que o “shunt” cardíaco provê uma série de vantagens fisiológicas aos répteis, tais como: salvar energia cardíaca e facilitar o aquecimento (shunt direito-esquerdo).

Na origem do septo ventricular da *H. mabouia*, e ancorando o septo aórticopulmonar, destaca-se a presença de uma estrutura óssea de formato irregular. Esta estrutura parece equivaler-se ao suporte cartilaginoso calcificado encontrado em répteis mais velhos, como descrito por Farrell et al. (1998) e Wyneken (2001). No entanto, em secções transversais mais caudais da base do coração da *H. mabouia*, também se observa ventralmente, e no interior do septo áortico-pulmonar, a presença de um disco cartilaginoso. Segundo

Matumoto (1938 *apud* López et al., 2003, p.97), Kashyap (1950; 1959) e Farrell et al. (1998), este disco presente no coração, trata-se de um depósito de cartilagem hialina, ainda não calcificada, constituinte do esqueleto cardíaco fibroso de várias espécies reptilianas. De acordo com López et al. (2003), o significado funcional da cartilagem cardíaca ainda é um problema. Para o autor, sua função parece estar associada à exposição de algumas estruturas, a alto estresse mecânico durante o ciclo cardíaco. Entretanto, nenhum desses autores descreve a presença de ambas as estruturas, óssea e cartilaginosa, em um mesmo animal como encontrado na espécie em estudo. Além disso, eles ainda não definem com clareza quais seriam suas funções. Contudo, o que parece é que as duas estruturas possuem funções tanto distintas quanto complementares.

Nesse sentido, a estrutura óssea, por sua localização mais dorsal e junto a base dos troncos aórticos e pulmonar, parece servir de suporte para o septo aórticopulmonar, e como local de inserção e articulação das cúspedis ventrais das valvas do tronco aórtico, e da cúspide dorsolateral da valva do tronco pulmonar. Já o suporte cartilaginoso, apesar de mais ventral, também parece ajudar a sustentar o septo aórticopulmonar, enquanto mantém a estabilidade e integridade dos troncos aórticos e pulmonar, durante a passagem do fluxo sanguíneo sob altas pressões. Essas duas estruturas reforçariam o delicado esqueleto cardíaco desse animal, permitindo que, mesmo em situações de estresse mecânico, como em posições anti-gravitacionais onde a sobrecarga dos órgão e vísceras sobre o coração aumenta, o coração permaneça íntegro e funcional.

A partir da análise microscópica de material histológico corado pelo reativo de Shiff (PAS) foi possível observar a presença de vasos sanguíneos

localizados na periferia da parede ventricular. Similarmente ao que foi descrito por Buchanan (1956), Mackinnon (1981) e Farrell et al. (1998), na *H. mabouia* o miocárdio compacto da câmara ventricular parece possuir um sistema próprio de irrigação sanguínea. De acordo com Farrell et al. (1998), as artérias coronárias e seus ramos tendem a permanecer na superfície externa do coração, sendo responsáveis apenas pelo suprimento do miocárdio compacto. O que parece é que o miocárdio compacto, por circular o miocárdio esponjoso, e por formar a camada mais externa da parede ventricular, não entra em contato com o sangue que circula no interior da câmara cardíaca, necessitando de um aporte de sangue, rico em oxigênio, paralelo.

Em *H. mabouia*, não foi possível identificar os limites celulares e o número de núcleos por fibra. No entanto, os núcleos observados aparecem ovóides e alongados, diferentemente do lagarto *Leiolopisma grande* (Buchanan, 1956), onde todas as câmaras cardíacas do coração apresentam fibras musculares uni ou multinucleadas e núcleos de tamanhos e formas variadas. Entretanto, tanto na lagartixa *H. mabouia*, quanto no lagarto *Leiolopisma*, não se observou discos intercalares, ou a presença de tecido conjuntivo ao redor das fibras das câmaras atriais e ventricular, com os métodos de coloração utilizados.

