



ARTIGO | ARTICLE

Por que as pererecas e as lagartixas não caem das paredes?

Why do tree frogs and geckos not fall off walls?

Mônica Caroline Pavan Cassel¹
Adelina Ferreira²

RESUMO

Alguns lagartos, pererecas e insetos possuem a habilidade de mover-se em superfícies verticais. Um estudo comparativo revelou que o sistema de aderência biológica converge em dois modelos principais: "com pelos" e "liso". Estes mecanismos incluem interações superficiais, como secreções de fluidos e interações moleculares. Com o objetivo de relacionar esta habilidade a uma resposta de caráter biológico, amostras das patas da lagartixa [*Hemidactylus mabouia* (Moreau de Jonnés, 1818) Reptilia, Gekkonidae] e da perereca [*Dendropsophus minutus* (Peters, 1872) Anura, Hylidae] foram analisadas e fotografadas através de microscopia eletrônica de varredura. A pata da lagartixa é composta por escamas de revestimento, garras e estruturas em forma de "esponja". Estas "esponjas" são compostas por estruturas filamentosas e ramificadas em sua extremidade. Os filamentos permitem que a área de contato entre a pata e o substrato aumente, possibilitando maior aderência e equilíbrio. As escamas que contornam as "esponjas" são diferenciadas, apresentando um orifício central, o qual supõe-se que sejam aberturas glandulares. A pata da perereca é composta por células colunares, hexagonais e claramente espaçadas entre si. Suas expansões digitais contêm glândulas que secretam uma substância pegajosa, utilizada para a adesão. Apesar de morfologicamente diferentes, as patas das lagartixas e das pererecas apresentam funções semelhantes: aderência e proteção, uma vez que permite a esses animais movimentar-se em locais de difícil acesso inclusive para os seus predadores.

Palavras-chave: Adesão. Anura. Microscopia eletrônica de varredura. Patas. Squamata.

ABSTRACT

Some lizards, tree frogs and insects have the ability to move across vertical surfaces. A comparative study showed that the system of biological adhesion converges in

¹ Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Biociências. Cuiabá, MT, Brasil.

² Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Biociências. Av. Fernando Corrêa, s/n., 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: A. FERREIRA. E-mail:<adelina@ufmt.br>.

two main models: hairy and smooth. These mechanisms include superficial interactions, such as the secretion of fluids and molecular interactions. With the aim of linking this ability to a biological explanation, toe specimens from lizards [*Hemidactylus mabouia* (Moreau de Jonnés, 1818) Reptilia, Gekkonidae] and tree frogs [*Dendropsophus minutus* (Peters, 1872) Anura, Hylidae] were analyzed and photographed using scan electron microscopy. The lizard's toe is composed of a coating of scales, claws and structures that look like a "pad". These "pads" are composed of filamentous and branch-like structures at the extremities. The filaments allow an enlargement of the contact area between the toe and the substrate, providing greater adhesion and balance. The scales that surround the "pads" are different, displaying a central orifice that we assume to be glandular openings. The tree frog's toe is composed of hexagonal, columnar cells, with a clearly defined space between each one. Its digits have glands which secrete a viscous substance used for adhesion. Despite the morphological differences, the toes of lizards and tree frogs display similar functions, namely adhesion and protection, since they allow these animals to move in places with difficult access, even for their predators.

Key words: Adhesion. Anura. Scan electron microscopy. Squamae. Toes.

INTRODUÇÃO

Alguns lagartos, pererecas e insetos possuem a habilidade de se mover em superfícies verticais e, até mesmo, em tetos. Um estudo comparativo entre insetos e outras espécies animais revelou que o sistema de aderência biológica converge basicamente em dois modelos principais: um sistema "com pelos" que consiste em estruturas capilares finíssimas projetadas sobre a superfície e com variação de tamanho de poucas centenas de nanômetros e uns poucos microns (dependendo da espécie animal); e um sistema "liso" com uma camada superficial relativamente lisa cobrindo uma estrutura tecidual fina (Gorb *et al.*, 2000; Sherge & Gorb, 2001; Niederegger *et al.*, 2002; Gao *et al.*, 2004).

