

Marina Costa Rodrigues

Escorpião? Que tal EscorpiNÃO:
Testando o uso de propriedades luminosas como
controle físico para *Tityus serrulatus* (Arachnida:
Buthidae)



São Paulo

2024

Marina Costa Rodrigues

Escorpião? Que tal EscorpiNÃO:

Testando o uso de propriedades luminosas como controle físico para *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)

ScorpiON? What about ScorpiOFF:

Testing the use of luminous properties as a physical control to *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)

	<p>Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Zoologia.</p> <p>Orientador(a): Rodrigo Hirata Willemart.</p>
--	--

São Paulo

2024

Ficha Catalográfica

<p>Costa Rodrigues, Marina Escorpião? Que tal EscorpiNÃO: Testando o uso de propriedades luminosas como controle físico para <i>Tityus serrulatus</i> (Arachnida: Buthidae)</p> <p>55 páginas.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Zoologia.</p> <p>1. <i>Tityus serrulatus</i> 2. Luz 3. Controle de escorpiões I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Zoologia.</p>

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a). Rodrigo Hirata Willemart

Orientador(a)

Dedicatória (opcional)

Aos meus pais, que caminham sempre comigo.

Epígrafe

Memórias engarrafadas
Nas vielas da mente de um jovem eu
Palavras nem sempre exatas
Em letras garrafais pra quem nunca me leu
Tente me entender
Antes que eu mesmo desista
Mal não vai fazer
Me conta o seu ponto de vista
Lagum

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais pela luta que se iniciou muito antes para que eu pudesse nascer. Agradeço por toda a luta diária que sei que vocês batalharam – e ainda batalham – para criar dois filhos, e um lar cheio de amor. Agradeço ao meu pai, o técnico responsável pelas arenas utilizadas em todo o projeto. Obrigada por ocupar dois, três, mil papéis com excelência, e acima de tudo com amor. Você foi o primeiro cientista que eu conheci, e é de longe o que eu mais admiro.

Agradeço a minha mãe por todo o suporte e o cuidado, todas as noites de estudo e os bolos que aquecem o coração. Obrigada por estar sempre na primeira fileira, e nos bastidores ao mesmo tempo.

Agradeço a Ana, minha noiva. Que foi incansavelmente paciente nesses anos de estudo, trabalho e crescimento. Tem sido um privilégio construir uma vida e uma família ao seu lado, obrigada. Não vejo a hora de casar com você!

Agradeço ao meu irmão, Sérgio, que se desdobrou para me ajudar com experimentos, revisões ortográficas, e me fez companhia em diversos momentos. Tenho muito orgulho de você.

Agradeço as amigas Bia, Carol, Nanda e Sami, pela parceria de anos e por serem família. Vocês são luz, tranquilidade e calma. Tenho sorte de ter vocês na minha vida. Agradeço aos amigos Jéssica e Saulo, companheiros de luta e inspirações. Obrigada pela presença, pela cumplicidade e pelo amor.

Agradeço a minha psicóloga Mariana Terribas, pelas segundas feiras a tarde, e todos os outros dias e momentos necessários nesse processo e em todos os outros.

Agradeço o Prof. Dr. Rodrigo pela paciência, pela disponibilidade infinita e por todo o conhecimento compartilhado. Agradeço a todo o LESCA (Laboratório de Ecologia Sensorial e Comportamento Animal), que me acolheu ainda na graduação. Ao agora Dr. Guilherme Pagoti, meu primeiro orientador, por todo o cuidado e por ter me guiado com tanto carinho. Ao Gabi, sempre disponível e pronto para ajudar com as mais diversas tarefas, sempre com bom humor. A Nath, obrigada pelas discussões e valiosos feedbacks, te admiro muito. Ao Perez, obrigada por ser o braço direito nos experimentos, análises, manutenções e docinhos com café (ou não). Agradeço ao Renato, técnico que foi um parceiro nesses anos de cuidados com escorpiões e grilos sem fim. Obrigada pela parceria.

Agradeço a Dra. Lilian Tan, do Centro de Óptica (IFSC-USP) pela disposição e boa vontade de nos auxiliar no processo de medições físicas e análises de dados. Além de dados valiosos, tive uma ótima experiência científica com você.

Agradeço ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Zoologia, Dr. José Eduardo Amoroso Rodriguez Marian e a toda Equipe do programa de pós-graduação em Zoologia.

A todos os professores da graduação, da pós-graduação e da vida, pela inspiração e por todo o resto.

Aos alunos queridos, que iluminaram muitos dias e trouxeram muitas risadas. Só sou professora porque tenho vocês.

Agradeço a CAPES pelo fomento. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Índice

Introdução Geral	08
Capítulo 1. Light, camera, action: <i>Tityus serrulatus</i> behavioral responses in a luminous arena and its potential as a physical control (Arachnida: Buthidae)	20
Capítulo 2. Eyes out on stalk: The evolution of eyes	43
Discussão Geral e Conclusões	50
Resumo (GERAL)	51
Abstract	52
Referências Bibliográficas	53

Introdução

I. A luz

A luz é uma forma de energia radiante que figura no meio do debate ambíguo sobre sua natureza que chamamos “dualidade onda-partícula”. Como descrito no *The optics of life: A biologist's guide to light in nature*, em linguagem de partícula, um feixe de luz é um fluxo de fótons - partículas pequenas, sem massa e com energia - que viajam em altas velocidades; e em linguagem ondulatória, é uma série de ondas de intensidade variável de campos elétricos e magnéticos que possuem amplitude, frequência e comprimento de onda, e que assim como os fótons, viajam em alta velocidade (Johnsen, 2012).

Tanto ondas de luz quanto fótons possuem três propriedades: frequência, comprimento de onda e polarização, das quais duas nos interessam muito: a frequência e o comprimento de onda. A frequência em ondas representa o número de ondas que passaram um ponto fixo em um determinado período, e as diferenças em frequência no espectro eletromagnético representam também diferenças no comprimento de onda. Já em termos de fóton, a quantidade de energia que um fóton pode transmitir é proporcional à sua frequência. O comprimento de onda, por sua vez, é a medida da distância entre cristas de onda sucessivas, sendo igual à velocidade da luz dividida pela frequência. Em termos de fóton, isso quer dizer que a energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda (Johnsen, 2012).

Apesar da possibilidade de dupla interpretação de fenômenos luminosos, ao tratarmos de processos biológicos é quase sempre mais apropriado utilizar fótons. Em processos biológicos como a fotossíntese ou a visão, ocorre a absorção, ou não, de fótons. No caso da visão, como exploraremos, os fotorreceptores absorvem fótons (Feynman, 1985; Johnsen, 2012).

Costumamos pensar na luz como a luz visível que enxergamos, mas a radiação que descrevemos pertence a um espectro mais amplo do que ao visível para humanos, o espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético contém comprimentos de onda de pelo menos catorze ordens de magnitude, variando de raios gama - com curto comprimento de onda e alta frequência - a ondas de rádio de alto comprimento de onda e baixa frequência (figura 1) (Freeman e Charman, 2003).

Em meio a ondas de diversos comprimentos e frequências, a porção visível para olhos humanos é restrita a uma pequena parte do espectro que se estende de comprimentos de onda de 700 nm no vermelho a 400 nm no violeta (Figura 1) (Johnsen, 2012).

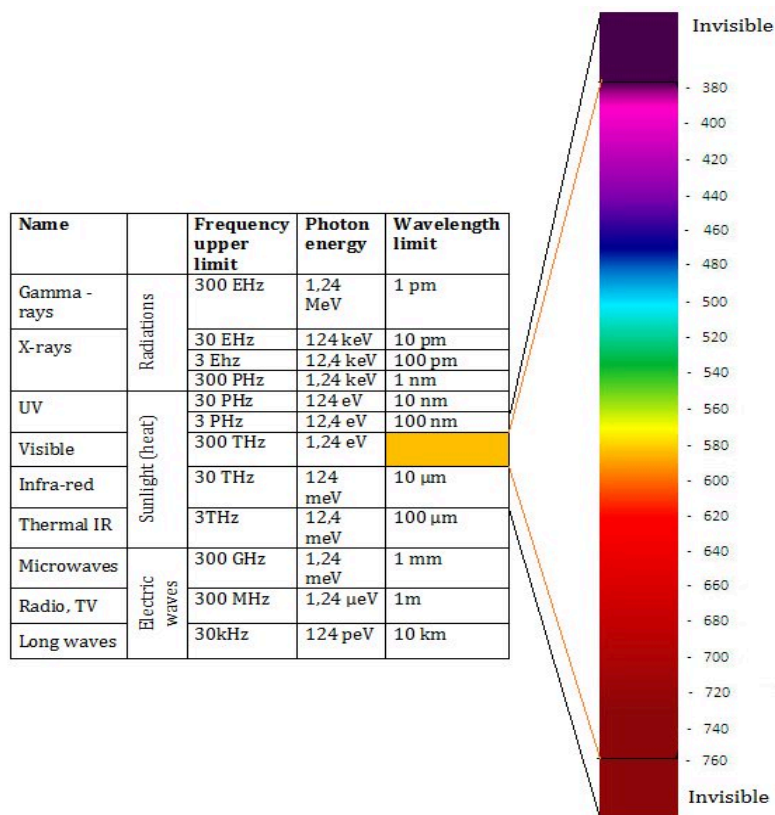


Figura 1: Espectro eletromagnético e faixa espectral de luz visível. Fonte: Danila et al (2016)

II. Luz visível

A luz é um dos estímulos mais utilizados para obter informações, sendo usado por algumas bactérias, a maioria das plantas e a maioria dos artrópodes e vertebrados. A maioria dos animais obtém informações por meio de luz solar, e alguns podem produzir sua própria luz (bioluminescência). Para identificá-la são necessários órgãos receptores de luz, que podem apresentar diferentes tamanhos e configurações. Em organismos unicelulares, como bactérias fotossintéticas, a luz é usada para orientar o movimento em direção a intensidades de luz ideais, enquanto a maioria dos eucariotos é grande o suficiente para ter um fotorreceptor, que pode ser utilizado para orientar sua direção de movimento (Dusenbery, 1992).

Apesar de seres humanos distinguirem apenas a luz visível, é importante ressaltar que para muitos outros animais – como aves, peixes e muitos artrópodes – o espectro eletromagnético se estende para a faixa ultravioleta (entre 400 e 320 nm). A maior parte dos animais apresenta fotopigmentos chamados rodopsinas que desempenham esse papel de

deteção da luz. Ao longo da evolução, os pigmentos fotorreceptores foram incorporados a estruturas sensoriais especializadas de *design* variado (Land et al, 2012).

A evolução dos olhos ocorreu a partir de uma série de quatro estágios, cada um deles caracterizado por tarefas relacionadas à fotorrecepção, que em última instância levam à visão de alta qualidade (Nilsson, 2009). Com o surgimento da capacidade de detectar luz, os organismos vivos tornaram-se capazes de medir a duração de um dia, detectar em que momento do dia estavam, profundidades, passagem de sombras, e outras habilidades adaptativas (Nilsson, 2009).

Essas tarefas demandam diferentes componentes de sistemas visuais – e neuronais – e naturalmente, tarefas mais simples e que demandavam menos componentes evoluíram primeiro. Com o acúmulo de tarefas sensoriais, os órgãos sensoriais passam por processos de mudança para deixar de entregar apenas informações específicas para agora, informações mais gerais que cobrem um aspecto mais amplo de diferentes tarefas. Esse processo aumenta as demandas do sistema nervoso, visto que o aumento no nível de informações recebidas aumenta a necessidade de separação e filtragem de informações para cada tarefa individual (Nilsson, 2009).

Normalmente a luz viaja em linhas retas, com pequenas perdas no ar ou água, fornecendo assim, boa parte da informação necessária para identificar onde está um objeto, e o que esse objeto é. As interações entre a luz e a matéria podem acontecer de diversas formas, através de fenômenos como a reflexão, absorção, transmissão ou dispersão (*scattering*), todos dependentes do comprimento de onda (Land, 2012).

Para além do comprimento de onda, os comportamentos fototáticos – que ocorrem em resposta à luz – são influenciados pela intensidade luminosa, possíveis combinações luminosas, tempo de exposição, direção da fonte luminosa, contraste de fontes luminosas e demais intensidades luminosas no local (Shimoda e Honda, 2013). Diante das diversas espécies que apresentam olhos, e dos diversos indícios de olhos no registro fóssil, é seguro indicar que há grande importância da recepção de informação externa, nesse caso através da visão (Nilsson, 2009; Land e Nilsson, 2012)

III. Visão

A capacidade de sentir a presença da luz surgiu ainda nas primeiras formas de vida da Terra, mas a evolução de um sistema visual que antes era formado por um fotorreceptor com capacidade de monitoramento não direcional para um sistema com múltiplos fotorreceptores e visão espacial, como observada em artrópodes, cefalópodes e vertebrados, levou grande parte da história da vida para acontecer (Nilsson, 2009; Land e Nilsson, 2012).

Os primeiros olhos identificáveis aparecem no registro fóssil do período Cambriano, aproximadamente 530 milhões de anos atrás, e o aparecimento dos primeiros olhos verdadeiros agiu como catalisador para uma rápida evolução e diversificação dos animais. Esse período, amplamente conhecido pela explosão cambriana, no qual uma rica fauna de animais macroscópicos evoluiu, apresenta animais com olhos, e até alguns com olhos grandes. A fauna Cambriana era marcada por artrópodes – como trilobitas – com olhos compostos que remetem aos olhos de artrópodes modernos, e em seus fósseis é possível também identificar facetas de olhos compostos (Land, 2012).

O desenvolvimento de olhos também coincide com o aumento no tamanho corpóreo, velocidade e “armadura”, visto que a predação guiada pela visão se tornou um estilo de vida comum a vários animais (Cronin, 2014). Os primeiros animais podiam executar pequenas tarefas simples baseadas na sensibilidade à luz, e com o tempo as tarefas tornaram-se mais complexas. Esse desenvolvimento vai de sensibilidade à luz não direcionada a fotorreceptores direcionais combinados com movimentos corporais, até visão espacial grosseira, finalmente alcançando a visão espacial “fina” (Land, 2012; Cronin et al 2014).

Diferente de outros órgãos sensoriais, olhos são capazes de fornecer informações sobre o ambiente em curta e longa distância de forma detalhada e instantânea. No reino animal, há registro de mais de trinta diferentes filos que apresentam olhos sofisticados, ou mesmo estruturas visuais simples conhecidas como *ocelli*. Grupos como vertebrados, artrópodes e moluscos, apresentam olhos sofisticados e diversificaram-se, apresentando pares de olhos em diferentes locais, como no caso de artrópodes que apresentam olhos medianos e laterais (Land, 2012).

Os comportamentos visualmente guiados dividem-se em comportamentos controlados por monitoramento não direcional de luz ambiente (I), comportamentos baseados em sensibilidade à luz direcionada (II), tarefas visuais baseadas em baixa resolução espacial (III) e tarefas visuais baseadas em alta resolução espacial (IV). Cada um desses diferentes estágios corresponde a um diferente sistema visual, que se inicia no estágio I com uma ou poucas células fotorreceptoras, capazes de monitorar o ciclo da luz, por exemplo (Land, 2012).

Nesse primeiro estágio os comportamentos são controlados por luz não direcionada que está presente no ambiente. Aqui, ainda não é considerada a “visão verdadeira” visto que é necessário apenas células fotorreceptoras e alguma forma de sinalização. Essa classe está presente nos grupos Porifera, o grupo das esponjas, Placozoa, Urbilateria e Ctenophora. No estágio II, os organismos possuem a habilidade de se mover direcionalmente em resposta a fontes de luz. Esse comportamento de mover-se em direção ou para longe de uma fonte de luz

é chamado de fototaxia. É possível observar *ocelli* em nemátodes, vários invertebrados e platelmintos (planárias) (Land, 2012). Já no estágio III, onde inicia-se a chamada visão verdadeira, há a visão espacial na qual diferentes fotorreceptores irão monitorar diferentes direções de forma simultânea. Em condições de baixa resolução, tarefas como a movimentação do animal são realizadas sem grande dificuldade. Platelminhos, Moluscos e larvas de artrópodes apresentam olhos que se encontram nesse estágio (Land, 2012). O último estágio apresenta tarefas que necessitam de uma resolução espacial alta – para que seja possível detectar presas e predadores, por exemplo. Aqui, ocorre a evolução de estruturas como lentes. Esses são olhos encontrados em vertebrados, cefalópodes, e em olhos compostos de insetos e crustáceos (Land, 2012).

Os olhos compostos têm elementos chamados omatídeos, que contêm um pequeno número de receptores e elementos ópticos que projetam luz de uma direção para as células receptoras. Para aumentar a resolução do olho, seu tamanho precisa aumentar. A resolução dos olhos compostos aumenta com a raiz quadrada do tamanho do olho, por isso alguns insetos têm olhos maiores do que suas cabeças (Dusenbery, 1992). Em olhos de lente única, a resolução aumenta proporcionalmente ao seu tamanho, que acontece em grandes animais, como os humanos (Dusenbery, 1992).

Para além do tipo de olhos, tarefas e números de receptores, os animais também podem variar o número de olhos. Insetos voadores geralmente têm um par de grandes olhos compostos e alguns pares de ocelos simples, que fornecem informações sobre a luz intensidade maior e de forma mais sensível, enquanto aracnídeos geralmente têm muitos olhos, como observado em aranhas e escorpiões. Aranhas em sua maioria apresentam oito olhos, que se separam em duas categorias: olhos principais e olhos secundários. Os olhos principais localizam-se no prossoma antero-mediano, enquanto olhos secundários estão dispostos também no prossoma, mas nas regiões antero-lateral, mediano posterior e lateral posterior, com variações em diferentes famílias (Land, 1985; Morehouse, 2020).

