

BIOLUMINESCÊNCIA NOS INSETOS

Vadim L. R. Viviani*

INTRODUÇÃO

A natureza com toda a sua perfeição é prodígio de fenômenos fascinantes, entre os quais a bioluminescência animal. A classe dos insetos é a que concentra o maior número de exemplares bioluminescentes. Quase todas as suas ordens possuem espécies luminescentes. Entre todas as mais conhecidas são: Collembola, Orthoptera (grilos, louva-deus, baratas e gafanhotos), Homóptera (cigarras e fulgorídeos), Lepidóptera (borboletas e mariposas), Diptera (moscas e pernilongos) e finalmente Coleóptera (besouros, vagalumes, etc), a mais rica.

Além da produção de luz, que consiste na emissão da mesma através de órgãos especializados para esta função por meio de reações químicas, há outro detalhe a esclarecer: a luz emitida por certos insetos pode ser o resultado da ingestão ou infecção de alguns organismos luminescentes. A luz produzida através de órgãos especializados, pode ser regulada pelo organismo emissor quanto à sua intensidade, cor e periodicidade de emissão. No caso de infecção, por exemplo por bactérias luminescentes, a luz é contínua e constante. A luminescência não apresenta localização definida, podendo encontrar-se em diversas regiões do corpo do inseto, dependendo de onde se estabelece a infecção. Quando o inseto ingere qualquer outro organismo luminescente, a luminescência permanece limitada ao tubo digestivo. Dependendo da intensidade da luz, esta pode atravessar os tecidos a ser vista na superfície do corpo.

BIOQUÍMICA DA LUMINESCÊNCIA BIOLÓGICA

A oxidação de certos compostos orgânicos resulta na liberação de energia sob forma de luz. Os estudos de Raphael Dubois (no século passado), do E. Newton Harvey e principalmente de W. McElroy e associados

(*) Pontifícia Universidade Católica de Campinas — Departamento de Biologia
Av. John Boyd Dunlop s/nº CEP 13060 — Campinas, SP.

muito contribuíram para a compreensão da química da bioluminescência. No típico caso do vagalume, a luciferina (LH), composto termoestável, associa-se à luciferase, enzima termolábil do grupo das oxidases e ao ATP (Trifosfato de Adenosina), que perderá dois grupamentos fosfato para ficar AMP (Monofosfato de Adenosina). A ação catalítica da luciferase faz com que a luciferina se oxide pelo oxigênio molecular. O complexo então dissocia-se, com a eliminação de uma molécula de dióxido de carbono e a oxiluciferina resultante excita-se. Durante a desexcitação ocorre a emissão de um quantum de luz por molécula de luciferina oxidada. Um rendimento quântico superior a 90% justifica o uso do termo "luz fria".

Nos vagalumes o tipo de luciferase determina a cor da luz, sendo que a luciferina não varia dentro de uma mesma família. Entretanto, nos diversos organismos bioluminescentes, as substâncias fotogênicas variam consideravelmente.

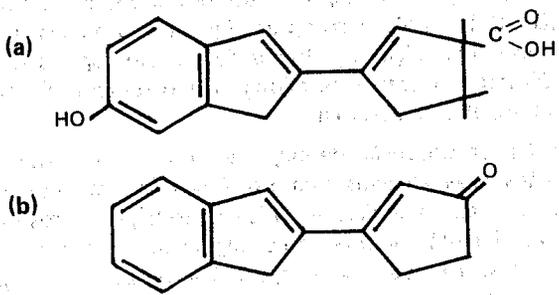


Figura 1 – Estrutura da luciferina (a) e da oxiluciferina (b).

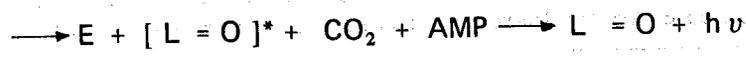
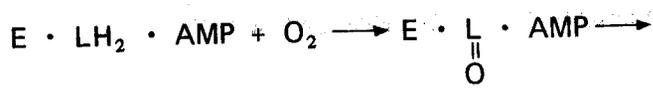
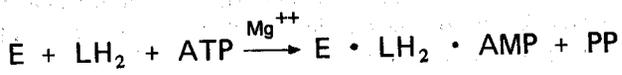


Figura 2 – Etapas da reação bioluminescente.