A espessura das paredes varia entre as câmaras musculares. No seio venoso, as paredes possuem menor espessura, quando comparadas aos átrios e ventrículos. Entretanto, as paredes ventriculares são mais espessas, pois além de possuírem o miocárdio esponjoso, possuem o miocárdio compacto. Esse padrão, também se repete em outras espécies de répteis não-crocilianos (Buchanan, 1956; Mackinnon, 1981; Farrell, et al. 1998; Wyneken, 2009), reforçando a teoria de Goss (1971) e Seymour (1987), que

relaciona à adaptação do músculo cardíaco dos vertebrados às cargas (variações da pressão sanguínea ou outputs cardíacos) a ele impostas. Neste sentido, o que parece é que há uma progressão nas cargas impostas sobre as câmaras cardíacas a partir do seio venoso e do átrio esquerdo, já que ambos são portas de entrada para o circuito cardíaco interno e possuem menores “outputs”, determinando paredes menos musculares.

Na microscopia de varredura, ressalta-se que as paredes atriais possuem uma camada muscular mais delgada que a camada das paredes dos ventrículos. Tanto os átrios quanto o ventrículo são recobertos, externamente, pelo epicárdio e, internamente, pelo endocárdio, similarmente ao que se observa nas demais espécies reptilianas (Farrell et al., 1998). O endocárdio é formado por tecido conjuntivo e tecido epitelial pavimentoso simples, e, assim como nos mamíferos, recobre as válvulas e é contínuo com o revestimento endotelial dos vasos sanguíneos. Essa camada de revestimento interno tem propriedades particulares e é a única camada de tecido que tem contato com o sangue (Souza e Elias, 2006). Entre suas funções, destacam-se: a produção de fatores anticoagulantes, descrita em ratos por Yamashita (2003), função mecânica que previne distensão excessiva e suporta a retração elástica durante o relaxamento (Black, 1957); a atuação como uma barreira físico-química que modula a permeabilidade entre o sangue e o miocárdio, regulando seletivamente a troca de partículas neutras e carregadas entre o sangue e o meio intersticial das células do músculo cardíaco (Brutsaert, 1989); a endocitose de macromoléculas como a ferritina em ratos (De Bruyn et al., 1983; Leknes, 1987) e a hemoglobina em peixes das espécies *Xiphophorus helleri* L. e *Xiphophorus maculatus* L. (Leknes, 2001); o estabelecimento de parâmetros para a morfogênese do tubo cardíaco através de interações entre o endocárdio

e os cardiomiócitos (Holtzman, 2007), e a expressão de fatores de crescimento fibroblástico para regulação da proliferação e diferenciação “in vivo” dos cardiomiócitos (Lavine, 2005).

Em *H. mabouia*, o endocárdio aparece bem desenvolvido com as células endocárdicas apresentando um citoplasma extremamente delgado, núcleo achatado com cromatina descondensada e poucos grumos de heterocromatina, indicando alta atividade sintética. Como um animal vertebrado, o endocárdio da *H. mabouia* parece possuir funções muito semelhantes a peixes, aves e mamíferos, o que justificaria a alta taxa metabólica celular encontrada. No entanto, o que se sabe é que, em algumas espécies reptilianas, o miocárdio esponjoso (trabeculado) é nutrido pelo sangue que flui no interior das câmaras cardíacas (Buchanan, 1956; Howse, 1970; Mackinnon, 1981; Farrell et al., 1998). Desta forma, em *H. mabouia*, como as câmaras atriais e ventricular possuem revestimento endocárdico. O que se supõe é que o transporte transendocárdico de nutrientes, tanto de oxigênio quanto de outras macromoléculas, deve ser muito intenso para a manutenção do equilíbrio metabólico do miocárdio. Contudo, faltam estudos que abordem os aspectos morfofuncionais do endocárdio reptiliano e que norteiem trabalhos futuros.

As fibras musculares do miocárdio ventricular da *H. mabouia* apresentam características similares ao que foi descrito por Forbes (1971) para o ventrículo reptiliano. As fibras são estriadas e suas miofibrilas são organizadas em sarcômeros, sendo possível identificar as linhas Z e as bandas I e A como áreas mais elétricas densas em secções longitudinais, características que se assemelham ao observado em aves (Jewett, 1973) e mamíferos (Stenger, 1961). No entanto, em *H. mabouia*, nota-se, diferentemente de outros vertebrados, que, no ventrículo, as miofibrilas não se orientam

unidirecionalmente dentro da mesma fibra muscular. Esse arranjo multidirecional pode estar relacionado ao mecanismo de contração dos cardiomiócitos da espécie em estudo.