IV. Visão em Escorpiões

Escorpiões apresentam um par de olhos medianos e de zero a seis pares de olhos laterais, localizados na carapaça. Os olhos medianos, localizados geralmente em ambos os lados do plano médio da carapaça, apresentam acuidade visual – a habilidade de distinguir formas e detalhes à distância – e boa discriminação espacial (Ruppert et al, 2004). Já os olhos laterais, localizados anterolateralmente nas margens da carapaça, são altamente sensíveis a diferenças de luminosidade, mesmo em baixas intensidades (Schliwa e Fleissner, 1980;

Ruppert et al, 2004). Os dois tipos de olhos apresentam localização, função e, conseqüentemente, estruturas diferentes. Olhos laterais não apresentam corpo vítreo e lente de foco como os olhos medianos, mas possuem em comum lente cuticular, membrana pré-retinal, hipoderme, retina, membrana pós-retinal, e uma camada de células pigmentadas que rodeiam a retina (Schliwa e Fleissner, 1979; Schliwa e Fleissner, 1980; Loria e Prendini, 2014).

A disposição e a quantidade de olhos variam na ordem. Em espécies troglomórficas, adaptadas a condições de ausência de luminosidade, olhos medianos estão ausentes, enquanto as outras apresentam um par. Já os olhos laterais, estão presentes de 0 a 5 pares, com variação entre espécies (Loria e Prendini, 2014).

Assim como as aranhas, estima-se que escorpiões tenham passado por um processo no qual os olhos compostos ancestrais tenham se tornado olhos simples (Land e Nilsson, 2012). Tanto olhos medianos quanto laterais são formados por estruturas simples, os *ocelli* – estruturas simples sensíveis a condições claro-escuro com baixa resolução espacial – acompanhadas de lentes biconvexas. Os olhos medianos são formados por um único par de *ocelli*, enquanto os olhos laterais são formados por vários pares, mas devido às diferenças no aparelho dióptrico, possuem acuidade visual reduzida (Polis, 1990; Lehmann e Melzer, 2013; Loria e Prendini, 2014).

Com função amplamente associada à sensibilidade a diferentes intensidades luminosas – o que é associado a navegação e ao alinhamento do ritmo circadiano – os estudos fisiológicos realizados demonstraram picos de sensibilidade ocular em olhos laterais na faixa do ultravioleta, por volta de 371 nm e um pico secundário na faixa azul-verde, entre 490 e 520 nm (Root, 1990). Esse segundo pico, coincidente com o observado por Zwicky (1970), é compatível com o pico de sensibilidade dos olhos medianos (Zwicky, 1970). Esse pico coincide também com o pico de emissão da fluorescência dos escorpiões, ao serem observados sob luz ultravioleta. O pico de 472 nm registrado é observado em espécies de variadas colorações com variação atribuída a essas diferenças, com escorpiões mais claros apresentando emissão em espectro mais amplo (Polis, 1990).

Há ainda outras estruturas envolvidas na fotorrecepção em escorpiões. Foi registrada resposta à luz em segmentos do metassoma do escorpião *Urodacus*, em faixa espectral de 403 a 502 nm, correspondendo à faixa ultravioleta e violeta do espectro (Zwicky, 1968). Em outro estudo com o mesmo escorpião, foi registrada sensibilidade no metassoma à luz do ultravioleta ao verde, com pico de sensibilidade em 480 nm (Zwicky, 1970). Algumas espécies apresentam também *eyespots*, estrutura similar anatomicamente a olhos laterais, mas com função atribuída ao processamento de informação não-visual, por não possuir

estruturas ópticas como lente cuticular, como visto ventroposteriormente aos olhos laterais em pré-ninfas e ninfas no escorpião *Parabuthus transvaalicus* (Spreitzer e Melzer, 2003).

Fleissner (1977a) cita os três tipos de fotorreceptores em escorpiões – olhos laterais, olhos medianos e fotorreceptores extraoculares – e expõe os fotorreceptores oculares a condições claro-escuro, evidenciando a sensibilidade destes a estímulos luminosos mesmo em baixa intensidade, como capazes de orientar-se mesmo em noites com baixa iluminação natural, como visto no escorpião noturno *Androctonus australis* (Fleissner, 1977b).

V. Escorpionismo

Descrito no Guia de Vigilância de Saúde (Brasil, 2022) como o “Acidente causado pela inoculação de toxinas, por intermédio do aparelho inoculador (ferrão) de escorpiões, podendo determinar alterações locais e sistêmicas” o escorpionismo é um problema de saúde pública com alta incidência de casos no Brasil (Brasil, 2009; Brasil, 2022). Com preocupação majoritariamente pediátrica, devido ao índice de mortalidade em crianças, vários países enfrentam esse problema (Chippaux e Goyffon, 2008).

Com registros de acidentes na Europa, Norte da África, África Subsaariana, Oriente Médio e proximidades, Ásia, Austrália e o Pacífico, América do Norte e América Latina, a Organização Mundial de Saúde aponta o escorpionismo como um dos problemas de saúde globais mais negligenciados, visto que os afetados geralmente são de grupos sem voz e poder político (WHO, 2007).

No Brasil as principais espécies de importância médica são pertencentes ao gênero *Tityus*, e são elas *Tityus stigmurus*, *Tityus obscurus*, *Tityus bahiensis* e *Tityus serrulatus*, o último sendo o maior causador de acidentes no país (Brasil, 2022). Conhecido como escorpião amarelo devido à sua coloração, *Tityus serrulatus* tem ampla distribuição no país, por tratar-se de espécie bem adaptada a modificações em ambientes urbanos (Pucca, 2015a).

Além da adaptabilidade a ambientes modificados pelo homem, outro fator que contribui para o aumento populacional rápido e para a dificuldade no controle é a reprodução por partenogênese realizada por diversas populações de *Tityus serrulatus* com exceção de algumas populações em Minas Gerais, onde foram encontrados machos (Souza et al, 2009; Braga-Pereira e Santos, 2021). A partenogênese é um tipo de reprodução no qual embriões se desenvolvem sem que haja fertilização de gametas femininos (Braga-Pereira et al, 2019). Esse mecanismo de reprodução rápida, que pode ocorrer ao longo do ano, está aliado também à capacidade de gerar vários novos indivíduos por ninhada mais de uma vez por ano, mesmo em condições de privação de alimento e água (Pimenta et al, 2019).

O número de acidentes é contabilizado pelo Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN), subsistema do Sistema Único de Saúde (SUS) que obedece à Portaria de Consolidação nº4, de 28 de setembro de 2017 que lista as doenças, agravos e eventos de saúde pública de notificação compulsória no item número dois, o acidente por animal peçonhento (Brasil, 2017).

São notificados nesse item os acidentes envolvendo serpentes, aranhas, escorpiões, lagartas, abelhas e outros (DATASUS, 2023). Quando observado o tipo de acidente, o número de acidentes envolvendo escorpiões cresceu entre 2007 e 2022. Nota-se ainda, que grande parte das notificações são resultado de acidentes escorpiônicos, como mostra a Figura 1.

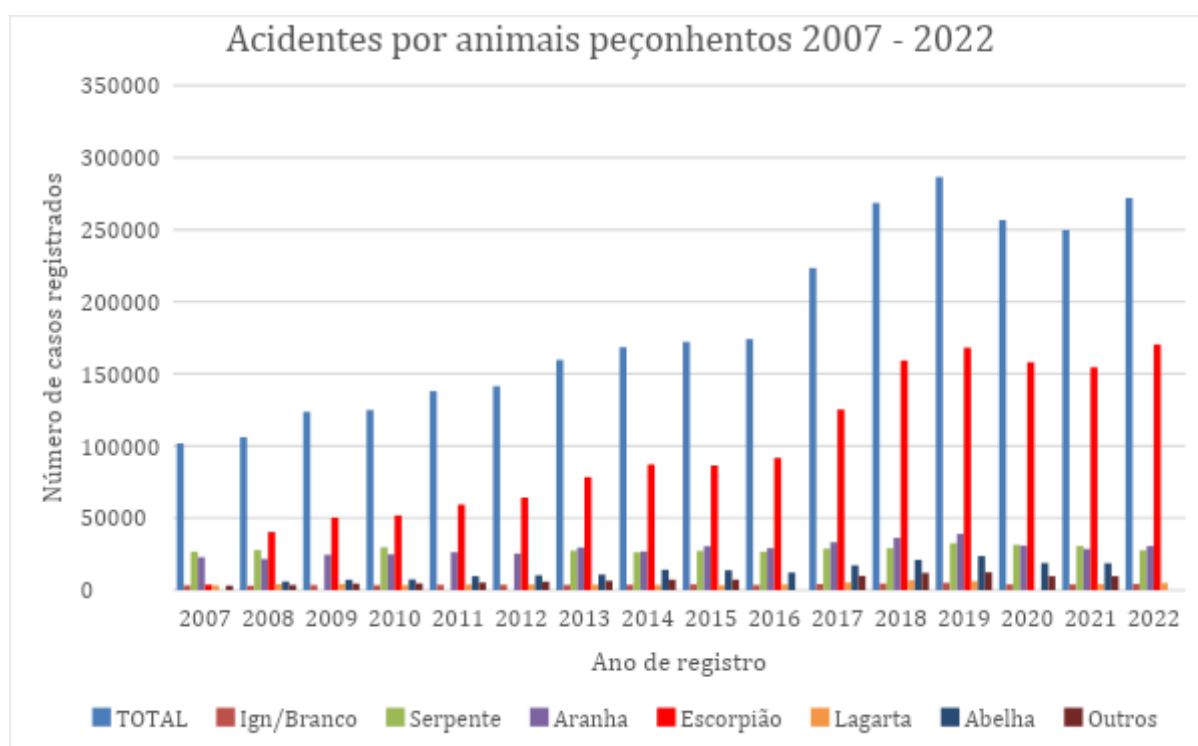


Figura 2: Número de acidentes causados por animais peçonhentos no Brasil registrados entre 2007 e 2022

Legenda: Ign/Branco – Ignorado/Em branco.

Fonte: Figura produzida pelos autores através de dados obtidos no Ministério da Saúde/SVS - Sistema de Informação de Agravos de Notificação - Sinan Net

As notificações de acidentes escorpiônicos são divididas ainda pela gravidade do acidente, que pode ser leve, moderada ou severa (Brasil, 2022). O veneno é composto por diversas substâncias, como muco, sais inorgânicos, lipídeos, aminas, nucleotídeos, enzimas, mas principalmente neurotoxinas, consideradas as principais responsáveis pela síndrome de envenenamento, que pode apresentar diversas manifestações clínicas (Pucca et al, 2015b).

Apesar das distinções de gravidade dos casos, em todos os casos a picada causa dor local, que pode ser acompanhada de náusea, suor, taquicardia, febre, e agitação em casos de envenenamento leve (Pucca et al, 2015b). Em envenenamentos moderados os sintomas são

suor excessivo, dor epigástrica, obstrução pulmonar, cólica, vômito, hipotensão, diarreia e respiração acelerada (Cupo, 2015; Pucca et al, 2015b). O envenenamento severo é mais frequente em crianças e idosos, e apresenta complicações como falência cardiorrespiratória e choque, que podem evoluir para óbito (Cupo, 2015; Pucca et al, 2015b).

A evolução dos casos nos registros do SINAN é categorizada em Ign/Branco, Cura, Óbito pelo agravo notificado, e Óbito por outra causa. Para o período de 2007-2022, o maior número de óbitos registrados pelo agravo notificado deu-se entre 20-39 anos, seguido de 1-4 anos (Tabela 2).

Tabela 2: Notificações de acidentes envolvendo escorpiões no Brasil por faixa etária segundo evolução do caso.

Evolução caso	Em branco/IGN	<1 Ano	1-4	5-9	10-14	15-19	
TOTAL	295	21.266	73.743	93.801	103.297	123.594	
Ign/Branco	31	2.227	5.680	6.919	7.135	8.947	
Cura	264	19.005	67.741	86.649	96.052	114.537	
Óbito pelo agravo notificado	-	32	303	219	101	102	
Óbito por outra causa	-	2	19	14	9	8	
Evolução caso	20-39	40-59	60-64	65-69	70-79	80 e +	Total
TOTAL	500.331	425.236	79.607	61.366	73.166	26.768	1.582.470
Ign/Branco	36.996	29.923	5.273	4.067	4.799	1.711	113.708
Cura	463.002	395.046	74.270	57.271	68.309	25.023	1.467.169
Óbito pelo agravo notificado	306	246	59	26	49	28	1.471
Óbito por outra causa	27	21	5	2	9	6	122

Fonte: Ministério da Saúde/SVS - Sistema de Informação de Agravos de Notificação - Sinan Net

Em casos leves, o tratamento é composto de analgésicos para alívio da dor (Brasil, 2022). Já em casos moderados ou severos, a medida pós picada mais efetiva baseia-se na administração rápida dos soros antiescorpiônicos (WHO, 2007; Brasil, 2022). O soro é uma medida pós picada, quando o acidente já aconteceu. Junto a essa medida, é importante que haja medidas de controle desses animais, que impeçam ou reduzam a chance de acidente resultante de encontro de humanos e escorpiões (WHO, 2007).

VI. Controle de escorpiões

Junto a aranhas e ácaros, escorpiões são considerados pragas de grande preocupação econômica, e de saúde pública (Ramires et al, 2011). Por tratar-se de grupo sinantrópico -

ecologicamente associado a seres humanos - que se adaptou bem em ambientes modificados pelo homem, e por representar risco à saúde humana, são necessárias medidas de controle, captura e manejo ambiental (Brasil, 2009). De acordo com a Portaria nº 1.172, de 15 de junho de 2004 artigo terceiro, inciso X, compete aos municípios o “registro, captura, apreensão e eliminação de animais que representem risco à saúde do homem;” (Brasil, 2004).

Essas medidas de controle para invertebrados no geral têm sido feitas historicamente através do controle químico. Até os anos 1970, pesticidas organoclorados eram utilizados, mas devido ao potencial de bioacumulação tiveram seu uso proibido em diversos países (Turusov et al, 2002; Ramires et al, 2011). O pesticida organoclorado mais famoso, o Dicloro-Difentil-Tricloroetano (DDT) foi utilizado extensivamente, até que se constatou os efeitos negativos a longo prazo, que envolvem além de sua presença e persistência no meio ambiente, o acúmulo da substância no tecido adiposo, efeito estrogênico e potencialmente carcinogênico para humanos e outros seres vivos (Turusov et al, 2002).

Após essa proibição, ampliou-se o uso de pesticidas à base de carbamatos (Ramires et al, 2002). Pesticidas carbamatos e organofosforados foram também utilizados, a partir dos anos 1980, como controles de pragas, e ainda apresentavam problemas similares ao DDT: perda da vida selvagem - como de aves e mamíferos - causada pela exposição aos compostos após escoamento e contaminação de solos e águas locais (Hill, 2002).

Nos anos 1980, passaram a ser utilizados também pesticidas piretróides. Atualmente pesticidas piretróides são os mais recomendados e utilizados para controle de pragas, seguidos por carbamatos e organofosforados (Ramires et al, 2011). No Brasil foram testados experimentalmente não só pesticidas, mas substâncias como clorofórmio, ácido hidrocianídrico, gasolina, naftalina, entre outras, que foram letais em condições laboratoriais, mas inefetivas em ambientes maiores (Dias et al, 1924). Assim como em outros países, após a proibição do uso de organoclorados, foram utilizados majoritariamente pesticidas piretróides e organofosforados (Ramires et al, 2011).

Apesar de amplamente utilizados, a eficiência do uso dos pesticidas como forma de controle é questionada. No manual de controle de escorpiões elaborado pelo ministério da saúde em 2009, há um tópico dedicado a responder à pergunta: “Controle químico funciona?” seguido da resposta

“Não, o hábito dos escorpiões de se abrigarem em frestas de paredes, embaixo de caixas, papelões, pilhas de tijolos, telhas, madeiras, em fendas e rachaduras do solo, juntamente com sua capacidade de permanecer meses sem se movimentar, torna o tratamento químico ineficaz.” (Brasil, 2009)

O não aconselhamento do uso de químicos como controle, é motivado pelo risco de desalojamento dos animais em decorrência do efeito irritante dos componentes (Brasil, 2009). O ministério da saúde apresentou medidas de controle baseadas na retirada dos animais em processo de busca ativa, e modificação dos ambientes nos quais os animais eram encontrados (Brasil, 2009). As intervenções têm início após notificação de acidentes ou demanda da população pelo setor de vigilância em saúde, através de órgãos como o serviço de controle de zoonoses (Brasil, 2009)

Após notificação, geralmente inicia-se um processo de busca ativa, no qual agentes de saúde devidamente equipados realizam a varredura e coleta de animais no local, em áreas externas e internas (Brasil, 2009). Esse processo, quando realizado durante o dia, busca animais nos microhabitats nos quais geralmente ocorrem, como frestas e locais com entulho (Brasil, 2009; Brazil e Porto, 2010). Quando realizado durante a noite, o processo de busca utiliza luz ultravioleta e beneficia-se da fluorescência do animal e de sua atividade noturna para encontrá-los (Brasil, 2009; Brazil e Porto, 2010).

Com a utilização desses métodos de busca ativa aliados a métodos de amostragem passiva, como o uso de armadilhas de solo chamadas *pitfall traps*, busca-se a identificação da escorpiofauna local, como feito por Dias et al (2006) e Pinto-da-Rocha et al (2007), e a redução das populações desses animais causadores de acidentes no país, especialmente as espécies pertencentes ao gênero *Tityus* (Brazil e Porto, 2010; Brasil, 2019).