Por possuírem estruturas diferenciadas, estes modelos se utilizam de forças alternativas para exercerem a aderência. Possíveis mecanismos de aderência biológica incluem interações superficiais, como a secreção de fluidos (capilaridade e viscosidade) e a adesão molecular (Forças de van der Waals) (Gao *et al.*, 2004).

Há sempre forças atrativas entre as moléculas, como a Forças de van der Waals, que provêm da correlação do movimento eletrônico em moléculas vizinhas (núcleos positivos em uma molécula exercem uma força atrativa nos elétrons de outra molécula).

Em vista disso, parece razoável afirmar que, quanto maior o número de elétrons em uma molécula, maior serão estas forças intermoleculares (Andrews & Kokes, 1968). Há ainda a capilaridade, que é o efeito da tensão superficial em fazer um líquido descer ou subir em um tubo capilar. Quando as moléculas de um líquido se atraem menos fortemente do que sua atração com o sólido, como no caso da água com o vidro, diz-se que o líquido "molha" ou adere na superfície do sólido (Young & Freedman, 2003).

Neste trabalho foi realizada uma análise morfológica comparativa entre as patas da perereca e da lagartixa, com o intuito de estabelecer uma relação biológica para este fenômeno, uma vez que a bibliografia encontrada se apóia em caracteres e teorias físicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Três exemplares da lagartixa [*Hemidactylus mabouia* (Moreau de Jonnés, 1818) Reptilia, Gekkonidae] e três da perereca [*Dendropsophus minutus* (Peters, 1872) Anura, Hylidae] foram coletados em áreas urbanas do município de Cuiabá, no estado de Mato Grosso. Amostras das patas foram desidratadas em concentrações crescentes de álcool, secas ao ponto crítico e cobertas com ouro paládio

em aparelho do tipo *sputtering*. Após esse processo, foram analisadas e fotografadas através de microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 5800LV.

RESULTADOS

A pata da lagartixa é composta por escamas de revestimento, garras e estruturas retangulares, com a aparência de uma esponja (Figuras 1a e 1b). Em maior aumento, as estruturas esponjosas são compostas por filamentos ramificados em suas extremidades (Figuras 1c e 1d), também conhecidos por setas e suas ramificações por cerdas. Eles



Figura 1. *Hemidactylus mabouia*. **a)** visão ventral da pata: escamas de revestimento (ER), garras (G) e estrutura esponjosa (EE); **b)** visão lateral do dedo: escamas de revestimento (ER), garras (G) e estrutura esponjosa (EE); **c)** estrutura esponjosa (EE), setas (S), escamas de revestimento (ER) e escamas modificadas (EM); **d)** setas (S) e cerdas (C); **e)** setas (S), escamas modificadas (EM) e orifício central (OC).

permitem uma maior área de contato entre a pata e o substrato, e, portanto, maior aderência e equilíbrio. Além disso, é possível observar que as escamas que contornam as estruturas esponjosas são diferenciadas, apresentando um orifício central, o qual supomos que sejam aberturas de glândulas (Figura 1e).

A pata da perereca (Figura 2a) se apresenta bem diferente no aspecto morfológico, sendo composta por células colunares, pentagonais ou hexagonais, claramente espaçadas entre si e protegidas por uma estrutura cartilaginosa chamada de menisco (Figuras 2b e 2c). As expansões digitais das pererecas contêm glândulas que secretam uma substância pegajosa (Figura 2d).