Os discos intercalares não foram precisamente identificados na *H. mabouia*, pois não conseguimos a definição ideal das membranas. O que se observou foram especializações de membrana caracterizadas por interdigitações e acúmulo de material elétron denso na superfície sarcoplasmática. Esta configuração estrutural se assemelha muito às zonas de adesão e aos desmosomas, encontrados nos discos intercalares de répteis (Forbes, 1971) e mamíferos (Herbert, 2009). Segundo Herbert (2009), os discos intercalares dos mamíferos são descritos como contendo três “zonas” funcionais: (1) desmosomas, (2) junções comunicante, (3) zonas de adesão. Para, Forbes (1971), os discos intercalares correm transversalmente ao longo do espaço entre uma ou duas miofibrilas, depois, estendem-se longitudinalmente a outro nível, que contém zonas desmosomais e junções comunicantes.

Os discos intercalares ocupam uma posição central na transmissão de força, na continuidade elétrica e na comunicação química dos cardiomiócitos (Herbert, 2009). Nesse sentido, por ocorrerem tanto em répteis (Forbes, 1971, 1974), quanto em aves (Jewett, 1971) e mamíferos (Stenger, 1961; Herbert, 2009), os discos intercalares devem estar presente em *H. mabouia*. Contudo, mais trabalhos devem ser feitos para identificar, com precisão, sua morfologia e função na espécie estudada.

Os túbulos T e o retículo sarcoplasmático também não foram identificados, e nenhuma estrutura correlata pôde ser identificada.

7. CONCLUSÃO

O padrão morfofuncional do coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia* mostrou-se semelhante a maioria dos répteis não-crocodilianos estudados. A *H. mabouia* apresentou índice cardiossomático elevado, quando comparada a outras espécies, demonstrando ser uma espécie muito ativa. Seu coração, é tetracavitário, possuindo um seio venoso, dois átrios e um ventrículo. Seu ventrículo é subcompartmentalizado, sendo dividido em três subcâmaras: cavo pulmonar, cavo venoso e cavo arterioso. O septo ventricular separa, parcialmente, o cavo pulmonar e o cavo venoso. Enquanto o septo vertical separa, parcialmente, o cavo venoso e o cavo arterioso, havendo mistura parcial de sangue no interior do ventrículo. Já em relação ao sistema de condução da *H. mabouia*, foi possível observar apenas a presença de um gânglio nervoso localizado na parede dorsal e externa do seio venoso. Os nodos sinoatrial e átrioventricular não foram identificados nesta espécie. Os discos intercalares, os túbulos T e o retículo sarcoplasmático, também não foram identificados na análise ultra-estrutural. Deste modo, levando-se em consideração a escassez de dados referentes a morfologia e a fisiologia do coração da *H. mabouia* tornam-se necessários estudos adicionais relativos ao sistema de condução, a circulação intracardiaca e a ultra-estrutura cardíaca desta espécie.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acolat L. 1935. Contribution à l'anatomie comparée Du coeur, em particulier Du ventricule, des Batraciens et des Reptiles. Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs. 46: 71-81.
- Anjos LA, Rocha CFD. 2008. Reproductive ecology of the invader species gekkonid lizard *Hemidactylus mabouia* in an area of southeastern Brazil. Iheringia, Sér. Zool. 98(2): 205-209.
- Anjos LA. 2004. Ecologia de um lagarto exótico (*Hemidactylus mabouia*, Gekkonidae) vivendo na natureza (campo ruderal) em Valinhos, São Paulo. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.
- Axelsson M, Franklin CE. 1997. From anatomy to angioscopy: 164 years of crocodilian cardiovascular research, recent advances, and speculations. Comp. Biochem. Physiol. 118(1): 51-62.
- Badeer HS. 1998. Anatomical position of heart in snakes with vertical orientation: a new hypothesis. Comp. Biochem. Physiol. 119A(1): 403-405.
- Baker LA, White FN. 1970. Redistribution of cardiac output in response to heating in *Iguana iguana*. Comp. Biochem. Physiol. 35: 253-262.
- Baldo D, Borteiro C, Brusquetti, Garcia JE, Prigioni C. 2008. Reptilia, Gekkonidae, *Hemidactylus mabouia*, *Tarentola mauritanica*: Distribution extension and anthropogenic dispersal. Check List. 4(4): 434-438.
- Bhatia ML. 1929. On the arterial system of the lizard, *Uromastix hardwickii*. Grav. J. Morphol. 48: 281-316.
- Black SB. 1957. Infantile endocardial fibroelastosis. A suggested etiology. Arch. Pathol. 63:281-306.
- Bonfiglio F, Balestrin RL, Cappelari LH. 2006. Diet of *Hemidactylus mabouia* (Sauria, Gekkonidae) in urban area of southern Brazil. Biociências. 14(2): 107-111.
- Brücke E. 1852. Beiträge zur vergleichenden Anatomie und Physiologie des Gefass-Systems. Denkschr. Akad. Wiss. Wien. 3: 335-367.
- Brutsaert LD. 1989. The endocardium. AmlU. Rev. Physiol. 51: 263-73
- Buchanan JG. 1956. The gross and minute anatomy of the heart of the lizard, *Leiolopisma grande* (Gray). Trans. Royal Society of N.Z. 84(1): 103-120.
- Burggren WW. 1977. The pulmonary circulation of the chelonian reptile: morphology, pharmacology and haemodynamics. J. Comp. Physiol. 116: 303-24.
- Burggren WW, Shelton G. 1979. Gas exchange and transport during intermittent breath in ginchelonian reptiles. J. Exp. Biol. 82: 75-92.