Além da retirada dos animais do ambiente, é necessário que haja a modificação de ambientes antes propícios para o surgimento e proliferação dos animais (Brasil, 2009). Ambientes domiciliares devem eliminar e evitar o acúmulo de entulho, lixo e fontes de alimento para escorpiões como baratas, aranhas e grilos (Brasil, 2009). Outros locais de ocorrência e proliferação de escorpiões como cemitérios também devem inspecionar e garantir que locais propícios para a proliferação, como túmulos mal vedados ou frestas sejam eliminados (Brasil, 2009).

Além dessas medidas de controle químico, há os controles biológico e físico. O controle biológico, no qual o objetivo é reduzir a população do organismo considerado “praga” através do uso da predação, por exemplo, utiliza em sua abordagem clássica a inserção de uma espécie predadora de forma proposital (Roderick e Navajas, 2003). Os escorpiões são predados tanto por invertebrados quanto por vertebrados (Polis, 1990). No primeiro caso, os predadores são outros aracnídeos, como aranhas e solífugos, quilópodes e insetos como formigas, enquanto no segundo caso, os predadores podem ser aves (e.g.

Murayama et al, 2022), lagartos, mamíferos, sapos (e.g. Jared et al, 2020) e cobras (Solórzano e Greene, 2012; Dupre, 2020).

Em áreas urbanas, foi sugerido também o uso de animais bem adaptados aos ambientes onde escorpiões são encontrados, como galinhas para fins de controle (Ramires et al, 2011), apontado como um predador voraz de escorpiões por Murayama et al (2022), e atingindo os requisitos básicos para ser considerado um predador eficaz.

Já o controle físico, baseado na inserção de materiais que dificultariam a entrada e o acesso de animais às residências, foi testado no século 20 no México (Mazzotti, 1964 apud Ramsey et al, 2002; Bravo-Becherelle e Arizmendi, 1967 apud Ramsey et al, 2002). A partir do ano de 1962, foram utilizadas peças de cerâmica e chapas metálicas ao redor das casas de forma combinada com pesticidas organoclorados, com resultados limitados (Mazzotti, 1964 apud Ramsey et al, 2002; Bravo-Becherelle e Arizmendi, 1967 apud Ramsey et al, 2002). Apesar disso, ainda constam em normativas do país as instruções para dificultar a entrada de escorpiões nas casas (México, 2011).

Outras medidas de controle físico, ainda não exploradas em escorpiões, mas amplamente utilizadas e eficazes contra insetos, baseiam-se nas propriedades luminosas (Weinzierl et al, 2005). O uso da luz como forma de controle baseia-se na combinação da intensidade luminosa, comprimento de onda, tempo de exposição e combinações luminosas do ambiente, levando as respostas à luz. Essas respostas, ou comportamentos fototáticos, podem ser positivas, se gerarem atração, ou negativas se gerarem repulsão (Land e Nilsson, 2012; Shimoda e Honda, 2013).

Para além do uso como controle de pragas, as propriedades luminosas podem ser utilizadas de forma combinada para a investigação do potencial de atração ou repelência das mesmas em espécies de importância médica, como *Tityus serrulatus*, podendo levar-nos a uma alternativa para o controle de escorpiões de forma pouco invasiva, e relativamente barata.

Nosso objetivo é utilizar diferentes comprimentos de onda e suas respectivas irradiâncias, analisando as respostas comportamentais obtidas para assim, investigar a viabilidade de controle luminoso como uma forma de controle físico para *Tityus serrulatus*. A partir disso, seria possível propor um método de controle que não utiliza químicos prejudiciais para a saúde humana e animal, e também não representa riscos ao meio ambiente.

Capítulo 1

Light, camera, action: *Tityus serrulatus* behavioral responses in a luminous arena and its potential as a physical control

Marina Costa Rodrigues^{1,2}, Gabriel Pimenta Murayama^{1,2}, Lilian Tan Moriyama³, Nathalia Ximenes^{1,2}, Luan de Souza², Rodrigo Hirata Willemart^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil;

²Laboratório de Ecologia Sensorial e Comportamento de Artrópodes (LESCA), Escola de Artes Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.

³ Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brazil.

Abstract

Scorpionism is a neglected disease that affects different countries and can create lethal victims especially among children and elderly. In countries with an annual high rate of scorpionism, control measures represent an important measure to try to mitigate the problem. Here, light was tested by combining properties such as wavelength and absolute irradiance to measure behavioral responses of the medically important species *Tityus serrulatus*. Results showed avoidance to green light, and violet light on a smaller portion, that could be due to wavelengths, since those correspond to primary and secondary response peaks of the animal photoreceptors, or due to the absolute irradiance of lights.

Introduction

Scorpionism is the poisoning caused by the inoculation of toxins through the sting of scorpions, which can determine local and systemic body changes (Brazil, 2019). In countries with a high annual rate of scorpionism, measures for scorpion control are important for public health, considering the potential risks of accidents and deaths resulting from scorpion stings. The ability that some species have to reproduce rapidly, combined with human colonization, aligns with the rapid proliferation of parthenogenetic species, the increased distribution of scorpions (Lourenço, 2008), and the consequent increase in the number of stings (Reckziegel and Pinto, 2014). With a widespread incidence of cases in different regions, scorpionism is

considered by the Brazilian Health Ministry as a public health problem and by the World Health Organization as a neglected tropical disease (WHO, 2007).

In Brazil, the incidence of scorpion stings per 100,000 inhabitants was 7.4 in 2000 and reached 75.2 in 2018 (Ministério da Saúde, 2019). The number of cases surpassed the 100.000 mark in 2017, reaching 124.152 cases according to the Informatic Department of the Brazilian Unified Health System (DATASUS, 2023). Between 2007 and 2018, approximately 927,000 stings were reported to the Ministry of Health, in addition to 927 deaths. Many of those are attributed to species of the genus *Tityus*, represented in Brazil by the species *T. serrulatus*, *T. stigmurus*, *T. bahiensis*, and *T. obscurus*, with *Tityus serrulatus* being responsible for most accidents (Chippaux and Goyffon, 2008; Guerra-Duarte et al, 2023). Also known as the yellow scorpion, *T. serrulatus* is a synanthropic and parthenogenic species that finds plenty of sources of food in urban areas. Large colonies of the animal can be formed, especially considering its reproductive potential, in which an individual can give rise to up to 20 individuals per generation (Outeda-Jorge et al, 2009; Ramires et al, 2011; Lacerda et al, 2022).

Although chemical control is one of the most adopted measures to manage scorpions, the literature also mentions biological control (Jared et al, 2020; Brites-Neto et al, 2021; Murayama et al, 2022) and physical control using materials that prevent or hinder the animal entry. The latter has been used since the 1960s, with measures such as coating houses with ceramic and metal plates around the foundation (Mazzotti, 1964 apud Ramsey et al, 2002; Bravo-Becherelle e Arizmendi, 1967 apud Ramsey et al, 2002). These efforts did not show satisfactory results but drew attention to other forms of control that did not involve the use of chemicals, among which we can highlight the use of light and its properties as a form of control.

The use of light is non-invasive, relatively cheap, and satisfactory in controlling pests. Some luminous properties can attract animals to light sources, such as the blue wavelength used in a fluorescent trap lamp that attracts insects to the light (Shimoda and Honda, 2013; Diaz-Montano, 2016; Larsson, 2019). Researchers already tested for luminous properties mainly in desert scorpions, from a physiological perspective. Physiological studies have pointed to the presence of intraocular photoreceptors with primary neural response in medium eyes to green light and secondary response to ultraviolet (UV) light, with no recorded response to red light or infrared radiation (Roldan and Gaffin, 2018). In addition to these specialized structures, extraocular photoreceptors were found on the metasoma of *Urodacus* scorpions with a peak response at around 479 nm (Violet), by Zwicky (1968). Geethabali and

Rao (1973) found similar structures on the scorpions *Heterometrus fulvipes* and *Heterometrus gravimanus*, showing peak sensitivity at 568 nm (Yellow-Green) with a secondary peak at 440 nm (Violet) (Zwicky, 1968; Geethabali and Rao, 1973).

These studies brought forth neuronal responses that led to the development of physiological and behavioral studies seeking the interface between light sensitivity and animal response. As investigated by Blass and Gaffin (2008), when exposing the scorpion *Paruroctonus utahensis* to red, green, UV, and infrared lights, the animals' behavior varied according to the wavelength. They found faster and sporadic movements in the treatments of UV and green lights respectively, representing an inversion of the sensitivity peaks pointed out by Geethabali and Rao (1973). The authors suggest the possibility that scorpions use a method beyond retinal sensitivity for wavelength discrimination, as suggested by Zwicky (1968).

Roldan and Gaffin (2018) did a similar but more sensitive trial, using an arena with a luminous gradient created by an LED that could be UV, green, red, and a no-light control, showing responses to green, UV, and red wavelengths above the value of 640 nm, the one with no behavioral response registered. Most scorpions of the trials moved rapidly once they were in the arena, usually walking a few steps and stopping after it, with some animals doing rapid turns and movements. In this experiment, animals were initially placed on the opposite side of the LED, and except for the control, all animals oriented themselves to the luminous sector of the arena, that is the sector L. The authors point out the significance of the difference in time spent between UV and no-light conditions, as well as green and no-light conditions ($P < 0.01$) (Roldan and Gaffin, 2018).

Given the responses observed in scorpions exposed to different wavelengths (Blass and Gaffin, 2008; Gaffin, 2011; Gaffin et al, 2012; Roldan and Gaffin, 2018), and the result of physiological studies that present primary neuronal responses of average eyes to green wavelengths and secondary responses to UV light (Fleissner and Fleissner, 2001), we bring attention to the physical control through different luminous properties combined. In this study, we evaluated the attraction or repulsion of the yellow scorpion *Tityus serrulatus* by different wavelengths to investigate the possibility of using light as a form of physical control against scorpions, either to attract scorpions to traps or to repel them.

Methods

Maintenance

We kindly received, by local government health agents (named in the Acknowledgements section), 129 adult scorpions of *T. serrulatus* from urban areas of Tupã and Botucatu, São Paulo, Brazil. We carried out the experiments during January, April, and December of 2022 and February, March, and April of 2023. We maintained the animals in the laboratory in containers with a shelter made of cardboard, a moistened cotton and we fed them with live crickets (*Gryllus* sp.) every two months. We exposed scorpions to light-dark cycles of 12:12 and kept the laboratory illuminated only by red light since there are no signs of attraction or repulsion to wavelengths greater than 640 nm (Blass and Gaffin, 2008). The experiments were conducted between 6-11 pm at a temperature of approximately 28 - 30°C maintained with a heater.

Light and intensity measurements

We assembled the behavioral apparatus (Fig. 1 A and B) following Gaffin (2018) and it consists of an arena made of two concentric acrylic petri dishes: an outer, larger dish (140 mm in diameter x 30 mm in height), and an inner, smaller dish (60 mm in diameter x 15 mm in height). The arena was divided into 9 sections (L, I, II, III, IV, -I, -II, -III and -IV) (Fig 1). An arena was constructed for each wavelength under investigation.

The LED was positioned on the inner dish with its emitting side directed towards the L sector mark (Fig. 1 A and B). To minimize potential vibrations transmitted between arenas, each arena was mounted on a 2cm-thick granite platform measuring 20 x 20 cm (granite minimize substrate-borne vibrations: Hebets, 2004; Elias and Mason, 2004).

To qualitatively assess the light distribution in the arena's sectors, an isotropic probe (IP85, Medlight S. A., Switzerland) was used. This probe contains an 800µm diameter sphere at one of its tips, enabling the detection of light in an almost isotropic manner. The other tip of the probe has an SMA connector to link it to a spectrophotometer (USB2000, OceanOptics, Orlando, FL, USA) coupled to a laptop operated through software (OOIBase32™, OceanOptics). The spectrophotometer separates the incoming light beam into wavelengths and provides the number of incident photons in terms of light intensity (arbitrary units). The measurements were taken by positioning the isotropic probe in each sector of the arenas, close to the external wall of the arena.

To measure the light irradiance emitted by each LED we utilized a 600-µm diameter fiber (UV/SR-VIS, OceanOptics) equipped with a cosine corrector (CCSA1, ThorLabs) at one of its SMA tip ends. The other fiber end was connected to a calibrated spectrometer (Ocean Optics USB4000), allowing the light source irradiance to be measured using the

dedicated SpectraSuite software. For each arena, two irradiance measurements were performed in the L sector: one with the optical fiber positioned near the LED to acquire the maximum irradiance emitted by the LED, and another with the optical fiber placed at the edge of the outer wall of the arenas.

We also measured the temperature in the arena to test for heat emission by the LED using a thermal imaging camera (Ti35, Fluke). Measurements were done with the LED off, immediately after turning it on, and after that, measurements were done at 28 minutes, 52 minutes, 194 minutes, and 247 minutes, and the temperatures registered were coincident with the temperature defined for the experiment (Table 1). The temperature in the circulation area of the scorpions in the arenas did not change significantly, and the maximum values presented in Table 1 were always detected from the LED itself (as can be observed in the thermographic images in the Supplementary Material).

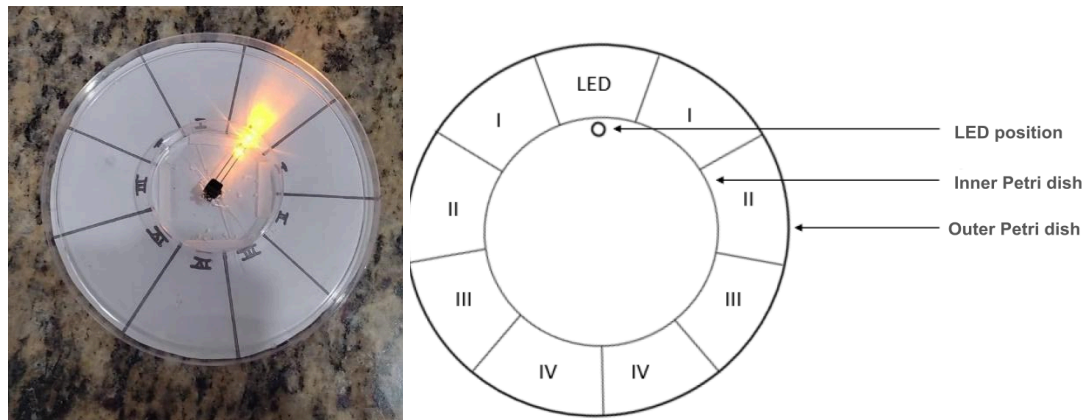


Figure 1: (A) Acrylic petri dish arena with LED on, on a granite substrate, to test attraction and repulsion to light in the yellow scorpion *Tityus serrulatus*; (B): Scheme of the arena with LED placement.

Table 1: Values measured on the center and on the central range of the arena for temperature with LED off, on, and at different time marks (Figures on Supplementary material).

Interval (min)	Minimum (°C)	Mean (°C)	Maximum (°C)	Center of the arena (°C)
LED off	21.8	22.1	22.5	22.1
0	21.5	21.8	22.8	21.9
28	21.7	22.1	29.1	23.2
52	21.6	22.0	26.6	21.9
194	21.4	21.9	28.2	22.1
247	21.8	22.3	30.3	23.1

Behavioral experiments

Here we tested if scorpions respond to distinct wavelengths by being attracted or repelled by them. We used individual arenas with a luminous gradient created by a central LED with a darkened acrylic lateral, in which animals could move freely. Scorpions tested for attraction were introduced on the opposite side of the LED, in sector IV. That way, animals would have to move all the way through the arena to reach sector L, indicating a potential attraction. Scorpions tested for repulsion entered the arena and started the trials by the sector closest to the LED, in sector I. That way, animals would have to move through other sectors to reduce their exposure to light, indicating a potential repulsion.

The responses to green and violet treatments align with those reported by Roldan and Gaffin (2018), namely that the animals *Paruroctonus utahensis*. Roldan and Gaffin (2018) pointed out the challenge of determining where the animal would be when the trial started. Following such a report, here we divided the experimental groups into two categories, with animals starting from the opposite side of the LED if they were being tested for attraction, and starting close to the LED if they were being tested for repulsion. Therefore, animals would have to move across the arena in case of attraction or move away from the light source in case of repulsion, indicating a clearer behavioral response to light.

We transferred the scorpions to the arena from their individual shelter by gently sliding the animals from the container. Each treatment consisted of individuals randomly assigned to a treatment and used once in a single treatment, with sample sizes ($n = 15$) for all treatments: attraction for red, repulsion for red, attraction for violet, repulsion for violet, attraction for green, repulsion for green, attraction control, and repulsion control (120 animals in total).

We used a Sony Handycam HDXR550V camera in night shot mode positioned above the apparatus to record trials. We considered the beginning of each trial from the moment the animal changed sectors for the first time after entering the arena and recorded for 30 minutes. After each trial, the arena was cleaned with ethanol 70%. The analysis was conducted with the aid of an acrylic arena with the sector marks overlapping the video.

Statistical analysis

We tested for differences between the time spent in the different sectors of the arena with a repeated measures ANOVA Friedman test, since the time spent in one sector influences the time the animal can spend in other sectors, followed by a Durbin Conover Post hoc test with 5 groups (I, II, III, IV, and L). Because the arenas have two sectors marked I, II, III, and

IV and only one sector marked L, the time spent in sector L was multiplied by two since this area is half the total size of the others.

The wavelength and the intensity of the LED lights are different between the three treatments, with the green light being the brightest of the three, followed by the violet, and the red light (Table 2). Wavelengths of the LEDs are 630 ± 20 nm (red), 515 ± 30 nm (green), and 405 ± 20 nm (Violet) (Supplementary Material).