COLLEMBOLA

Um grande número de espécies tem sido descritos como luminescentes nesta ordem. Os exemplos mais conhecidos são *Neanura* sp e *Lipura* sp.

Barber (1913) observou uma espécie de *Anurida*, com uma luminescência verde-amarelada e *Neanura quadriculata*, um collembolo de 1mm de comprimento, que emitia fracos lampejos. Stammer e Heidt (1935) descreveram uma forte luminescência que cobria uniformemente a cabeça de *Neanura muscorum*. Periodicamente a luz aparecia e durava de 5 a 10 segundos. Este último é o único caso comprovado no grupo em que a luminescência é emanada pelo próprio inseto. As outras espécies citadas como luminescentes na literatura, são casos em que é mais provável que a emissão de luz seja devida à ingestão de organismos luminosos. O exemplo mais significativo é de collembolos que vivem em torno de madeira infestada por fungos luminescentes que constituem seus principais alimentos.

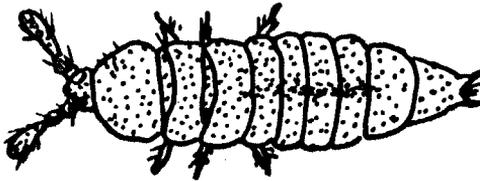


Figura 3 — *Lipura*, um collembolo luminescente

ORTHOPTERA

Kirby e Spence (1817) relataram o caso de um grilo com luminescência na Inglaterra. Posteriormente, Ludwig (1881) descreveu uma outra espécie de grilo que possuía um ponto assimétrico do lado direito do corpo, com luminescência branco-amarelada, a qual tinha muitas características em comum com uma infecção bacteriana que atingia certos quironomídeos. Até agora pouco se sabe sobre a luminescência em grilos. Possivelmente trata-se de casos de infecção por bactérias bioluminescentes.

Em 1984, em Campinas (SP), observei um louva-deus à noite, que possuía intensa luminescência esverdeada no protórax. A luz foi enfraquecendo enquanto deslocava-se em direção à região posterior do inseto, até desaparecer em cerca de duas horas. Logo compreendi que se tratava de um vagalume ingerido pelo louva-deus, pois estes são ávidos predadores destes coleópteros.

HOMOPTERA

Dentro desta ordem encontramos a legendária "jequitiranaboia" (*Fulgora laternaria*). É encontrada na região central no Brasil em épocas quentes e úmidas. Devido ao seu aspecto característico, com a cabeça assemelhando-se a de um réptil e as asas assemelhando-se as de mariposas, tem sido atribuído a este inseto nomes como "cobra-voadora", "jequitiranabóia", etc. Além da aparência amedrontadora, a presença de luminescência tem atemorizado por muito tempo os nativos havendo muitas lendas citando o inseto como venenoso ou até como mau espírito.

Muito se tem discutido sobre a luminescência deste fulgorídeo, cujos relatos datam desde o séc. XVIII. Hoje sabe-se que a luminescência deste inseto é real e que o órgão de luz acha-se situado em uma protuberância da cabeça. Outros fulgorídeos são citados como emissores de luz. Na China encontra-se *Pyrops candelaria*, que é vista de maio a agosto, possuindo luminescência azulada. Frequentemente tem sido nomeado "flying elephant (elefante voador)". Na África também são conhecidos representantes luminescentes da família.

LEPIDOPTERA

Em certas regiões do Brasil é comum ouvir-se falar em "lagartas de fogo". Certas larvas de lepidópteros tem luminescência limitada a cada segmento do corpo, abundante nos meses de outubro e novembro, no sul do Brasil. É provável que a maior parte destes relatos sejam referências errôneas às larvas "trenzinho" (Coleóptera: Phengodidae). Contudo, mesmo nos casos autênticos, ainda é desconhecida a origem desta luminescência.

Outro caso conhecido entre os lepidópteros, é a eliminação de uma secreção com luminescência verde-amarelada, por glândulas protorácicas de adultos de *Arctia caja*. Tal luminescência ainda não foi estudada, tendo sido relatada unicamente por Isaak (1916). Também parece resultar de uma infecção bacteriana.