- Burggren, WW, Wood, SC. 1981. Respiration and acid-base balance in the tiger salamander, *Ambystoma tigrinum*: Influence of temperature acclimation and metamorphosis. *J. Comp. Physiol.* 144: 241-246.
- Burggren WW, Johansen K. 1982. Ventricular haemodynamics in the monitor lizard *Varanus exanthematicus*: pulmonary and systemic pressure separation. *J. Exp. Biol.* 96: 343–54.
- Burggren WW. 1987. Form and function in reptilian circulations. *Am. Zool.* 27(1): 5-19.
- Burggren WW, Warburton SJ. 1994. Patterns of form and function in developing hearts: contributions from non-mammalian vertebrates. *Cardioscience.* 5: 183-191.
- Cabanac A, Cabanac M. 2000. Heart rate response to gentle handling of frog and lizard. *Behav Processes.* 52(2–3): 89–95.
- De Queiroz K. 1997. The Linnean hierarchy and the evolutionization of taxonomy, with emphasis on the problem of nomenclature. *Aliso.* 15: 125-144.
- De Bruyn PPH, Cho Y, Michelson S. 1983. *In vivo* endocytosis by bristle-coated pits of protein tracers and their intracellular transport in the endothelial cells lining the sinuses of the liver.I. The endosomal disposition. *J. Ultrastruct. Res.* 85: 272-289.
- Else PL, Hulbert AJ. 1983. A comparative study of the metabolic capacity of hearts from reptiles and mammals. *Comp. Biochem. Physiol.* 76 (3): 553-557.
- Farrell AP, Graperil AK, Frances, TB. 1998. Comparative aspects of heart morphology. In *Biology of the Reptilia, Vol 19: Morphology G: Visceral Organs* (ed. C. Gans and A.S. Gaunt), pp.375-424. Ithaca, New York: SSAR Press.
- Franklin CE, Seebacher F. 2003. The effect of heat transfer mode on heart rate responses and hysteresis during heating and cooling in the estuarine crocodile *Crocodylus porosus*. *J. Exp. Biol.* 206: 1143–51.
- Forbes MS, Sperelakis N. 1971. Ultrastructure of lizard ventricular muscle. *J. Ultrastruct. Res.* 34: 439-451.
- Forbes MS, Sperelakis N. 1974. Spheroidal bodies in the junctional sarcoplasmic reticulum of lizard myocardial cells. *J. Cell. Biol.* 60: 602-615
- Girling SJ, Hynes B. 2004. Cardiovascular and haemopoietic systems, in Girling SJ, Raiti P (eds): *BSAVA Manual of Reptiles*, 2nd edition. Quedgeley, Gloucester, BSAVA. p.243-260.
- Goetz RH, Keen EN. 1957. Some aspects of the cardiovascular system in the giraffe. *Angiology* 8: 542-564
- Goodrich ES. 1919. Note on the reptilian heart. *J. Anat. Lond.* 53: 298-304.
- Goodrich ES. 1930. *Studies on the structure and development of vertebrates.* Macmillan, London. p.837.