Table 2: Values for absolute irradiance ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) without interference from the background on each sector of the arena used to test attraction and repulsion of the yellow scorpion *Tityus serrulatus*.

Sector	RED	GREEN	Violet
L	351	2410	359
I (Right)	9	127	12.5
II (Right)	3	9	3
III (Right)	2	5	2
IV (Right)	1	2	1
I (Left)	4	87	13
II (Left)	2	18	2
III (Left)	2	8	2
IV (Left)	1.4	2	0
Background	0	0	0

The relationship between luminous intensity and time spent in each sector

Ideally, we would have used LEDs with the same absolute irradiance, but this was unfortunately not the case. The absolute irradiance of each treatment varies according to the LED in the sector, which creates a luminous gradient on the arena that is brightest in sector L and decreases progressively until sector IV. The red arena has a peak wavelength of 630 nm on the sector L with absolute irradiance equivalent to $351 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. The violet arena has a peak wavelength of 405 nm with absolute irradiance equivalent to $359 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. The green

arena has a peak wavelength of 516 nm with absolute irradiance equivalent to 2410 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, being the most intense of the three tested lights (Table 2).

To address that, we paired the sectors between treatments based on the similarity of the irradiance, to test if the difference on time spent in each sector could be attributed to a specific wavelength. Since there is a remarkable difference in irradiance in sector L, we did not perform a test for this sector (Table 2).

Attraction experiments

Sector I presented only two treatments with similarity in irradiance, Violet and Red. We performed a Student t-test that showed no difference between the time spent on the first sector both on violet or red arenas ($p=0.124$).

In sector two, on the other hand, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed no difference between the time spent on the second sector on arenas green, violet, or red ($p=0.083$).

In sector three, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed no difference between the time spent on the third sector on arenas green, violet, or red ($p=0.282$).

In sector four, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed no difference between the time spent on the fourth sector on arenas green, violet, or red ($p=0.729$).

Repulsion experiments

Sector I presented only two treatments with similarity in irradiance, Violet and Red. We performed a Student t-test that showed no difference between the time spent on the first sector both on violet or red arenas ($p=0.760$).

In sector two, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed a significant difference between the time spent on the second sector on arenas green, violet, or red ($p<0.001$). We also performed a multiple comparison Dwass-Steel-Critchlow-Fligner test that showed the difference between sectors red and green ($p=0.005$) and violet and green ($p<0.001$).

In sector three, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed no

difference between the time spent on the third sector on arenas green, violet, or red ($p=0.505$).

In sector four, it is possible to compare all the treatments, considering the similarity of the irradiance of all of them (Table 2). We performed a one-way ANOVA that showed a significant difference between the time spent on the second sector on arenas green, violet, or red ($p=0.005$). We also performed a multiple comparison Dwass-Steel-Critchlow-Fligner test that showed a difference between sectors red and green ($p=0.004$).

Results

In the attraction experiments, we did not detect significant differences between experiments ($p=0.076$) (Table 3).

In the repulsion experiments, we detected a difference below the significance line ($p=0.047$), with the highest difference between treatment violet and green ($p=0.022$) (Table 3). Therefore, we can infer that the intensity of the light is determinant on the behavioral experiments, with stronger light intensities leading to stronger behavioral responses on the repulsion experiments.

Table 3: Results of the repeated measures ANOVA Friedman test for attraction and repulsion to light in the yellow scorpion *Tityus serrulatus*.

	Attraction			Repulsion		
	χ^2	p	n	χ^2	p	n
Red	5.77	0.217	19	8.19	0.085	20
Control	11.0	0.026	15	2.4	0.663	17
Green	20.7	<0.001	13	38.3	<0.001	21
Violet	12.1	0.017	17	19.0	<0.001	20

Of the 181 individuals, 145 (80.1%) changed sectors at least one time during the 30-minute trial. Some animals entered the arena and did not move at all during the trials, a smaller portion moved inside the same sector. Most animals moved rapidly as soon as they entered the arena, changing their position multiple times during the trial. While some animals approached sector L but did not enter it, 92 of the moving scorpions ($\approx 63.5\%$) entered sector L at least once.

Attraction experiments

Out of the 81 individuals tested for attraction, 65 changed sectors at least once (80.2%), and 49 entered sector L at least once (75.4%).

We found no difference in the time spent in each of the sectors for the red color (data not shown, Table 3). In the control trials (no lights) animals spent more time in sector L than in sector II, and more time in sector III than in L (Table 4 and Figure 2). On the green trials, animals avoided sectors I (the one closest to the LED) and L (where the LED was) (Table 4 and Figure 3). In the violet treatment, animals spent more time in sector III than I and spent more time in sector III than in L (Table 4 and Figure 4).

Table 4: Results of the Durbin Conover posthoc statistic to test attraction to light in the yellow scorpion *Tityus serrulatus*.

Sectors		Attraction			
		Control	Green	Red	Violet
Durbin Conover multiple comparisons					
I	II	0.262	0.019	0.569	0.352
I	III	0.107	< .001	0.501	0.094
I	IV	0.802	0.033	0.180	0.094
I	L	0.121	0.469	0.501	0.164
II	III	0.617	0.081	0.917	0.449
II	IV	0.172	0.809	0.058	0.449
II	L	0.009	0.003	0.215	0.022
III	IV	0.064	0.048	0.046	1.000
III	L	0.002	< .001	0.180	0.003
IV	L	0.192	0.005	0.501	0.003

Repulsion experiments

Out of the 86 individuals who tested for repulsion, 80 changed sectors at least once (93%), and 52 entered sector L at least once (65%).

In the repulsion treatment, we found no differences in the time spent in each of the sectors for the treatment red and the control (Table 3). However, animals avoided the sector with the violet Led (Table 5 and Figure 5). We also found differences in the green treatment , with animals avoiding sectors I (closest to the LED) and L (where the LED was) (Table 5 and Figure 6).

Table 5: Results of the Durbin Conover posthoc test for repulsion experiments to test repulsion to light in the yellow scorpion *Tityus serrulatus*.

Sectors		Repulsion			
		Control	Green	Red	Violet
Durbin Conover multiple comparisons					
I	II	0.418	0.028	0.143	0.061
I	III	0.258	< .001	0.143	0.330

I	IV	0.258	< .001	0.599	0.528
I	L	0.871	0.175	0.563	0.010
II	III	0.745	0.034	1.000	0.359
II	IV	0.745	0.001	0.048	0.208
II	L	0.516	< .001	0.042	< .001
III	IV	1.000	0.253	0.048	0.730
III	L	0.331	< .001	0.042	< .001
IV	L	0.331	< .001	0.958	0.002

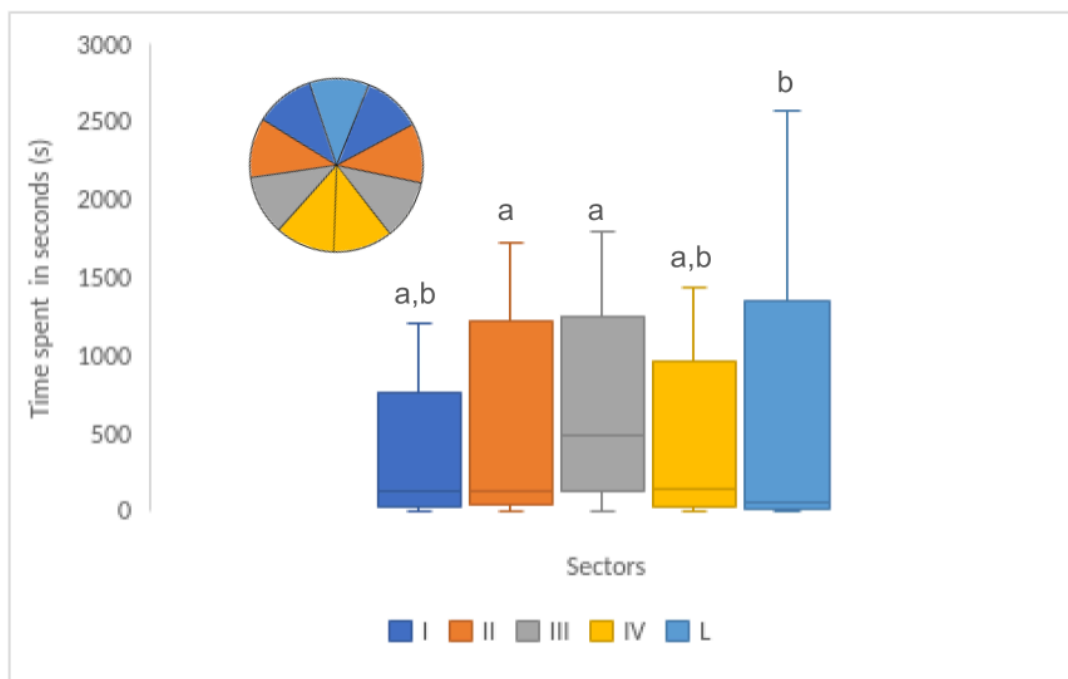


Figure 2. Time spent by yellow scorpions *Tityus serrulatus* in each sector of the arena in the treatment of attraction to the control treatment. L corresponds to the sector that contains the LED. Horizontal lines represent (in order from bottom to top) the first quartile, median values, and the upper quartile. Vertical bottom lines correspond to the range from the minimum values to the first quartile, and vertical upper lines correspond to the range from the upper quartile to the maximum values. Different letters on top of the boxes correspond to statistical differences.

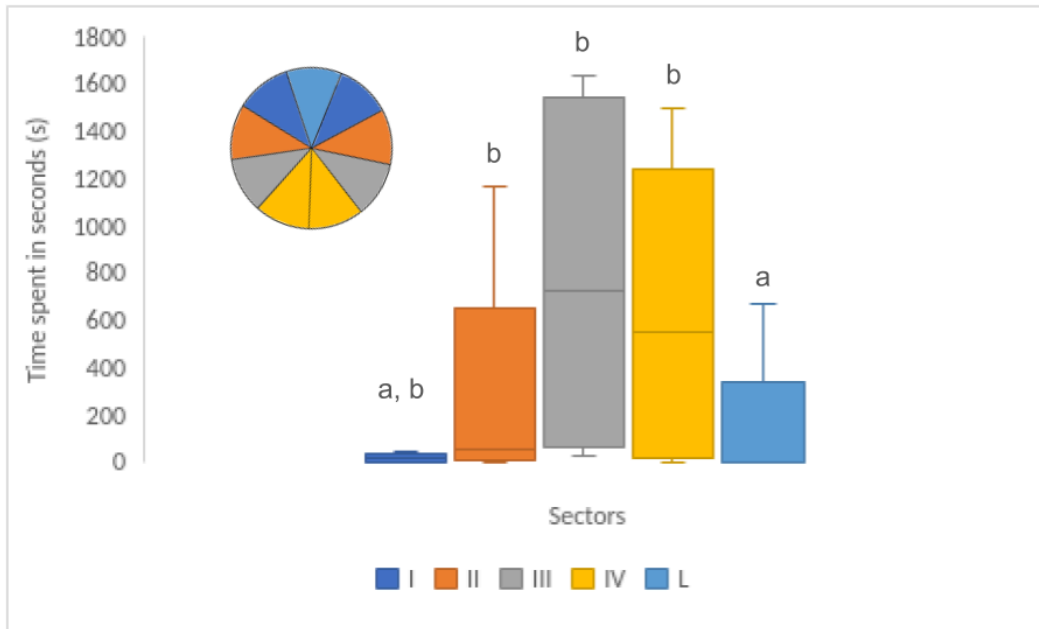


Figure 3. Time spent by yellow scorpions *Tityus serrulatus* in each sector of the arena in the experiment of attraction to the green treatment. L corresponds to the sector that contains the LED. Horizontal lines represent (in order from bottom to top) the first quartile, median values, and the upper quartile. Vertical bottom lines correspond to the range from the minimum values to the first quartile, and vertical upper lines correspond to the range from the upper quartile to the maximum values. Different letters on top of the boxes correspond to statistical differences.

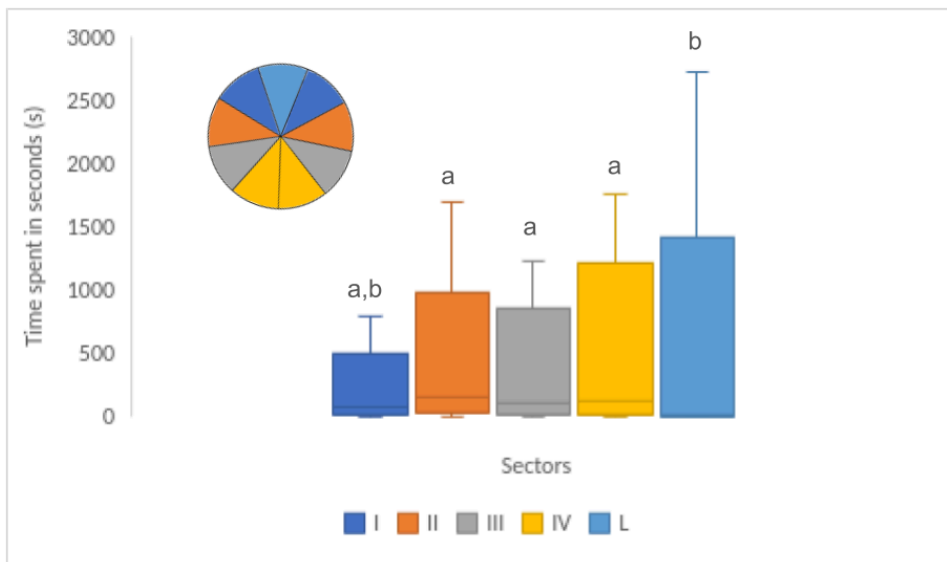


Figure 4: Time spent by yellow scorpions *Tityus serrulatus* in each sector of the arena in the treatment of attraction to the violet treatment. L corresponds to the sector that contains the LED. Horizontal lines represent (in order from bottom to top) the first quartile, median values, and the upper quartile. Vertical bottom lines correspond to the range from the minimum values to the first quartile, and vertical upper lines correspond to the range from the

upper quartile to the maximum values. Different letters on top of the boxes correspond to statistical differences.

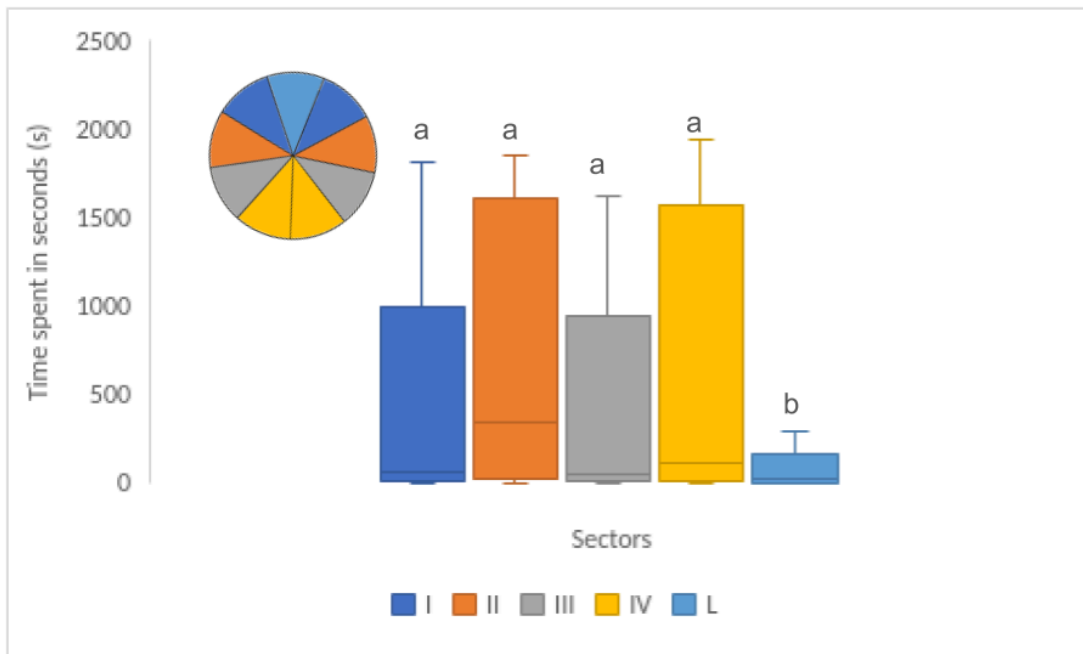


Figure 5: Time spent by yellow scorpions *Tityus serrulatus* in each sector of the arena in the experiment of repulsion to the violet treatment. L corresponds to the sector that contains the LED. Horizontal lines represent (in order from bottom to top) the first quartile, median values, and the upper quartile. Vertical bottom lines correspond to the range from the minimum values to the first quartile, and vertical upper lines correspond to the range from the upper quartile to the maximum values. Different letters on top of the boxes correspond to statistical differences.