DIPTERA

As larvas de *Arachnocampa luminosa* são bem conhecidas pelos turistas que alguma vez tiveram a oportunidade de conhecer as cavernas de Waitomo, na Nova Zelândia. Estas são encontradas aos milhares pendu-

radas no teto das grutas através de filamentos que as próprias larvas construíram. Quando algum ruído quebra o silêncio, imediatamente todas as larvas emitem luz.

A luminescência nesta espécie de micetophilideo parece estar relacionada com a captura de alimento. Os filamentos construídos pelas larvas, de aproximadamente 5cm de comprimento, são constituídos de material pegajoso contendo ácido oxálico. Um inseto que eventualmente esteja em vôo nas proximidades é atraído pela luz da larva e colidindo com o seu filamento, ficará preso. A larva então se alimenta. Em certas ocasiões a luz pode servir também para afastar possíveis inimigos, como relatou Hudson (1891), e na atração sexual.

Os ovos são depositados juntamente com muco no teto das grutas. A larva logo após a eclosão traça seu filamento onde ficará suspensa, à espera de alimento (pequenos insetos). Durante a fase adulta somente a fêmea conserva a luminescência, que porém desaparece após dois dias. As pupas também são luminescentes, no entanto a luz é intermitente.

Os órgãos emissores de luz estão situados na dilatada região terminal dos tubulos de Malpighi, no último segmento. Sua luminescência pode ser visualizada na superfície dorsal. Em estrutura assemelham-se aos órgãos dos vagalumes. Na superfície ventral existe uma camada de células refletoras, alimentada por dois grandes troncos traqueais, nas larvas. Nos adultos os troncos traqueais desaparecem e o refletor fica maior. Além da função que o próprio nome indica, o refletor parece levar oxigênio para as células fotogênicas, sendo esta atividade regulada pelos nervos. As células fotogênicas são hialinas com muitas mitocôndrias e sem granulações no citoplasma como nos vagalumes.

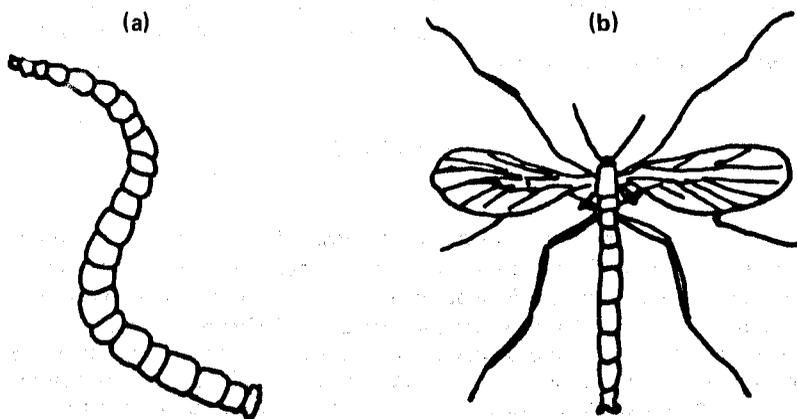


Figura 4 — *Arachnocampa luminosa*, larva (a) e adulto (b)

Ceroplatus nipponensis é outro micetophilídeo dotado de luminescência. A larva desta mosca japonesa vive debaixo do fungo de madeira *Polyporus unguatus*, alimentando-se de esporos do mesmo. Os órgãos fotógenos são constituídos por corpos de células adiposas, com granações luminosas em seus citoplasmas, em volta do tubo digestivo.

Os quironomídeos constituem outra família de mosquitos, na qual foram encontrados insetos com bioluminescência. Até o momento não se tem prova suficiente da presença de órgãos emissores de luz nos mesmos. Atribue-se a luminescência a mais um caso de infecção bacteriana.

COLEOPTERA

O maior número de insetos bioluminescentes é encontrado neste grupo. Na família Carabidae encontramos os besouros do gênero *Brachinus* que são conhecidos por liberarem vapores crepitantes de fosforescência azulada, sob pressão, pela glândula anal. Tal característica valeu-lhes o apelido de "besouros bombardeiros". Apesar disto, não podem ser tomados como casos de bioluminescência propriamente dita. Outras famílias como Staphilynidae e Paussidae apresentam exemplares luminescentes, no entanto foram pouco estudadas.