- Goss RJ. 1971. Adaptive growth of the heart. In N.R. Alpert (ed). Cardiac Hipertrophy. pp. 1-10. Academic Press, New York.
- Guarino R, Colli DO, Mesquita PVR, Kitayama K. 2003. Ecology of the Gecko *gymnodactylus geckoides amarali* in a Neotropical Savanna. *J. Herpetol.* 37(4): 694-706.
- Hatano FH, Cibradic D, Galdino CAB, Cunha-Barros M, Rocha CFD, Van-Sluys M. 2001. Thermal ecology and activity patterns of the lizard community of the restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ. *Rev. Brasil. Biol.* 61(2): 287-294.
- Heisler N, Neumann P, Maloiys GMO. 1983. The mechanism of intracardiac shunting in the lizard *Varanus exanthematicus*. *J. Exp. Biol.* 105: 15–31.
- Heisler N, Glass, ML. 1985. Mechanisms and regulation of central vascular shunts in reptiles. In *Cardiovascular Shunts* (ed. K. Johansen and W. W. Burggren). pp.334-353. Copenhagen: Munksgaard.
- Herbert B, Guilhaus M, Charleston M. 2009. Intercalated discs: multiple proteins perform multiple functions in non-failing and failing human hearts. *Biophys Rev.* 1:43–49.
- Hicks JW, Comeau SG. 1994. Vagal regulation of intracardiac shunting in the turtle *Pseudemys scripta*. *J. Exp. Biol.* 186: 109-126.
- Hicks JW, Wang T. 1996. Functional role of cardiac shunts in reptiles. *J. Exp. Zool.* 275: 204-216.
- Hicks JW. 1998. Cardiac shunting in reptiles: mechanisms, regulation and physiological function. In: Gans C, Gaunt AS, editors. *Biology of the Reptilia*. Ithaca, NY: Society for the Study of Amphibians and Reptiles. p.425-83.
- Hicks JW. 2002. The physiological and evolutionary significance of cardiovascular shunting patterns in reptiles. *News. Physiol. Sci.* 17: 241-245.
- Hillis DM, Moritz C, Mable BK. 1996. *Molecular systematic*, 2^o Ed. Sinauer. Assoc. Inc. Sunderland. MA.
- Holtzman GN, Schoenebeck JJ. 2007. Endocardium is necessary for cardiomyocyte movement during heart tube assembly. *Development.* 134: 2379-2386.
- Howse HD, Ferrans VJ, Hibbs, RG. 1970. A comparative histochemical and electron microscopic study of the surface coatings of cardiac muscle cells. *J. Mol. Cell. Cardiol.* 1: 157-68.
- Hudson JW, Brush AH. 1964. A comparative study of the cardiac and metabolic performance of the dove, *Zenaidura macroura*, and the quail, *Lophortyx californicus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 12: 157-170.