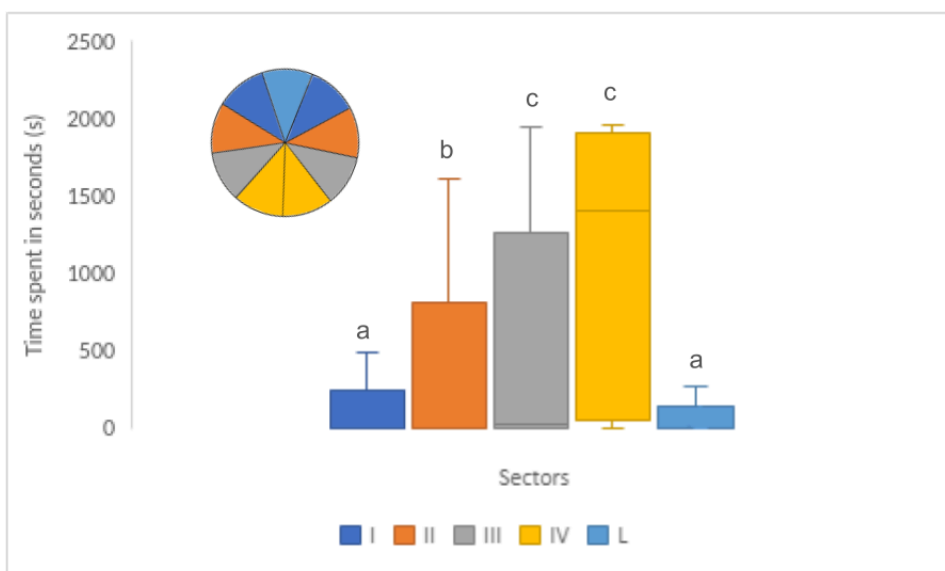


Figure 6: Time spent by yellow scorpions *Tityus serrulatus* in each sector of the arena in the treatment of repulsion to the green treatment. L corresponds to the sector that contains the LED. Horizontal lines represent (in order from bottom to top) the first quartile, median values, and the upper quartile. Vertical bottom lines correspond to the range from the minimum values to the first quartile, and vertical upper lines correspond to the range from the upper quartile to the maximum values. Different letters on top of the boxes correspond to statistical differences.

Discussion

Previous studies on scorpion's reactions to light focused on photoreceptors' sensitivity (Blass and Gaffin 2008), neurobiology and cues used in orientation (Gaffin 2011), as well as the relationship between cuticular fluorescence, perception to light and orientation (Gaffin et al 2012; Gaffin and Barker 2014; Roldan and Gaffin 2018). In our study, we used light as a method to investigate if wavelength and luminous intensity could induce behavioral responses, such as attraction or repulsion, with putative control application in scorpions.

We used an arena in which animals could move freely to measure responses based on the time spent in different sectors of the arena. As expected, we did not observe responses in the red light treatment, due to the weaker responses in the 600 - 640 nm range of the spectrum and the lack of behavioral responses to wavelengths greater than 640 nm (Machan, 1968; Fleissner and Fleissner, 2001 apud Roldan and Gaffin, 2018). The response that we obtained for the control attraction, but not repulsion, indicates an alteration that can be attributed to the number of individuals tested, and would probably disappear with an increased number of experiments.

We obtained the most pronounced behavioral response in the green treatment: animals stayed longer in sectors II, III, and IV than in sectors I and L, indicating a strong repulsive reaction to the green light. Because this is the brightest light used in our experiment, animals could potentially have been repelled by the intensity of the light, and not by the wavelength, or a combination of both. A second expressive behavioral response was obtained in the violet treatment, in which animals would stay away from the LED on the violet attraction and the violet repulsion treatment. Because our results and those of Roldan and Gaffin (2018) were similar in terms of obtaining an expressive behavioral response, evidence suggests that green and violet, at least with the irradiances used, might actually repel scorpions.

The irradiance, more intense in sectors L and I, tends to substantially decrease in sectors II, III, and IV in all arenas. The wavelength value, above values already registered in the literature as capable of eliciting a behavioral response, can indicate that the strong repulsion in the green treatment represents an avoidance of wavelengths that correspond to the maximum sensitivity of the photoreceptors to green wavelengths, as documented by Blass and Gaffin (2008), aligned with the high irradiance of the LED light. As we can see on Table 2, on the green treatment animals were repelled not only from sector L, but also from sector I, in which the irradiance is 19 times smaller on the right side, and 28 times smaller on the left side. This could indicate that animals are repelled by the green wavelength in this case, and not by irradiance. But this remains to be tested.

In the violet treatment, which also presented a repulsive response, results were not as strong as in the green arena, probably due to the smaller intensity of the light, similar to what was observed in Kloock (2010).

Those behaviors, called phototaxis, are directional movements towards (positive) or away (negative) light sources (Randel and Jékely, 2016). Phototactic behaviors present pest management applications, as shown in Shimoda and Honda (2013) with the main applied ones being positive phototaxis in cases of traps, and negative phototaxis in cases of animal repulsion.

With the strongest response to light being the repulsion for the green one, one could further investigate the potential of this wavelength testing it with distinct irradiances and appropriate controls.

The challenge of scorpion control is due to many reasons, ranging from their reproductive potential to the adaptation of the animals to urban areas globally (Brasil, 2009). Investing in effective control programs that are easy to set up and present no risk for the population can not only translate the scientific effort for the population that needs it but also help mitigate the issue.

Acknowledgments

Renato dos Santos Rodrigues helped with the use of laboratory equipment and is now maintaining the scorpions in the laboratory. We thank Prof. Vanderlei Bagnato, that made possible the characterizations of light sources in the labs of CEPOF. We thank the staff health agents from Botucatu (Marcela Bongiovani, Tatiana Moço, Valdinei Campanucci), Tupã (Carlos Melo, Cassia Sanches, Douglas Kimura, Elisangela Pereira, Marluce Paiva, Joice Mattos, Joselaine Rocha, José Melo, Robison Silva, Sebastião Moraes, Suelen Gonçalves, Thalita Soares, Valdemir Silva) and Santa Gertrudes (Diana Ramos, Gustavo Guimarães, Prof José Paulo Guadanucci, Liliâne Baldin, Mateus

Murbach, Mateus Rocha, Silvia Elena). This research was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Supplementary material

Spectral curves in all sectors of the arenas.

Green arena

Figure 1: Spectral curve in the L sector of the green arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

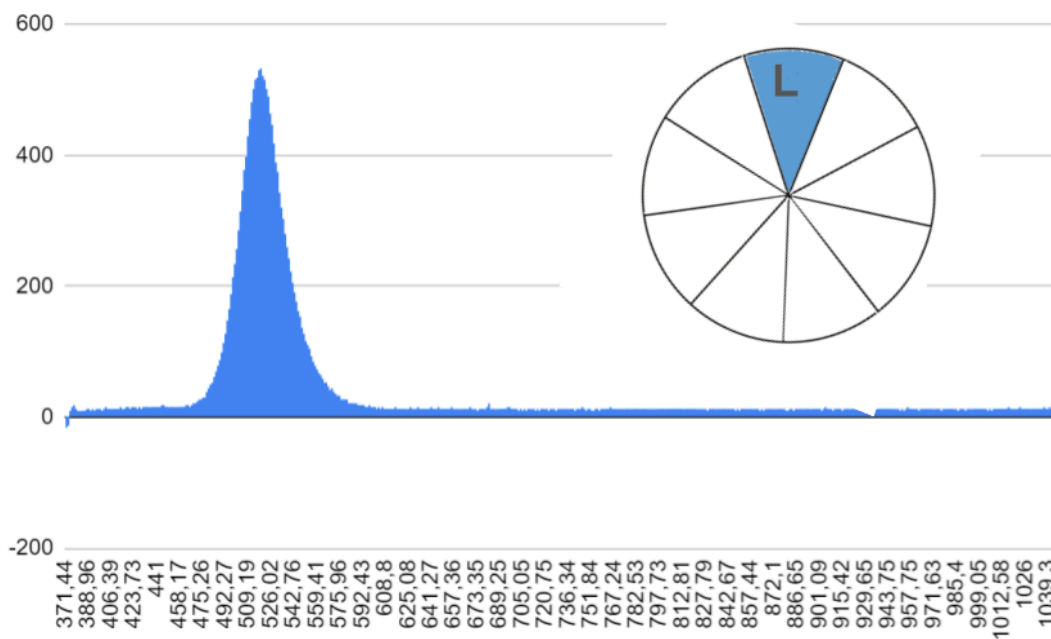


Figure 2: Spectral curve in sector I left and right (top) and II left and right (bottom) of the Green arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

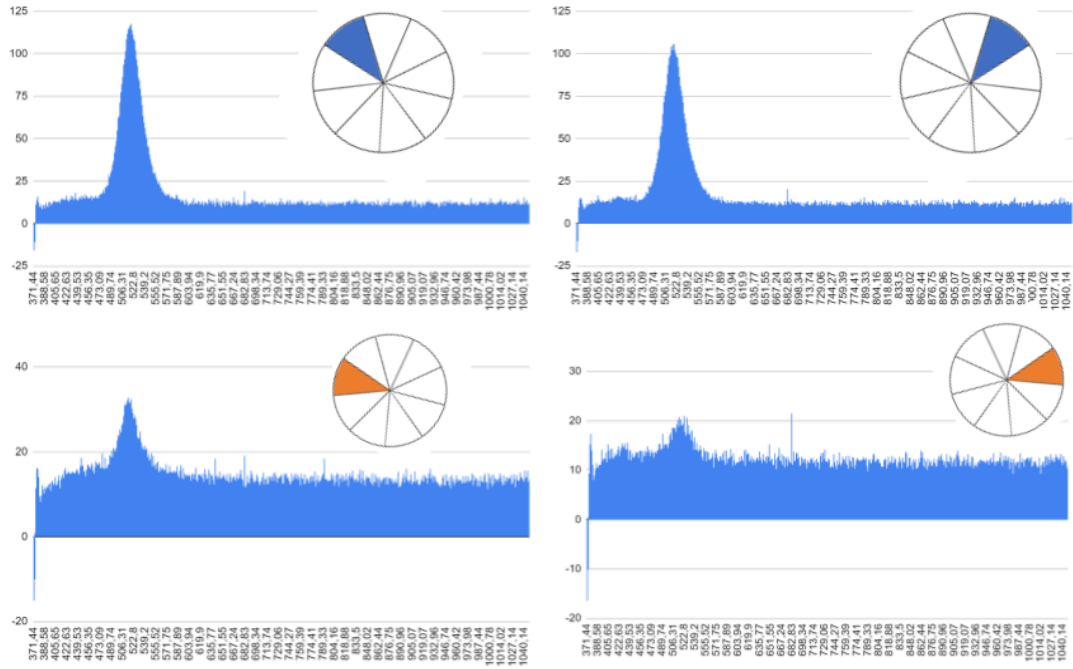
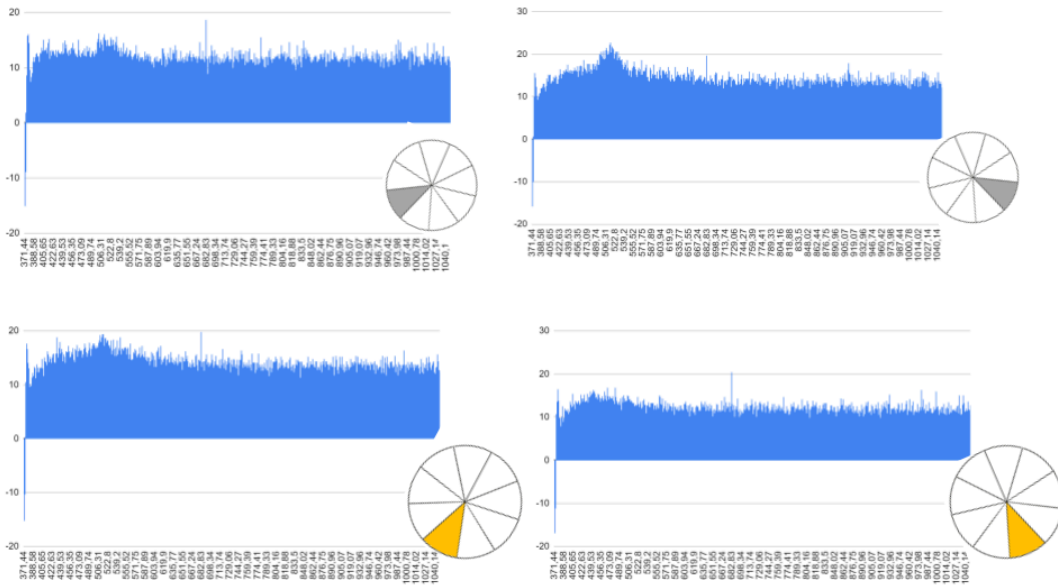


Figure 3: Spectral curve in sector III left and right (top) and IV left and right (bottom) of the Green arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).



Violet arena

Figure 4: Spectral curve in sector L of the Violet arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

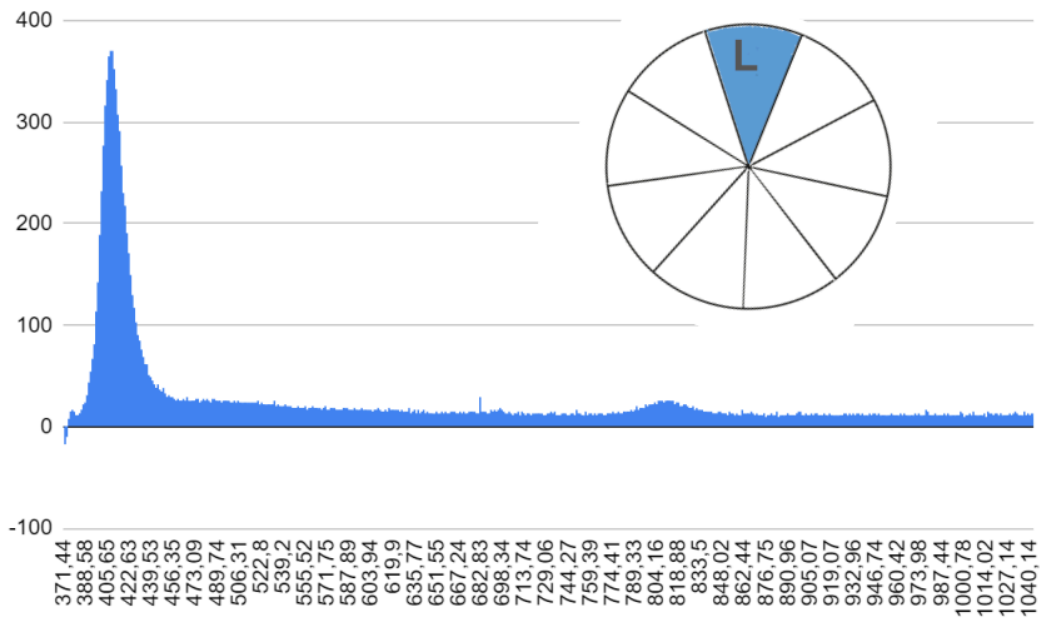


Figure 2: Spectral curve in sector I left and right (top) and II left and right (bottom) of the Violet arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

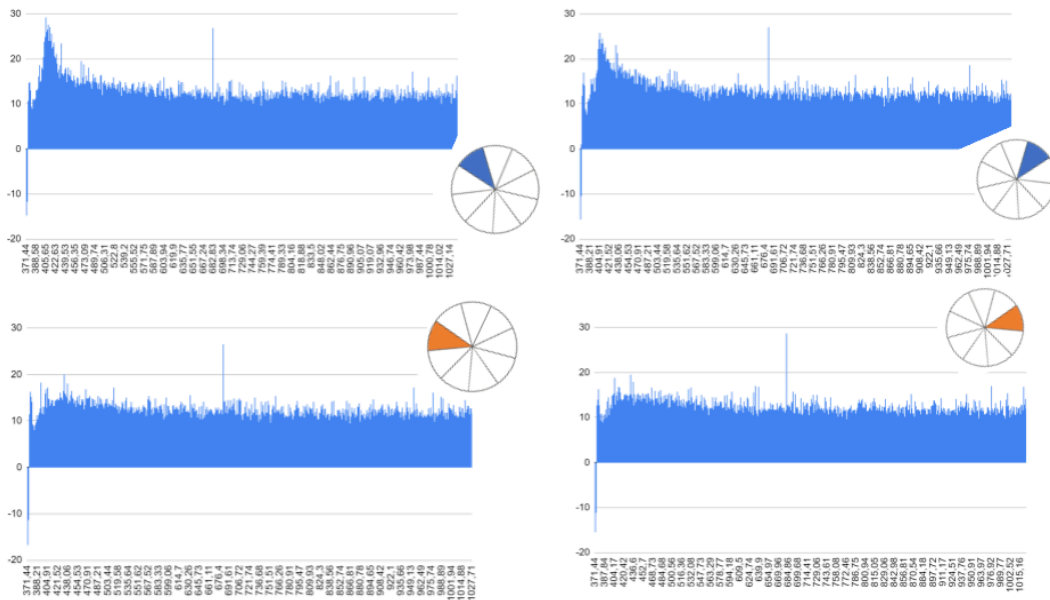
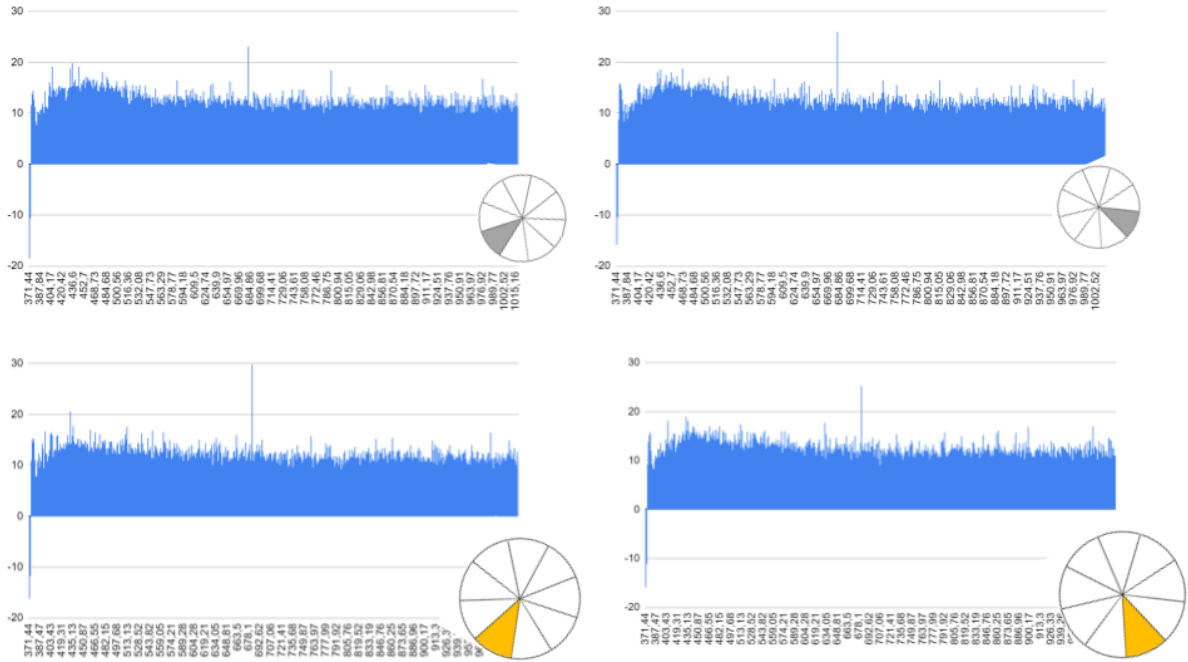


Figure 5: Spectral curve in sector III left and right (top) and IV left and right (bottom) of the Violet arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).