Nesta ordem encontramos as três grandes famílias de vagalumes e pirilampos: Lampyridae, Elateridae e Phengodidae. As espécies principalmente das duas primeiras foram e continuam sendo objetos de estudo da bioluminescência. Telegeusidae e Homalidae constituem duas famílias emparentadas com os lampirídeos e fengodídeos que possuem também espécies luminescentes. O mesmo sucede com a família Trixagidae, muito próxima dos elaterídeos.

LAMPYRIDAE

Os vagalumes propriamente ditos, são besouros de tamanho variável entre 5 e 30mm de comprimento, de tegumento mole com luminescência limitada ao 5º, 6º e as vezes o 7º segmentos abdominais. Pertencem à família dos lampirídeos com cerca de 2000 espécies, encontradas desde regiões de clima temperado até os trópicos, onde mais abundam. No Brasil cerca de 350 espécies foram catalogadas sendo que na América do Sul, o pressuposto berço geográfico da família, calcula-se que mais que o dobro de espécies já descritas tenham ainda que ser classificadas (Loyd, 1978).

Seus habitats incluem campos, cerrados, matas e principalmente locais úmidos e alagadiços como brejos. Normalmente apresentam hábitos noturnos e durante o dia escondem-se na parte baixa da vegetação.

O intermitente sinal luminoso dos vagalumes tem como função a atração sexual, podendo servir também para intimidar inimigos. Durante as quentes e úmidas noites de verão e primavera, os machos sobrevoam a vegetação lampejando num ritmo que é característico de cada espécie, à procura de uma fêmea. Eventualmente uma fêmea entre as folhagens, que em algumas espécies pode ser áptera e larviforme, responderá ao macho através de sinais luminosos idênticos. O parceiro pousa então nas proximidades, sempre sinalizando em correspondência com a fêmea, até que o acasalamento ocorra. Caso a companheira não deseje a cópula, emitirá seqüências de lampejos não correspondentes aos do macho. Em algumas espécies as fêmeas podem simular o sinal luminoso dos machos de outras espécies para poder atrair e então devorá-los, como acontece com a espécie americana *Photuris pennsylvanica*. Em regiões tropicais é relativamente comum o lampejar sincronizado de machos. O caso mais conhecido são as agregações de milhares de indivíduos de *Pteroptyx* no topo de árvores, no sudeste asiático. Outro caso ocorre com grupos de *Photinus sincronans* em vôo na Jamaica, que alternam-se com outros grupos. Com uma espécie brasileira de *Bicellonycha*, observei diversas vezes moitas repletas de vagalumes, nas quais um indivíduo começava a lampejar, sendo seguido progressivamente pelos outros até a sincronização total dos lampejos. O sincronismo dura pouco e é facilmente quebrado. Muitos outros casos semelhantes existem na região neotropical, sendo que ainda não foram descritos.

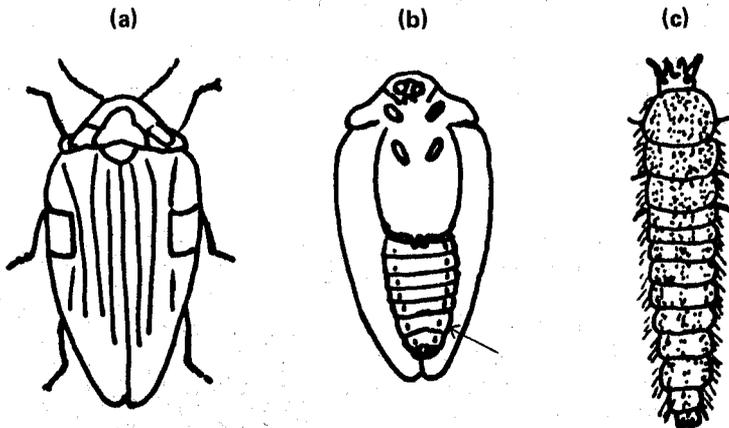
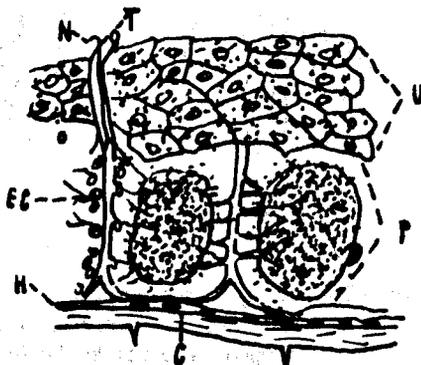


Figura 5 — *Aspisoma maculatum*, um lampirídeo comum em nossas regiões; vista dorsal (a), vista ventral evidenciando os órgãos fotógenos e larvas de *Photinus consanguineus*.