- Jackson DC, Heisler N. 1984. The contribution of the alkaline pericardial fluid of freshwater turtles to acid buffering during prolonged anoxia. *J. Exp. Biol.* 109: 55-62.
- Jensen B, Nielsen JM, Axelsson M, Pedersen M, Wang T. 2010. How the python hearts separates pulmonary and systemic blood pressures and blood flows. *J. Exp. Biol.* 213: 1611-1617.
- Jewett PH, Leonard SD, Sommer JR 1973. Chicken cardiac muscle: its elusive extend junctional sarcoplasmic reticulum and sarcoplasmic reticulum fenestrations. *J. Cell. Biol.* 56: 595-600.
- Jones DR. 1996. The crocodylian central circulation: reptilian or avian? *Verh. Zool. Bot. Ges. Wien.* 89: 209-18.
- Jones DR, Shelton G. 1993. The physiology of the alligator heart: left aortic flow patterns and right-to-left shunts. *J. Exp. Biol.* 176: 247-69.
- Johansen K, Burggren WW. 1980. Cardiovascular function in the lower vertebrates. In *Hearts and Heart-like Organs*, Vol. 1 (ed. G. H. Bourne). pp.61-117. New York: Academic Press.
- Josiah HT, Kenneth LK. 2003. The distribution of *Hemidactylus* (Sauria: Gekkonidae) in Northern Peninsular Florida. *Florida Scient.* 66(3): 204–208.
- Kardong KV. 2006. *Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution*. 4th edition. Boston: McGraw - Hill.
- Kashyap HV. 1950. The structure of the heart of *Thyphlops*. *J. Zool. Soc. Indian.* 2(1): 42-48.
- Kashyap HV. 1959. The reptilian heart. *J. Zool. Soc. Indian.* p.234-254.
- Kik MJL, Mitchell MA. 2005. Reptile cardiology: a review of anatomy and physiology, diagnostic approaches, and clinical disease. *Semin. Avian. Exot. Pet. Med.* 14(1): 52–60.
- Koshiba TK, Mori AD, Kaynak BL, Thomas JC, Sukonnik T, Georges RO, Latham S, Beck L, Henkelman M, Black BL, Olson EN, Wade J, Takeuchi JK, Nemer M, Gilbert SF, Bruneau BG. 2009. Reptilian heart development and the molecular basis of cardiac chamber evolution. *Nature.* 3; 461(7260): 95-98.
- Lavine KJ, Yu K, White AC. 2005. Endocardial and epicardial derived FGF signals regulate myocardial proliferation and differentiation in vivo. *Develop. Cell.* 8: 85-95.
- Leene JE, Vorstman AG. 1930. Note on the structure of the heart of *Varanus* as compared with other reptilian hearts. *Tijdsch. Ned. Dierkundige Vereeniging.* 2:62-66.
- Leknes IL. 1987. Endocytosis of horse-spleen ferritin by bony fish endocardium. *Acta. Histochem.* 81:175-182.

Leknes IL. 2001. Endocytosis of ferritin and hemoglobin by the trabecular endocardium in swordtail, *Xiphophorus helleri* L. and platy, *Xiphophorus maculatus* L. (Poeciliidae: Teleostei). *Ann. Anat.* 183:251-254.

López D, Durán AC, Andrés AV, Guerrero A. 2003. Formation of cartilage in the heart of the Spanish Terrapian, *Mauremys leprosa* (Reptilia, Chelonia). *J. Morphol.* 258:97–105.

MacKinnon MR. 1981. Heat wole H. Comparative cardiac anatomy of the Reptilia. IV. The coronary arterial circulation. *J. Morphol.* 170: 1-27.

Mahendra BC. 1942. Contributions to the bionomics, anatomy, reproduction and development of the Indian house-gecko, *Hemidactylus flaviviridis* Ruppel. Part III. The heart and the venous system. *Proc. Indian. Acad. Sci. B.* 15: 231-252.

Mark A, Mitchell DVM. 2009. Reptile cardiology. *Vet Clin Exot Anim* 12: 65-79.

Mathur PN. 1944. The anatomy of the reptilian heart. Part I. *Varanus monitor* (Linne). *Proc. Indian. Acad. Sci. B.* 20: 1-29.

Mathur PN. 1946. The anatomu of the reptilian heart. Part II. Serpentes, Testudinata and Loricata. *Proc. Indian Acad. Sci. B.* 23: 129-152.