Red arena

Figure 6: Spectral curve in sector L of the Red arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

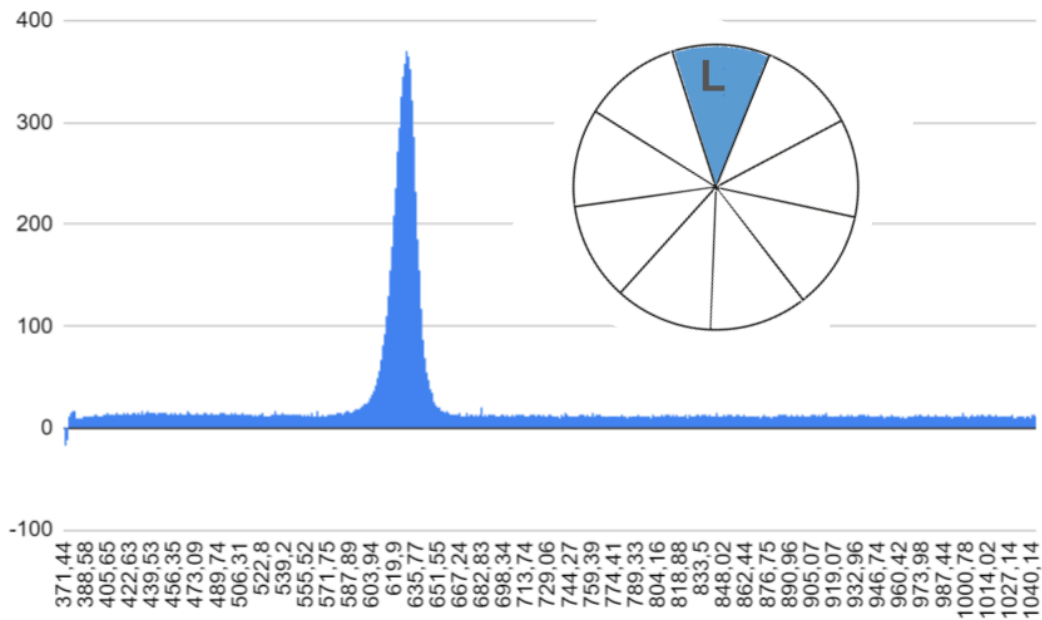


Figure 7: Spectral curve in sector I left and right (top) and II left and right (bottom) of the Red arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

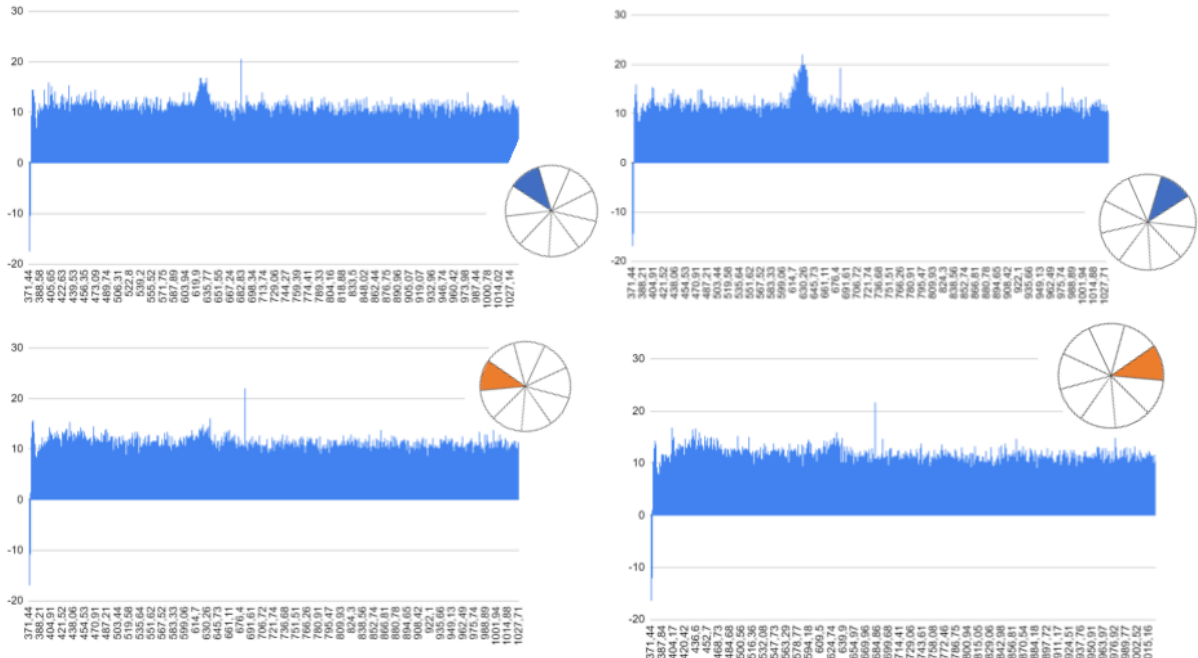
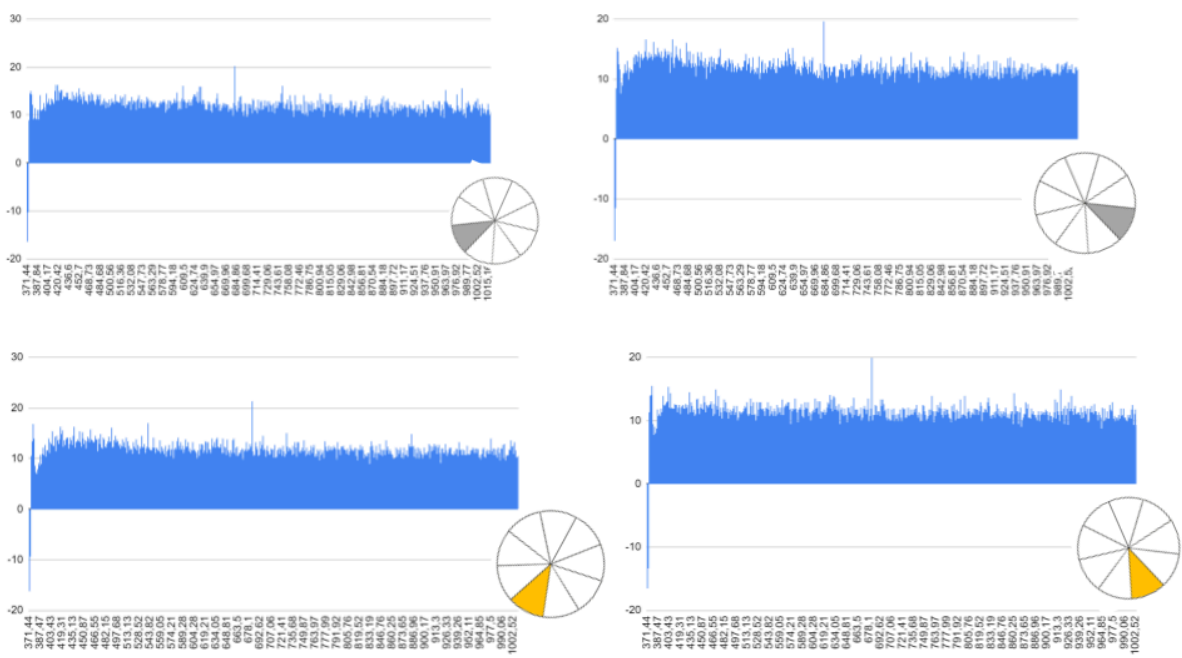


Figure 8: Spectral curve in sector III left and right (top) and IV left and right (bottom) of the Red arena. Horizontal lines represent wavelength values (in nm). Vertical lines represent absolute irradiance (in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$).



Thermographic measures of the arena

Figure 1: Thermographic measures of the arena with the LED off. The lateral scale is a scale of temperature.

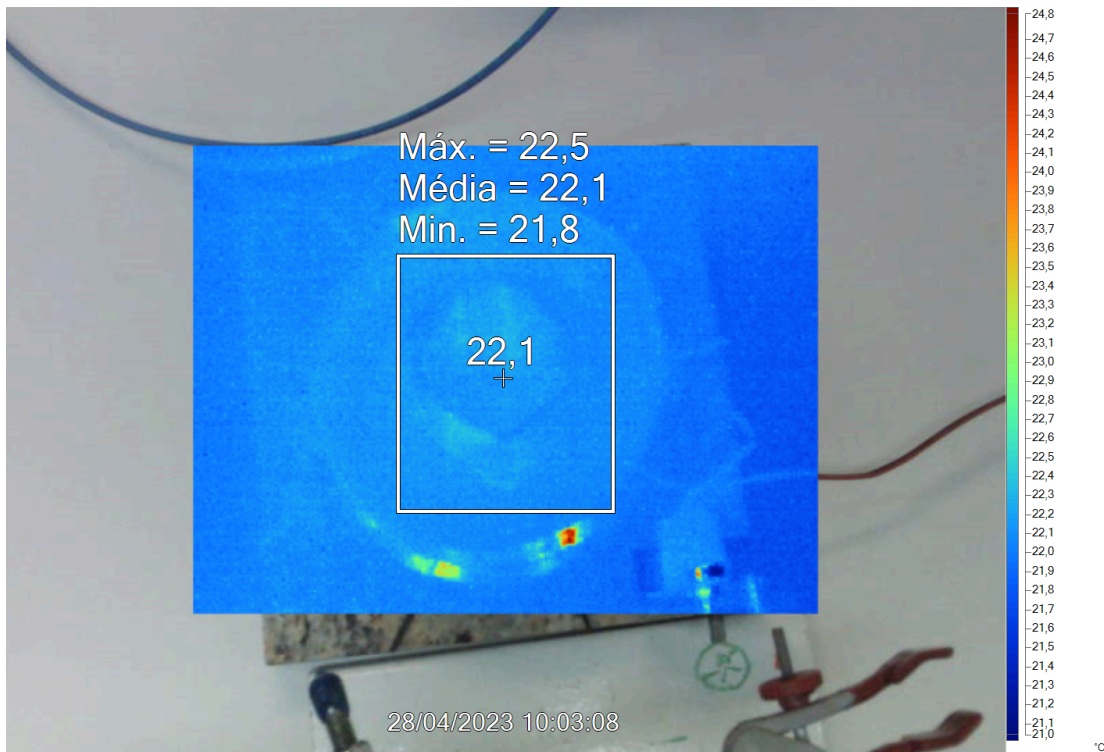


Figure 2: Thermographic measures of the arena right after turning the LED on. The lateral scale is a scale of temperature

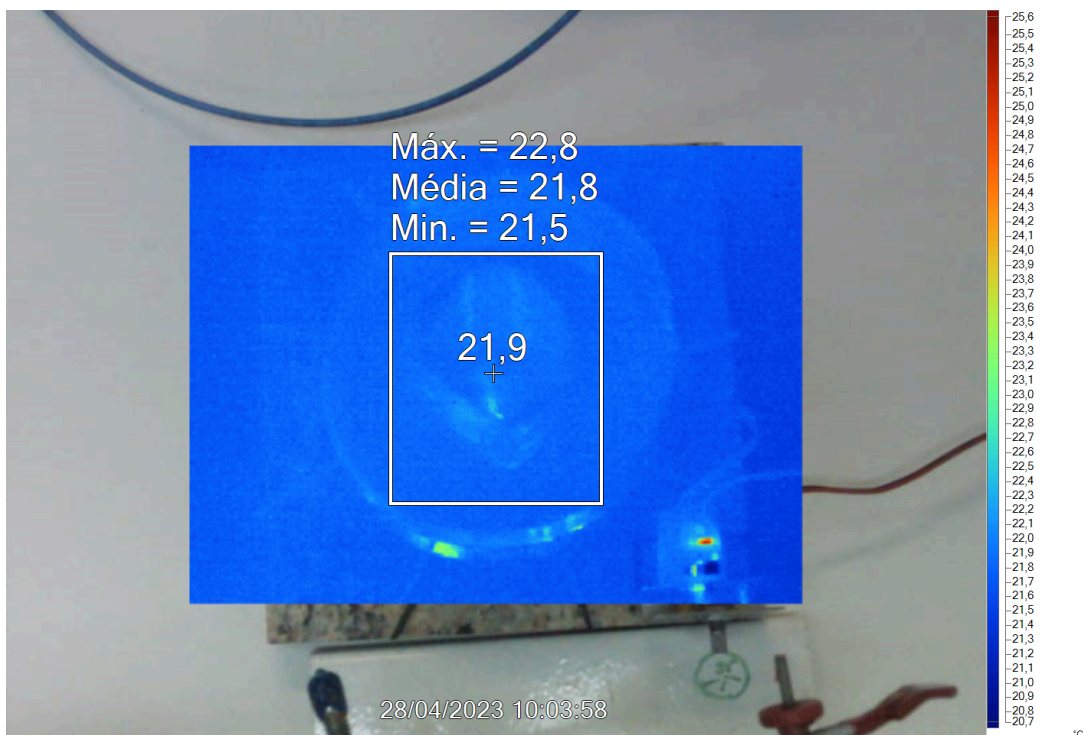


Figure 3: Thermographic measures of the arena 28 minutes after turning the LED on. The lateral scale is a scale of temperature.

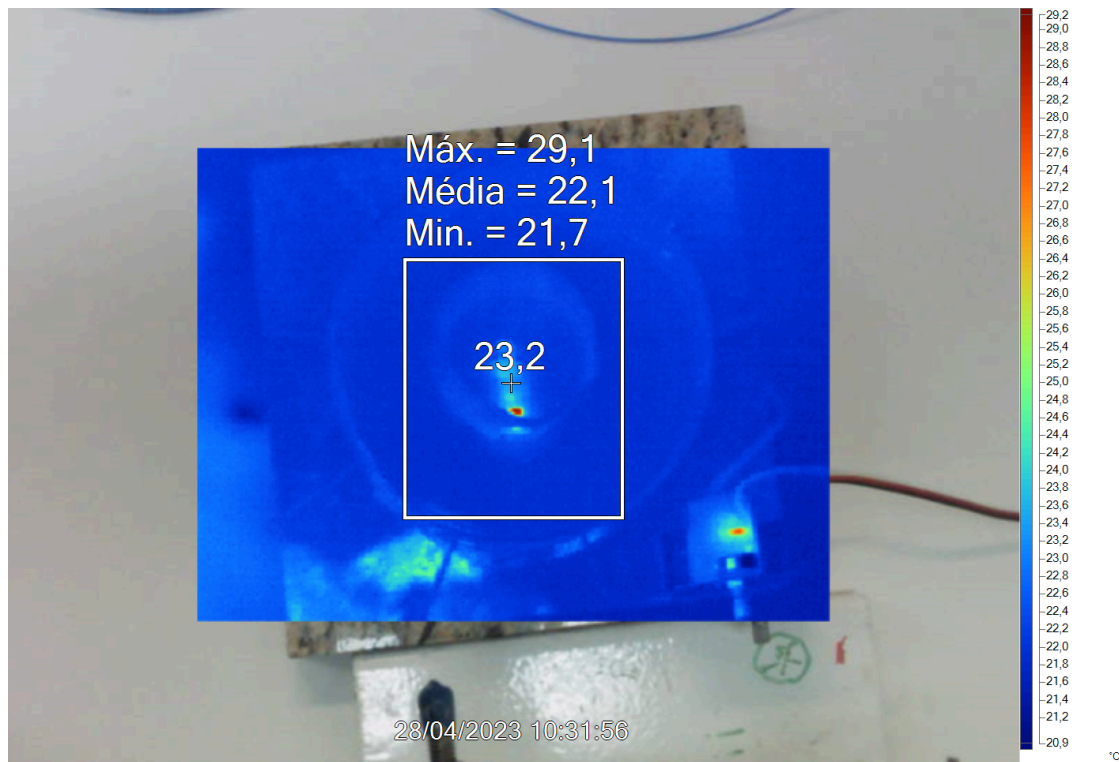


Figure 4: Thermographic measures of the arena 52 minutes after turning the LED on. The lateral scale is a scale of temperature.