O ciclo vital de um vagalume pode variar de 5 meses a 2 anos. Os ovos por vezes apresentam uma fraca luminescência e em geral são depositados no solo debaixo de humus ou na porção basal da vegetação. Após um período de dez ou quinze dias de incubação, as larvas eclodem. Estas são onisciformes, apresentando placas quitinosas dorsais e a cabeça totalmente retrátil no interior do pronoto. Os órgãos fotógenos assumem a forma de duas vesículas esbranquiçadas no oitavo segmento abdominal. São de hábitos noturnos e são ativas a nível do solo ou na porção mais baixa da vegetação, em locais úmidos. Na dieta destas larvas predadoras entram caramujos, lesmas e outros pequenos invertebrados. Com suas fortes mandíbulas, a larva injeta na presa poderosas enzimas digestivas. O alimento parcialmente digerido é então ingerido. O brilho da larva geralmente é mais duradouro que no adulto, podendo durar vários segundos. É intermitente, sendo que estímulos mecânicos ou luminosos fazem a larva brilhar. Durante a fase de pupa, cujo período pode variar de 7 a 15 dias, também ocorre luminescência, porém muitas vezes só ocorre quando é estimulada. No entanto, quando ocorre é contínua.

Os órgãos fotógenos dos lampirídeos apresentam-se como uma região esbranquiçada ou amarelada cobrindo parcial ou totalmente o 5º e ou 6º e às vezes o 7º segmentos abdominais. São altamente especializados apresentando uma camada de células fotogénicas (corpos adiposos) com grânulos luminosos em seus citoplasmas muito vascularizada (traquéias, capilares) e percorrida por nervos também. Sobreposta a esta camada existe outra constituída de células refletoras que funcionam tal como o cone refletor dos faróis de automóveis, resultando num aumento de eficiência do lampejo. Finalmente, cobrindo o órgão fotógeno externamente existe uma fina epiderme transparente ou cutícula. Acredita-se que a emissão de luz deva-se às células terminais das traquéolas que admitem muito oxigênio

Figura 6 — Secção de um órgão fotógeno de *Photinus consanguineus* Traquéia (T), nervo (N), camada de células refletoras (U), camada de células fotogénicas (P), células terminais da traquéia (EC), hipoderme (H) e cutícula (C).



nas células fotogênicas (Dahlgren, 1917), e aos nervos, cujos estímulos excitam estas últimas células. O controle do mecanismo de admissão de oxigênio nas células fotogênicas também se dá por atividade nervosa.

O espectro de emissão dos vagalumes, incluindo elaterídeos e fengodídeos, é contínuo variando do laranja-avermelhado para o verde azulado, com comprimentos de onda de $\lambda = 468\text{nm}$ até $\lambda = 660\text{ nm}$. Para os lampirídeos as cores compreendidas entre o amarelo e o verde são mais comuns.

ELATERIDAE

Os elaterídeos são besouros com tegumento duro e forma característica. A presença de uma articulação especial entre o protórax e o mesotórax dá a estes besouros a notável faculdade de saltar para cima, quando colocados de dorso para o chão, valendo-lhes o nome popular de "salta-martim". Apesar do grande número de espécies, aproximadamente 7000, apenas 200 destas, pertencentes às subfamílias Pyrophorinae e Campyloxeninae (Costa, 1975), são luminescentes. Os membros destas subfamílias são coletivamente conhecidos por "pirilâmpos", sendo que o termo vagalume também é usado, porém é menos apropriado. Estruturalmente, os órgãos emissores de luz são semelhantes aos dos lampirídeos e fengodídeos. Apresentam a forma de duas vesículas localizadas uma em cada lado externo na região posterior do protórax. Existe ainda um terceiro órgão, localizado no primeiro segmento abdominal, na separação com