McCracken HE. 1999. Organ location in snakes for diagnostic and surgical evaluation. In: Miller RE, editor. *Zoo and Wildlife Medicine Current Therapy 4*. Philadelphia: WB Saunders. p.243-8.

Millard RW, Johansen K. 1974. Ventricular outflow dynamics in the lizard, *Varanus niloticus*: responses to hypoxia, hypercarbia and diving. *J. Exp. Biol.* 60: 871-880.

Murray MJ. 2006. Cardiology. In: Mader DR, editor. *Reptile medicine and surgery*. 2nd edition. Philadelphia: WB Saunders/Elsevier. p.181-95.

Nakamura K. 1941. Studies on the Blind Snake. *Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa*, 31: 299-305.

Nogueira KOPC. 2008. Morfologia e ultra-estrutura do ouviduto de *Hemidactylus mabouia* Moreau de Jonnés, 1818 (Squamata: Gekkonidae) durante o ciclo reprodutivo. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Estrutural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

O'Donoghue CH. 1918. "The heart of the leathery turtle, *Dermochelys coriacea*, with a note on the septum ventriculorum." *J. Anat.* 52.

Poupa O, Lindström L. 1983. Comparative and scaling aspects of heart and body weigths with reference to blood supply of cardiac fibers. *Comp. Biochem. Physiol.* 76A (3): 413-421.

Rau AS. 1924. Observations on the anatomy of the heart of *Tiliqua scincoides* and *Eunectes murinus*. *J. Anat, Lond.* 59: 60-71.

- Ramires EN, Fraguas GM. 2004. Tropical house gecko (*Hemidactylus mabouia*) predation on brown spiders (*Loxosceles intermedia*). J. Venom. Anim. Toxins Incl. Trop. Dis. 10 (2): 185-190.
- Stenger RJ, Spiro D. 1961. The ultrastructure of mammalian cardiac muscle. J. Biophys. Biochem. Cytol. 9: 325-351.
- Rivera CCM, Negron AG, Bertrand M, Acosta J. 2003. *Hemidactylus mabouia* (Sauria: Gekkonidae), Host of *Geckobia hemidactyli* (Actinedida: Pterygosomatidae), throughout the Caribbean and South America. Caribb. J. Sci. 39 (3): 321-326.
- Rocha CFD, Anjos LA. 2007. Feeding ecology of a nocturnal invasive alien lizard species, *Hemidactylus mabouia* Moreau de Jonnès, 1818 (Gekkonidae), living in an outcrop rocky area in southeastern Brazil. Braz. J. Biol. 67(3): 485-491.
- Rocha CFD, Vrcibradic D, Van Sluys M. 2004. Diet of the lizard *Mabuya agilis* (Sauria; Scincidae) in insular habitat (Ilha Grande, RJ, Brazil). Braz. J. Biol. 64(1): 135-139.
- Sapsford CW. 1978. Anatomical evidence for intracardiac bloods hunting in marine turtles. Afr. Zool. 13(1): 57-62.
- Sartori SSR. 2009. Morfologia do tubo digestivo da lagartixa *Hemidactylus mabouia* Moreau de Jonnès, 1818 (Squamata: Gekkonidae). Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Estrutural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Seymour R. 1987. Scaling of cardiovascular physiology in snakes. Integr. Comp. Biol. 27: 97-109.
- Shaad FU, Qayyum MA. 1975. Anatomical and neurohistological observation on the heart of the spiny lizard, *Uromastix hardwickii*. Acta Anatomica. 93(3): 399-410.
- Souza MHL, Elias DO. 2006. Fundamentos da Circulação Extracorpórea. Centro Editorial Alfa Rio. 2ed: 51-71. Rio de Janeiro.
- Vargens MMF, Dias EJR, Silva RML. 2008. Ecologia térmica, período de atividade e uso de microhabitat do lagarto *Tropidurus hygomi* (Tropiduridae) na restinga de Abaeté, Salvador, Bahia, Brasil. BOL. MUS. BIOL. MELLO LEITÃO (N. SÉR.). 23: 143-156.
- Van Mierop LHS, Kutsche LM. 1981. Comparative anatomy of the ventricular septum. In: Wenink, A.C.G. (ed.) *The ventricular septum of the heart*. Martinus Nijhoff, The Hague. pp. 35-46.
- Van Mierop LHS, Kutsche LM. 1985. Some aspects of comparative anatomy of the heart. In: JohansenK, Burggren W, editors. Alfred Benzon symposium 21:cardiovascular shunts: phylogenetic, ontogenetic and clinical aspects. Copenhagen: Munksgaard. p.38–53.
- Vanzolini PE, Ramos Costa AMM, Vitt LJ. 1980. Répteis das Caatingas. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. p.161.