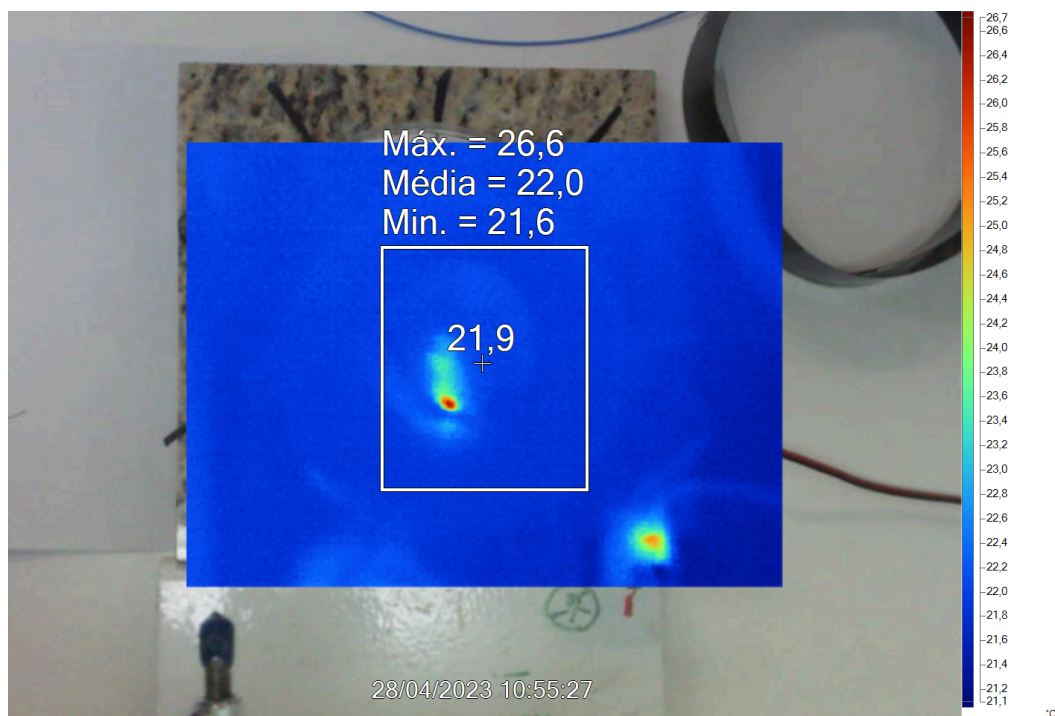


Figure 5: Thermographic measures of the arena 194 minutes after turning the LED on. The lateral scale is a scale of temperature.

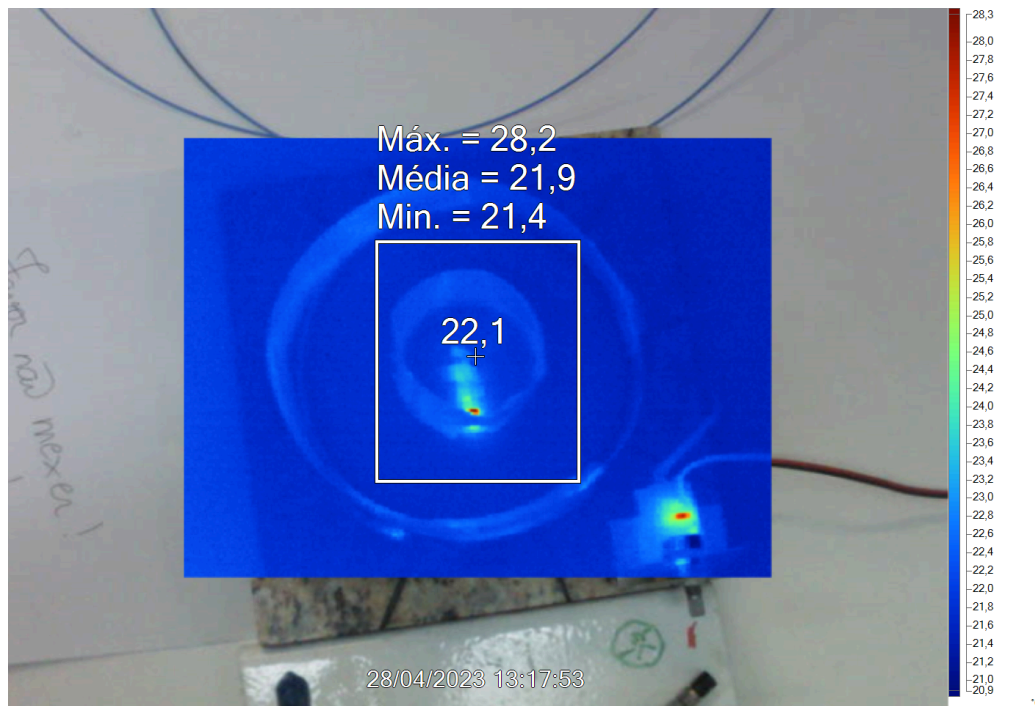
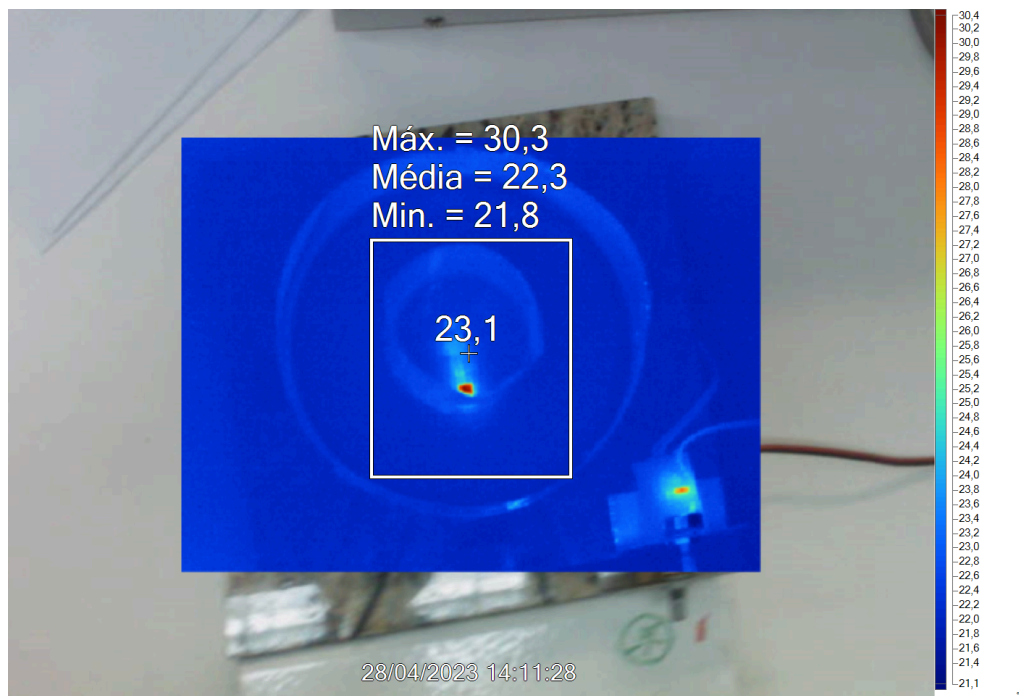


Figure 6: Thermographic measures of the arena 247 minutes after turning the LED on. The lateral scale is a scale of temperature.



Capítulo 2

"Eyes out on the stalk!": The evolution of eyes

Have you ever heard an idiom such as “Bird's-eye View”, or even “Eagle Eye” referring to people with the ability to see things in a wide way, or people who are good at catching details? How about “The eyes are the window of the soul”? There are a lot of different idioms and expressions that present the eyes as the star. This happens because the eyes are part of one of the most important sensory systems for us humans: vision. Responsible for photoreception, the process of absorption of light by a cell or living organism¹, we depend primarily on vision to obtain information about the world around us. However using vision to obtain information from the environment is not exclusive to humans. More than 30 different groups of animals including arthropods, mollusks, and vertebrates have sophisticated eyes. Others have simple eyes and are only sensitive to light-dark conditions².



Figure 1: Different eyes across the animal kingdom.

Source: Wikimedia Commons. Available at: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Animal-Eyes.jpg>.

The appearance of these structures and their evolution begins with the first forms of life on Earth, just over half a billion years ago, in the so-called Cambrian period. This is a period in the history of the planet that is marked by the evolution of a diverse fauna, an event known as the Cambrian explosion^{2,3}. The diversification of these life forms was accompanied by the diversification of visual systems. Fossils of the Cambrian fauna allow us to observe arthropods such as trilobites and their compound eyes (built from many visual optical units formed by one or more lenses), vertebrates and their prominent eyes, suggesting that animals guided by sight (the ability to see) would have evolved in a short period in the early Cambrian period².

There are several tasks guided by vision: from recognizing the local light conditions to searching for food or even sexual partners, all these tasks depend on receiving information and a specific response⁴. It is to be imagined that the evolution of the system visual occurs with the accumulation of successive visual tasks, one more complex than the other, and can be understood as a sequence of addition of those tasks. So, less complex tasks evolved first, and throughout this accumulation, the sensory organs went from providing only specific information to covering a broader spectrum of tasks⁴. Complex visual systems, based on high spatial resolution, lead to tasks and behaviors based on interactions and communication with other animals, such as escaping, searching for and chasing prey, among other interactions².

Visually guided behaviors are divided into behaviors controlled by non-directional monitoring of ambient light (I), behaviors based on sensitivity to directed light (II), visual tasks based on low spatial resolution (III), and visual tasks based on high-resolution space (IV). Each of these different stages corresponds to a different visual system, which starts in stage I with one or a few photoreceptor cells, capable of monitoring the light cycle, for example².

In this first stage, behaviors are controlled by undirected light that is present in the environment. Here, it is still not considered “true vision” as only photoreceptor cells and some form of signaling are required. This class is present in the Porifera groups, the sponge group, Placozoa, Urbilateria, and Ctenophora².

In stage II, organisms can move directionally in response to light sources. This behavior of moving toward or away from a light source is called phototaxis. It is possible to observe *ocellus* in nematodes, various invertebrates, and flatworms (planarians)².

In stage III, where the so-called true vision begins, there is a spatial vision in which different photoreceptors will monitor different directions simultaneously. Under low-resolution conditions, tasks such as animal movement are performed without much difficulty. Flatworms, Mollusks, and arthropod larvae have eyes that are found at this stage².

The last stage presents tasks that need a high spatial resolution – so that it is possible to detect prey and predators, for example. Here, the evolution of structures such as lenses takes place. These are eyes found in vertebrates, cephalopods (such as the octopus!), and compound eyes in insects and crustaceans².

When dealing with the complexity of the eyes, we can address the different structures and their functions, and even the location of the eyes themselves. In mammals, it is common to see eyes on a head, in pairs, as in humans, cats, and dogs. In arachnids such as scorpions and spiders, the eyes are – usually – in more than one pair, as can be seen in Figure 2.



Figure 2: Eyes disposition of the spider *Hogna carolinensis*.

Source: Wikimedia Commons. Available at: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Eye_Arrangement_of_a_Hogna_Wolf_Spider.png.

But the eye design doesn't stop there. Unlike the fixed eyes of mammals and arachnids, some arthropods have so-called pedunculated eyes, which move with the support of structures called peduncles (Figure 3), which enable the eyes to visualize the environment around at a

wider angle, like the popular known crabs, with compound eyes capable of performing class III and IV tasks.² Within the group of semi-terrestrial crabs, the eyes can occupy different locations in different families, with long peduncles close to each other attached to the side of the carapace, as observed in the Brazilian crab *Ocypode quadrata* (popularly known as Maria Farinha, in Portuguese, which means “Mary flour”).

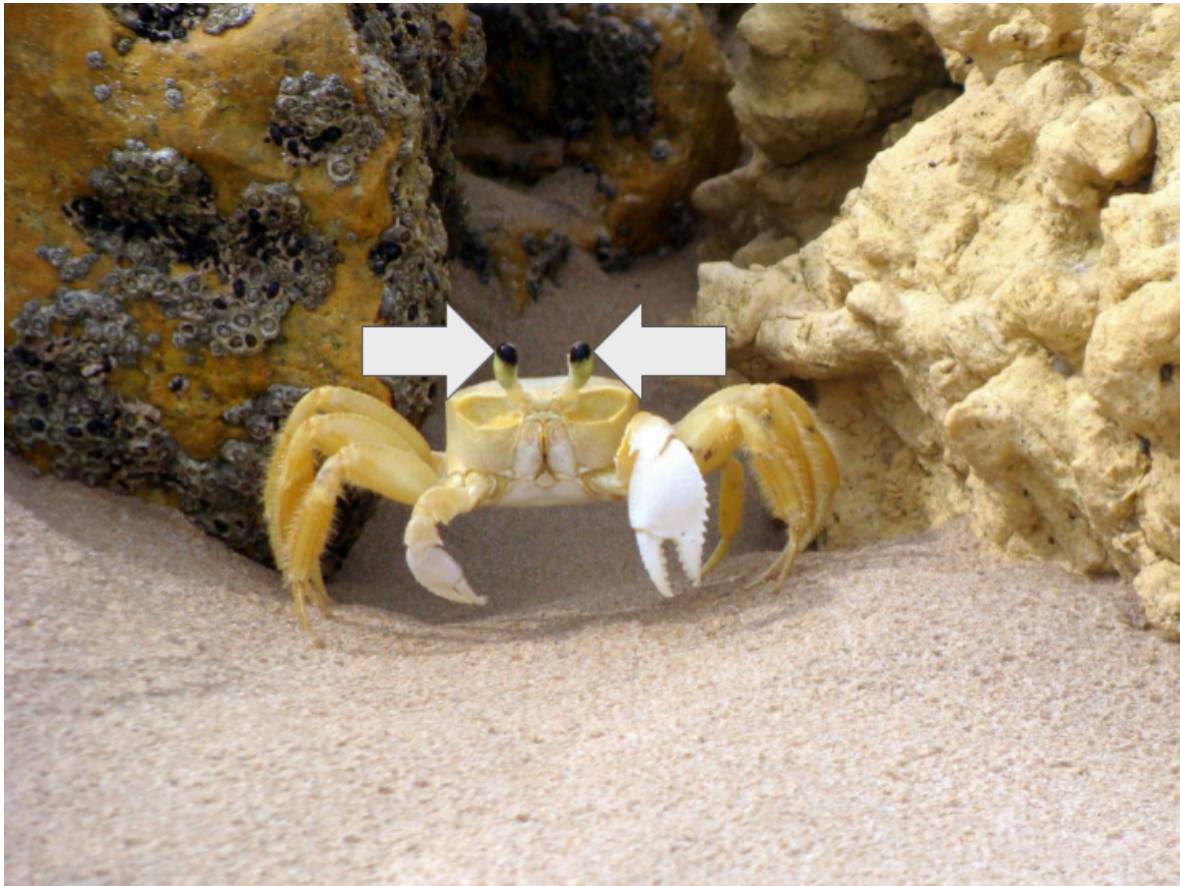


Figure 3: Crab Maria Farinha (*Ocypode quadrata*) and its long peduncular eyes (white arrows).

Source: Wikipedia Commons, Available at: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Caranguejo_Maria_Farinha_na_areia_da_praia.jpg

The study of eyes enables not only an understanding of sensory structures and behaviors in the animal kingdom. It is possible, through understanding different visual systems, to create technologies such as cameras and other optical devices. One of the study models, the popularly known tamarutaca (*Odontodactylus scyllarus*) inspired the development of a camera that could potentially assist in the early detection of cancer. Researchers at Washington University and the University of Illinois (USA) used eyes capable of detecting ultraviolet light (that humans cannot detect) and different types of photoreceptors to replicate eye structures and create low-cost cameras.⁵ The technology aims to utilize polarization of light – light waves that present its vibrations on a single plane – to distinguish healthy from

cancerous tissues, in a biosensor that can detect small changes on the polarization of light, which could indicate early cancer formation.