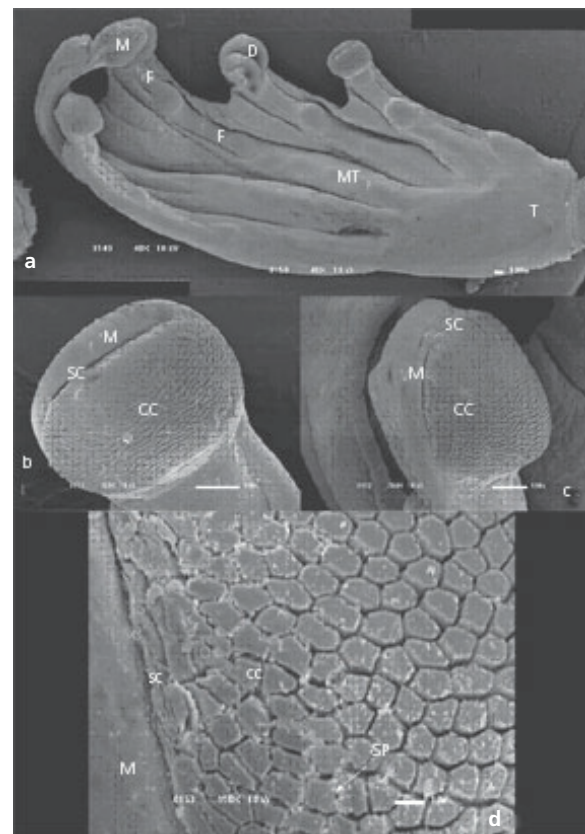


Figura 2. *Dendropsophus minutus*. **a)** visão ventral da pata: tarso (T), metatarso (MT), falanges (F), dígitos (D), menisco (M); **b), c), d)** dígito: menisco (M), sulco circular (SC), células colunares (CC); **d)** observação de substância pegajosa (SP).

DISCUSSÃO

Os lagartos da família Gekkonidae, que são representados neste estudo pelo espécime *Hemidactylus mabouia* (popularmente conhecidas como lagartixas e de hábito doméstico), são muito úteis porque se alimentam de insetos como traças, mosquitos e moscas. Diante desta necessidade alimentar, desenvolveram técnicas de aderência em substratos diversos.

A lagartixa possui garras afiladas com as quais se prende a substratos ásperos, como foi observado neste estudo. Sob um suporte liso e moderadamente inclinado, o animal pode manter sua posição por atrito. Já sobre superfícies ou saliências íngremes e lisas, a lagartixa revela um dos mecanismos adaptativos mais notáveis da natureza (Hildebrand, 1995).

Segundo Autumn & Peattie (2002) e semelhante ao observado no presente estudo, o segredo da capacidade adesiva dos lagartos da família Gekkonidae se explica pela estrutura das suas patas e pelas “almofadas adesivas” localizadas na parte ventral de cada dígito. As “almofadas” são cobertas com uma larga quantidade de fios rígidos e uniformes, parecidos com cabelos, orientados similarmente e formados de β -queratina, denominadas setas (Wainwright *et al.*, 1982; Russell, 1986; Autumn & Peattie, 2002), o que pôde ser comprovado pela microscopia eletrônica de varredura mostrada nos resultados desta análise.

Sob cada dígito existem de 16 a 21 “almofadas” alargadas e imbricadas. Sobre as superfícies expostas das “almofadas”, existem mais de 150 mil setas, que variam de 30 a 130 μ m de comprimento. Cada seta se ramifica em cerca de 2 mil cerdas e cada cerda possui uma placa terminal em forma de discos, com aproximadamente 0,2 μ m de diâmetro. No total, existem cerca de 100 milhões de placas terminais que tocam o substrato por meio de pontos das margens dos discos (Hildebrand, 1995). Não foi possível, neste estudo, realizar a contagem destas estruturas, no entanto foi verificada sua ocorrência em grande número.

O presente estudo reafirma a análise de Autumn & Peattie (2002) sobre a possibilidade de as setas altamente ramificadas nas patas dos lagartos da família Gekkonidae serem adaptações para maximizar a área de contato, já que a força de adesão depende muito mais da geometria do que da química da superfície.

Haase (1900) foi o primeiro a sugerir que os lagartos da família Gekkonidae aderem aos substratos através de forças intermoleculares, notando que, sob esta hipótese, a força atrativa aumentaria proporcionalmente à aproximação entre a pata e o substrato. Em 2002, Autumn & Peattie ainda destacam que essa é uma hipótese muito intrigante uma vez que as interações de van der Waals, apesar de mais fracas em relação às demais interações, são as mais universais, assim sendo, um adesivo que utiliza dessas interações seria capaz de grudar em qualquer superfície natural.