- Vitt LJ. 1995. The ecology of tropical lizards in the Caatinga of northeast Brazil. *Occasional Papers of the Oklahoma Museum of Natural History*. 1: 1-29.
- Von Hofsten N. 1941. On the phylogeny of the reptilian. *Zool. Bidr. Uppsala*, 20: 501-521.
- Wang T, Hicks, JW. 1996. The interaction of pulmonary ventilation and the right-left shunt on arterial oxygen levels. *J. Exp. Biol.* 199: 2121-212.
- Wang T, Warburton S, Abe A, Taylor T. 2001. Vagal control of heart rate and cardiac shunts in reptiles: relation to metabolic state. *Exp. Physiol.* 86(6): 777-84.
- Wang T, Altimiras J, Axelsson M. 2002. Intracardiac flow separation in an in situ perfused heart of Burmese python *Pythonmolurus*. *J. Exp. Biol.* 205: 2715-23.
- Wang T, Altimiras J, Klein W, Axelsson M. 2003. Ventricular haemodynamics in *Pythonmolurus*: Separation of pulmonary and systemic pressures. *J. Exp. Biol.* 206: 4241-5.
- Webb GJW, Heatwole H, de Bavay J. 1971. Comparative cardiac anatomy of the Reptilia. I. The chambers and septa of the varanid ventricle. *J. Morphol.* 134: 335-50.
- Webb GJW, Heatwole H, de Bavay J. 1974. Comparative cardiac anatomy of the Reptilia. II. A critique of the literature on the Squamata and Rhynchocephalia. *J. Morphol.* 142:1-20.
- Webb GJW. 1979. Comparative cardiac anatomy of the Reptilia. III. The heart of crocodylians and an hypothesis on the completion of the interventricular septum of crocodylians and birds. *J. Morphol.* 161: 221-40.
- Williams DL. 1992. Cardiovascular system. In: Beynon PH, Lawton MPC, Cooper JE, editors. *Manual of reptiles*. Cheltenham (UK): British Small Animal Veterinary Association. p.80-7.
- White FN. 1959. Circulation in the reptilian heart (Squamata). *Anat. Rec.* 135: 129-134.
- White FN, Ross G. 1966. Circulatory changes during experimental diving in the turtle. *Am. J. Physiol.* 211: 15-18.
- White FN. 1968. Functional anatomy of the heart of reptiles. *Am. Zool.* 8: 211-9.
- White FN. 1976. Circulation. In: Gans C, Dawson ER, editors. *Biology of the Reptilia*. New York: Academic Press. p.275-334.
- Wyneken J. 2009. Normal reptile heart morphology and function. *Vet. Clin. Exot. Anim.* 12: 51-63.
- Wyneken J. 2008. The structure of cardiopulmonary systems of turtles: implications for behavior. In: Wyneken J, Godfrey M, Bels V, editors. *The biology of turtles*. Boca Raton: CRC Press; p.213-24.

Wyneken J. 2001. Guide to the anatomy of seaturtles. NOAA Tech., Memo NMFS-SEFSC-470. Miami (FL): NMFS technical publication.

Yamashita T, Sekiguchi A, Iwasaki Y, Sagara K, Hatano S, Inuma H, Aizawa T, Fu LT. 2003. Thrombomodulin and tissue factor pathway inhibitor in endocardium of rapidly paced rat atria. *Am. Heart. Assoc.* 108: 2450-2452.

Zug GR, Vitt LJ, Caldwell JP. 2001. *Herpetology*, 2^oEd. Academic Press, San Diego, London, 630 pp.