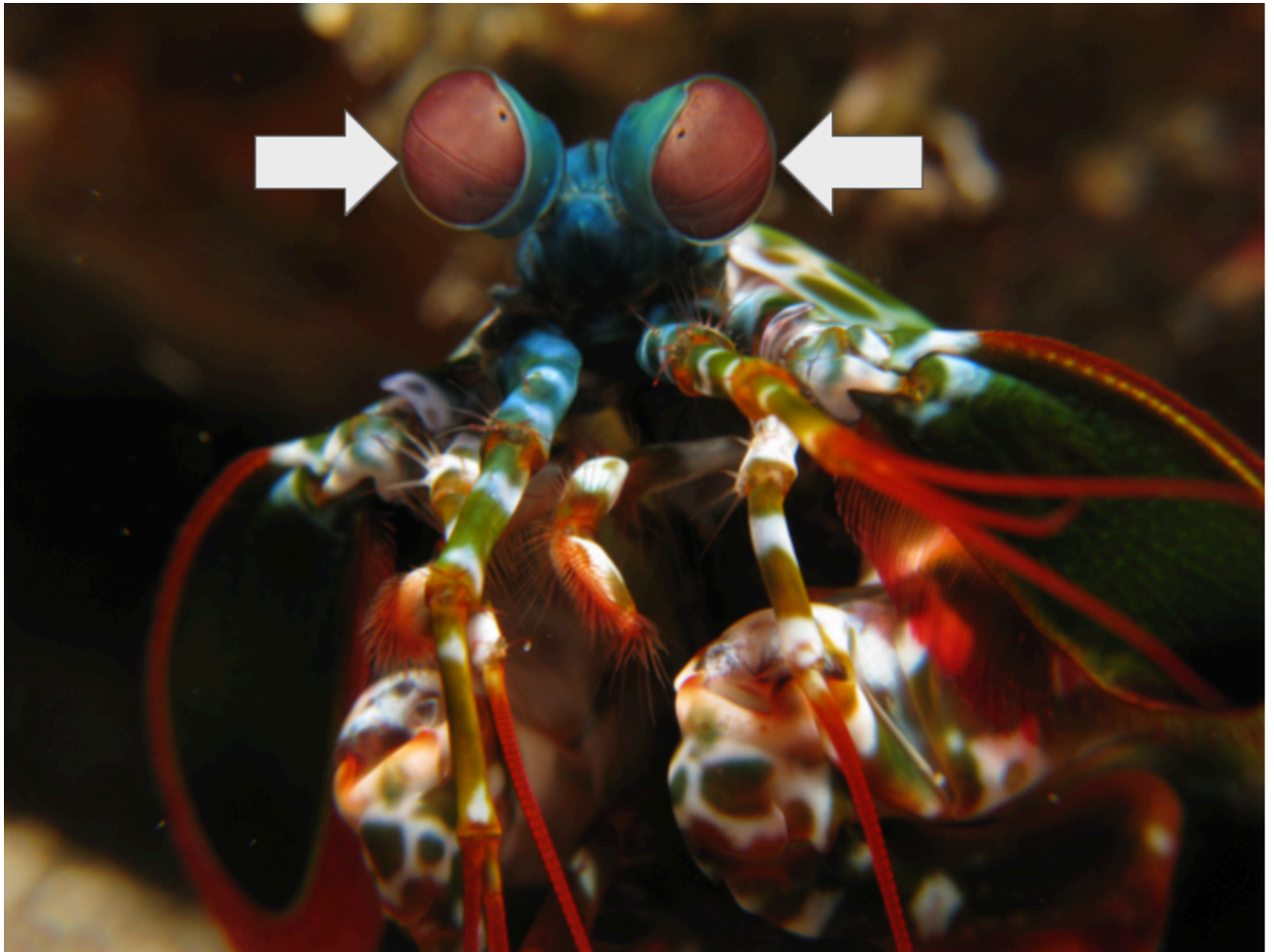


Figure 5: *Odontodactylus scyllarus* and its eyes (white arrows).

Source: Wikimedia Commons. Available at: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Mantis_shrimp_%28Odontodactylus_scyllarus%29.jpg

This is one of the examples of technologies developed from the study of visual systems. Other sensing systems in terrestrial and aquatic environments were also inspired by the animal kingdom or even the road sign known as the cat's eye (Figure 6), which uses the reflection of light from car headlights to signal the limits of the road during the night, just like what happens when you shine a light at a cat's eyes during the night. This happens due to a structure located behind the retina, the tapetum.

The tapetum is a mirror-like structure that reflects the light that was focused by the lens one more time to the retina, redirecting the light to photoreceptors, and creating the glow that we see when we look at a cat eye's at night (Figure 7). The tapetum is a structure found usually in animals that are active at night, such as vertebrates and arthropods. Common among

spiders, especially on the night hunter species, such as the wolf spider (Figure 2), the structure is present on the secondary eyes, which function as low-light detectors to locate both prey and predators. This allows the retina to capture the photons that could have been missed the first time.²



Figure 6: Cat's eyes

Fonte: Flickr. Disponível em: https://live.staticflickr.com/7557/16098269242_c3b7e6bd94_b.jpg



Figure 7: The reflection at a cat's eyes during the night.

Source: Wikimedia Commons. Available at: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Reflection_of_light_from_cat%27s_eye.jpg

There is a saying that "Imitation is the sincerest form of flattery". The diverse designs found in nature serve as inspiration for human beings in different areas of knowledge, from engineering to architecture. With an area of science of its own, biomimetics, we learn through observation and systematic studies, and we lean on the shoulders of the greatest giant to see further, nature itself.

¹ Leech, D. M., & Johnsen, S. (2022). Light as an Ecological Resource. *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)*, Elsevier, 2022, 237-256

² Land, M. F., & Nilsson, D. E. (2012). *Animal eyes*. OUP Oxford.

³ Fay, D. L. (1967). Visual ecology. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.

⁴ Nilsson, D. E. (2009). The evolution of eyes and visually guided behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1531), 2833–2847.

⁵ Garcia, M., Edmiston, C., Marinov, R., Vail, A., & Gruev, V. (2017). Bio-inspired color-polarization imager for real-time in situ imaging. *Optica*, 4(10), 1263-1271.

Discussão Geral e Conclusões

No primeiro capítulo, obtivemos resultados que demonstram a repulsão em dois comprimentos de onda específicos, que equivalem aos picos de sensibilidade primária e secundária dos fotorreceptores dos animais. Demonstramos também que as respostas mais expressivas são obtidas em luzes com intensidades maiores, independentemente do comprimento de onda, e que a partir dessas propriedades luminosas é possível obter respostas comportamentais dos animais.

No segundo capítulo, exploramos a visão do ponto de vista morfológico, considerando a evolução desses sistemas guiada pelas tarefas visuais em uma perspectiva de divulgação científica. A partir desse estudo, é possível identificar avanços tecnológicos inspirados no design óptico animal como uma consequência dos avanços da ciência de base e do entendimento crescente acerca desses sistemas, área conhecida como biomimetismo. Ao direcionar o artigo para um público mais jovem, é possível despertar interesse e atrair jovens para a área das ciências biológicas, e ainda exemplificar a diferença entre a ciência de base e a ciência aplicada, a relação entre elas e a importância de cada uma.

Entender sistemas visuais de diferentes animais possibilita não apenas o avanço da compreensão humana acerca da natureza, mas também abre portas para novas áreas de estudo. Aqui, através de estudos fisiológicos que descrevem o sistema visual de escorpiões, foi possível investigar um potencial método de controle para animais de importância médica crescente no país. Em especial ao tratar de temas que são, ou podem ser de interesse público, a divulgação científica tem papel fundamental na democratização do acesso à produção científica e em como esses avanços estão atrelados à sociedade.

Resumo

O escorpionismo, doença negligenciada, afeta milhares de pessoas por ano em todo o planeta. Em especial no Brasil, nota-se um crescimento de casos nos últimos anos, atribuído principalmente para a espécie de importância médica, *Tityus serrulatus*. Conhecido como escorpião amarelo, esse é um animal que apresenta veneno composto por diversas substâncias, com manifestações sistêmicas que podem ser leves, moderadas ou graves, podendo levar ao óbito.

Diante disso, grande parte dos esforços contra essa doença centram-se em medidas de controle ao animal, e empregam-se geralmente métodos químicos de controle, como o uso de pesticidas, e em locais de infestação, ocorre a coleta manual por órgãos de saúde, com o objetivo da retirada dos animais da região, uma vez que o controle químico não é recomendado pelo Ministério da Saúde.

Métodos alternativos, como o controle físico, já são utilizados para insetos em contextos agrícolas, que utilizam diferentes propriedades luminosas combinadas para controle desses animais. Utilizando propriedades luminosas como comprimento de onda, irradiância absoluta e tempo de exposição, registramos as respostas comportamentais de escorpiões amarelo para investigar o potencial de propriedades luminosas como um possível método de controle físico para *Tityus serrulatus*.

Os animais foram testados em arenas com LEDs verde, vermelho ou violeta, para atração ou repulsão, em trials gravados durante trinta minutos. O tempo gasto por cada animal em cada setor da arena foi registrado, e as respostas comportamentais significativas mostraram repulsão tanto para a luz verde, quanto para a luz violeta. Esses resultados, que podem ser atribuídos ao comprimento de onda e a irradiância absoluta dos LEDs coincidem com os picos de resposta primária e secundária, respectivamente, dos fotorreceptores desses animais, o que demonstra a importância e a necessidade de outras investigações das possíveis aplicações do método luminoso para controle de escorpiões.

Abstract

Scorpionism, a neglected disease, affects thousands of people every year across the planet. Particularly in Brazil, there has been an increase in cases in recent years, attributed mainly to the medically important species, *Tityus serrulatus*. Known as the yellow scorpion, this is an animal that presents venom composed of several substances, with systemic manifestations that can be mild, moderate or severe, and can lead to death.

Therefore, a large part of the efforts against this disease focus on animal control measures, and chemical control methods are generally used, such as pesticides, and in places of infestation, manual collection occurs by health agencies, with the aim of removing animals from affected region, since chemical control is not recommended by the Ministry of Health.

Alternative methods, such as physical control, are already used for insects in agricultural contexts, which use different light properties combined to control these animals. Using light properties such as wavelength, absolute irradiance, and exposure time, we recorded the behavioral responses of yellow scorpions to investigate the potential of light properties as a possible physical control method for *Tityus serrulatus*.

The animals were tested in arenas with green, red or violet LEDs, for attraction or repulsion, in trials recorded for thirty minutes. The time spent by each animal in each sector of the arena was recorded, and significant behavioral responses showed repulsion to both green and violet light. These results, which can be attributed to the wavelength and absolute irradiance of the LEDs, coincide with the primary and secondary response peaks, respectively, of the photoreceptors of these animals, which demonstrates the importance and need for further investigations into the possible applications of the method. luminous for scorpion control.

Referências Bibliográficas

- Braga-Pereira, G. F., Vidigal, T. H. D. A., Santos, F. R., & Santos, A. J. (2019). Is the parthenogenesis of the yellow scorpion (*Tityus serrulatus*) promoted by endosymbiont bacteria (*Wolbachia sp.*)? *Journal of Arachnology*, 47(2), 284–289.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Articulação Estratégica de Vigilância em Saúde. Guia de Vigilância em Saúde [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Articulação Estratégica de Vigilância em Saúde. – 5. ed. rev. e atual. – Brasília : Ministério da Saúde, 2022.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Manual de controle de escorpiões / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília: Ministério da Saúde, 2009.
- Brasil. Portaria De Consolidação Nº 4, De 28 De Setembro De 2017. Redação dada pela PRT GM/MS nº217 de 01.03.2023. Consolidação das normas sobre os sistemas e os subsistemas do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, [2017].
- Brasil. Portaria nº 1.172, de 15 de junho de 2004. Regulamenta a NOB SUS 01/96 no que se refere às competências da União, Estados, Municípios e Distrito Federal, na área de Vigilância em Saúde, define a sistemática de financiamento e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde, [2004].
- Brazil, T. K., & Porto, T. J. (2010). Os escorpiões. Edufba.
- Chippaux, J. P., & Goyffon, M. (2008). Epidemiology of scorpionism: A global appraisal. *Acta Tropica*, 107(2), 71–79.
- Cronin, T. W., Johnsen, S., Marshall, N. J., & Warrant, E. J. (2014). *Visual ecology*. Princeton University Press.
- Cupo, P. (2015). Clinical update on scorpion envenoming. *Revista da sociedade brasileira de medicina tropical*, 48, 642-649.
- Dănilă, E., & Lucache, D. D. (2016). Efficient lighting system for greenhouses. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, 439-444.
- DATASUS. (2023). Ministério da Saúde/SVS - Sistema de Informação de Agravos de Notificação - Sinan Net.
- De Souza, C. A. R., Candido, D. M., Lucas, S. M., & Brescovit, A. D. (2009). On the *Tityus stigmurus* complex (scorpiones, Buthidae). *Zootaxa*, 1987(1), 1-38.
- Dias, E., Libanio, S., & Lisbôa, M. (1924). *Lucta contra os Escorpiões*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 17, 5-44.
- Dias, S. C., Candido, D. M., & Brescovit, A. D. (2006). Scorpions from Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba, Brazil, with ecological notes on a population of *Ananteris mauryi* Lourenço (Scorpiones, Buthidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 23, 707-710.
- Dupre, G. 2020. Les prédateurs des scorpions (Arachnida: Scorpiones). *Arachnides*, 94, 8-32
- Dusenbery, D. B. (1992). *Sensory ecology: How organisms acquire and respond to information*. New York: W.H. Freeman.
- Feynman, R. P. (2006). *QED: The strange theory of light and matter (Vol. 90)*. Princeton

University Press.

Fleissner, G. (1977a). Scorpion lateral eyes: Extremely sensitive receptors of Zeitgeber stimuli. *Journal of comparative physiology*, 118(1), 101-108.

Fleissner, G. (1977b). The absolute sensitivity of the median and lateral eyes of the scorpion, *Androctonus australis* L. (Buthidae, Scorpiones). *Journal of Comparative Physiology ? A*, 118(1), 109–120.

Freeman, M. H., Hull, C. C., & Charman, W. N. (2003). *Optics*, 11th edition. *Optics*, 11th Edition, 1–563.

Hill, E. F. (2003). Wildlife toxicology of organophosphorus and carbamate pesticides. *Handbook of ecotoxicology*, 281-312.

Johnsen, S. (2012). The optics of life. In *The Optics of Life*. Princeton University Press.

Land, M. F. (1985). The morphology and optics of spider eyes. *Neurobiology of arachnids*, 53-78.

Land, M. F., & Nilsson, D. E. (2012). *Animal eyes*. OUP Oxford.

Lehmann, T., & Melzer, R. R. (2013). Looking like *Limulus*? –Retinula axons and visual neuropils of the median and lateral eyes of scorpions. *Frontiers in Zoology*, 10(1), 1-14.

Loria, S. F., & Prendini, L. (2014). Homology of the lateral eyes of scorpiones: A six-ocellus model. *PLoS ONE*, 9(12), 1–30.

México, D.F., a, 23 de noviembre de 2011. - El Subsecretario de Prevención y Promoción de la Salud y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Prevención y Control de Enfermedades, Mauricio Hernández Avila

Morehouse, N. (2020). Spider vision. *Current Biology*, 30(17), R975-R980.

Murayama, G. P., Pagoti, G. F., Guadanucci, J. P. L., & Willemart, R. H. (2022). Voracity, reaction to stings, and survival of domestic hens when feeding on the yellow scorpion (*Tityus serrulatus*). *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 28, e20210050.

Nilsson, D. E. (2009). The evolution of eyes and visually guided behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1531), 2833–2847.

Pimenta, R. J. G., Brandão-Dias, P. F. P., Leal, H. G., do Carmo, A. O., de Oliveira-Mendes, B. B. R., Chávez-Olórtegui, C., & Kalapothakis, E. (2019). Selected to survive and kill: *Tityus serrulatus*, the Brazilian yellow scorpion. *PLoS ONE*, 14(4), 1–10.

Pinto-da-Rocha, R., Barreiros, J. A., Araújo, C., & Bonaldo, A. (2007). Arthropoda, Arachnida, Scorpiones: Estação Científica Ferreira Penna and Juruti Plateau, Pará, Brazil. *Check List*, 3(2), 145-146.

Polis, G. A. (1990). The biology of scorpions.

Pucca, M. B., Cerni, F. A., Pinheiro Junior, E. L., Bordon, K. D. C. F., Amorim, F. G., Cordeiro, F. A., Longhim, H. T., Cremonez, C. M., Oliveira, G. H., & Arantes, E. C. (2015b). *Tityus serrulatus* venom - A lethal cocktail. *Toxicon*, 108, 272–284.

Pucca, M. B., Oliveira, F. N., Schwartz, E. F., Arantes, E. C., & Lira-da-Silva, R. M. (2015a). Scorpionism and Dangerous Species of Brazil. *Scorpion Venoms*, 299–324.

Ramires, E. N., Navarro-Silva, M. A., & de Assis Marques, F. (2011). Chemical control of spiders and scorpions in urban areas. *Pesticides in the Modern World - Pests Control and*

Pesticides Exposure and Toxicity Assessment.

Ramsey, J. M., Salgado, L., Cruz-Celis, A., Lopez, R., Alvear, A. L., & Espinosa, L. (2002). Domestic scorpion control with pyrethroid insecticides in Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 16(4), 356–363.

Roderick, G. K., & Navajas, M. (2003). Genes in new environments: Genetics and evolution in biological control. *Nature Reviews Genetics*, 4(11), 889–899.

Root, T. M. (1990). *Neurobiology. The biology of scorpions*, 341-413.

Ruppert E. E., Fox R. S., Barnes R. D. (2004). *Invertebrate zoology: a functional evolutionary approach*. 7th edition. Belmont: Thomson-Brooks/Cole.

Schliwa, M., & Fleissner, G. (1980). The lateral eyes of the scorpion, *Androctonus australis*. *Cell and Tissue Research*, 206(1).

Shimoda, M., & Honda, K. I. (2013). Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied entomology and zoology*, 48, 413-421.

Solórzano, A., Greene H. W. (2012). Predation in nature by a scorpion-hunter *Stenorrhina freminvillei* (Serpentes, Colubridae). *Cuadernos de Investigacion UNED*, 4(1), 31-32.

Spreitzer, A., & Melzer, R. R. (2003). The nymphal eyes of *Parabuthus transvaalicus purcell*, 1899 (buthidae): An accessory lateral eye in a scorpion. *Zoologischer Anzeiger*, 242(2), 137–143.

Turusov, V., Rakitsky, V., & Tomatis, L. (2002). Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence, and risks. *Environmental health perspectives*, 110(2), 125-128.

Weinzierl, R., Henn, T., Koehler, P. G., & Tucker, C. L. (2005). Insect attractants and traps.

World Health Organization. (2007). Rabies and envenomings: a neglected public health issue: report of a consultative meeting, World Health Organization, Geneva, 10 January 2007. World Health Organization.

Zwicky, K. T. (1968). A light response in the tail of *Urodacus*, a scorpion. *Life Sciences*, 7(6), 257-262.

Zwicky, K. T. (1970). The spectral sensitivity of the tail of *Urodacus*, a scorpion. *Experientia*, 26(3), 317.