Conforme o observado para *H. mabouia* em patas que aderem com pelos, duas condições devem ser consideradas: (1) o tecido subjacente, a seta e a cerda devem ser ordenadas o suficiente para seguir o perfil da superfície em larga escala e em escala intermediária; (2) os elementos terminais devem ser muito pequenos e/ou muito flexíveis para compensar a pequena escala de aspereza (Federle, 2006). Entretanto os lagartos aderem com dificuldade a materiais que apresentam uma baixa tensão superficial (por exemplo, o Teflon) e, se as setas tornam-se sujas ou desordenadas, a habilidade de escalar fica prejudicada até que a pele seja mudada e substituída por novas setas (Hildebrand, 1995).

Anuros de diferentes famílias apresentam habitat arbóreo e são conhecidos como pererecas (Duellman & Trueb, 1985), inclusive o exemplar *Dendropsophus minutus* investigado neste estudo. Segundo Hanna & Barnes (1990), as pererecas possuem ventosas amplas em forma de disco no ápice de cada dedo para promover a adesão durante a escalada. Estas ventosas têm um aspecto morfológico muito interessante: uma camada epidermal especializada feita de muitas camadas de

células (Ernst, 1973; Hanna & Barnes, 1990). Nas presentes observações, esses discos foram encontrados em *D. minutus*, no entanto não se assemelham a ventosas, como apresentado pelos autores citados, já que a fixação não ocorre por sucção, mas por efeito de capilaridade ou adesão úmida: é evidente a camada epidermal especializada.

As células da epiderme da ventosa são colunares, normalmente com aspecto hexagonal, e claramente separadas umas das outras em seus ápices (Duellman & Trueb, 1994) - semelhante ao observado no presente estudo. Apesar de niveladas, as superfícies externas dessas células aparecem ásperas sob o microscópio eletrônico de varredura e, sob o microscópio eletrônico de transmissão, a superfície aparece completamente coberta por pequenas estruturas parecidas com pernas, os hemidesmosmos (Ernst, 1973; Hanna & Barnes, 1990). Semelhante ao registrado neste estudo, Duellman & Trueb (1994) observaram que as células epidermais de outra parte dos dígitos são escamosas, exceto na área de transição, onde o sulco circular está ausente e as células são cuboidais.

As expansões digitais das pererecas encerram glândulas que secretam uma substância pegajosa utilizada por esses animais para aderirem a rochas, folhas e caules (Hildebrand, 1995). Essa substância foi claramente observada em *Dendropsophus minutus*. As glândulas fornecem o fluído que forma uma parte essencial do mecanismo de adesão de ventosas e pele (Hanna & Barnes, 1990), já que a adesão através das ventosas é suplementada pela adesão da pele do abdômen e pela tensão superficial (Duellman & Trueb, 1994), geralmente a região ventral úmida é pressionada contra o substrato de forma a também aderir (Hildebrand, 1995). Duellman & Trueb (1994) provaram que as glândulas de muco fixadas na derme são grandes, tortuosas, e circundada por um fino mioepitélio de músculo liso, no entanto, não foi possível observar essas glândulas no atual estudo, por serem internas e a abertura dos ductos não serem evidentes à microscopia eletrônica de varredura.

As ventosas são comprimidas a partir da superfície do dígito por um elemento intercalar entre a penúltima e a última falange, que permite o contato entre toda a superfície da ventosa e o substrato (Duellman & Trueb, 1994). Isso parece ajudar o animal a sentir, com as extremidades dos dígitos, o melhor local para manter contato com o substrato (Hildebrand, 1995). A espessura da ventosa, combinada com a sua flexibilidade, permite que os pequenos movimentos dos dedos (como os que ocorrem quando há mudança de peso) certamente não precisem resultar num movimento do epitélio da ventosa em relação ao substrato (Hanna & Barnes, 1990).

A maioria dos trabalhos recentes dá suporte à hipótese de Nachtigall (1974), na qual a aderência das pererecas se dá através de umidade. A adesão úmida (modo pelo qual um pedaço úmido de tecido adere a um vidro) envolve um acúmulo de fluido que une as duas superfícies e estas são mantidas juntas por meio de tensão superficial e forças de viscosidade (capilaridade e adesão Stefan) (Barnes *et al.*, 2006). Este mecanismo contrasta com aquele observado nas lagartixas, no qual a adesão parece ser dominada pelas Forças de van der Waals (Autumn *et al.*, 2002), mas até aqui o papel da capilaridade não pode ser excluído (Barnes *et al.*, 2006).

Os dados morfológicos obtidos neste estudo contribuem para a compreensão dos fenômenos de adesão observados em lagartixas e pererecas, corroborando as hipóteses conhecidas até o momento.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT processo 0769/2006) e ao Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Estadual de Campinas.

R E F E R Ê N C I A S

- Andrews, D.H. & Kokes, R.J. (1968). *Química geral*. Rio de Janeiro: Edusp. p.273-4.
- Autumn, K. & Peattie, A.M. (2002). Mechanisms of adhesion in geckos. *Integrative and Comparative Biology*, 42(6):1081-90.

- Autumn, K.; Sitti, M.; Liang, Y.C.A.; Peattie, A.M.; Hansen, W.R.; Sponberg, S.; Kenny, T.W.; Fearing, R.; Israelachvili, J.N. & Full R.J. (2002). Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 99(19):12252-6
- Barnes, W.J.P.; Oines, C. & Smith, J.M. (2006). Whole animal measurements of shear and adhesive forces in adult tree frogs: insights into underlying mechanisms of adhesion obtained from studying the effects of size and scale. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 192(11): 1179-91.
- Duellman, W.E. & Trueb, L. (1985). *Biology of amphibians*. New York: McGraw-Hill.
- Duellman, W.E. & Trueb, L. (1994). *Biology of amphibians*. Baltimore: Johns Hopkins University Press. p.372.
- Ernst, V. (1973). The digital pads of the tree frog *Hyla cinerea*. I. The epidermis. *Tissue & Cell*, 5(1):83-96.
- Federle, W. (2006). Why are so many adhesive pads hairy? *Journal of Experimental Biology*, 209(14):2611-21.
- Gao, H.; Wang, X.; Yao, H.; Gorb, Y. & Arzt, E. (2004). Mechanics of hierarchical adhesion structures of geckos. *Mechanics of Materials*, 37(2-3):275-85.
- Gorb, S.; Jiao, Y. & Sherge, M. (2000). Ultrastructural architecture and mechanical properties of attachment pads in *Tettigonia viridissima* (Orthoptera, Tettigoniidae). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 186(9): 821-31.
- Hanna, G. & Barnes, W.J.P. (1990). Adhesion and detachment of the toe pads of tree frogs. University of Glasgow, Scotland. *Journal of Experimental Biology*, 155(103):103-25.
- Hildebrand, M. (1995). *Análise da estrutura dos vertebrados*. São Paulo: Atheneu. p.541-2.
- Nachtigall, W. (1974). *Biological mechanisms of attachment*. New York: Springer-Verlag.
- Niederegger, S.; Gorb, S. & Jiao, Y. (2002). Contact behavior of tenent setae in attachment pads of the blowfly *Calliphora vicina* (Diptera, Calliphoridae). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 187(12):961-70.
- Russell, A.P. (1986). The morphological basis of weight-bearing in the scansors of the tokay gecko (Reptilia: Sauria). *Canadian Journal of Zoology*, 64(4):948-55.
- Sherge, M. & Gorb, S. (2001). *Biological micro and nano-tribology*. New York: Springer.
- Wainwright, S.A.; Biggs, W.D.; Currey, J.D. & Gosline, J.M. (1982). *Mechanical design in organisms*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Young, H.D. & Freedman, R.A. (2003). *Física II: termodinâmica e ondas*. São Paulo: Pearson Addison Wesley. p.79-80.

Recebido em: 8/4/2008

Versão final reapresentada em: 3/10/2008

Aprovado em: 6/11/2008