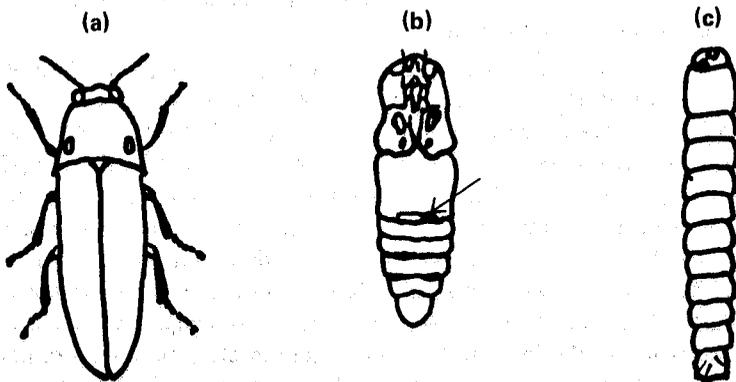


Figura 7 — *Pyrophorus noctilucus*; vista dorsal (a), vista ventral (b) e larva evidenciando os órgãos fotógenos.

o metatórax. Este último só entra em atividade quando o inseto está voando e geralmente tem uma tonalidade de luz amarelo-alaranjada, enquanto que as vesículas torácicas tendem para o verde. A luminescência destes besouros é contínua, ao contrário dos lampirídeos que lampejam. O tamanho destes pirilampos quase exclusivamente americanos é variável, sendo que algumas espécies são bem grandes como é o caso do famoso *Pyrophorus noctilucus*, na América do Sul e Central, com 50mm. *Photophorus* é o único elaterídeo luminescente conhecido fora do continente americano, sendo encontrado na Oceânia.

Tal como nos lampirídeos, nos elaterídeos a luz também serve para a corte sexual. As fêmeas, com suas lanternas protorácicas acesas esperam por um macho na vegetação. Ao visualizar as vesículas fosforescentes da companheira, o macho com sua intensa luz abdominal dirige-se até a mesma, voando em círculos até que pouse nas proximidades para se acasalar. O vôo nupcial é rápido, não durando mais de dez minutos, nos quais observam-se os pirilampos machos voarem velozmente pelos campos com suas intensas luzes abdominais acesas. A potente luz emitida pelos órgãos protorácicos dá a estes besouros uma das mais eficientes armas para afastar inimigos.

O ciclo vital dos elaterídeos é bastante demorado. Os ovos são depositados debaixo de troncos caídos em deterioração ou de detritos vegetais no solo. Após 15 dias de incubação ocorre a eclosão. As larvas, cilíndricas e branco-amareladas possuem luminescência cobrindo quase totalmente o segmento protorácico e os segmentos abdominais apresentam um ponto, em cada lado externo, de luminescência esverdeada. De início alimentam-se de pequenos invertebrados e em estágio avançado predam larvas de outros besouros. O estágio larval dura em torno de dois anos. O período pupal que dura de 15 a 30 dias dependendo da espécie, também é marcado por forte luminescência.

Nos cerrados da região central do Brasil e parte da Amazônia, ocorre o interessante fenômeno dos cupinzeiros luminescentes. Nas noites quentes e úmidas centenas de larvas do pirilampo *Pyrearinus termitiluminans*, que estão presentes no interior de galerias dos cupinzeiros, expõem seus tórax na boca dos túneis. Os cupinzeiros vistos à noite assemelham-se a árvores de Natal, repletos de pontos luminosos verdes espalhados pela sua superfície. Ao deparar com esses campos de murunduns nas primeiras horas da noite, tem-se a impressão de estar vendo uma cidade cheia de edifícios. As larvas utilizam sua luz para atrair pequenos insetos voadores das vizinhanças (Redford, 1982). Caso algum inseto pouse nas proximidades do túnel da larva, logo é abocanhado pela mesma e é levado para o interior da galeria. As galerias construídas pelas larvas são independentes daquelas dos térmitas.

PHENGODIDAE

Os membros desta família muitas vezes apresentam verdadeiros espetáculos na natureza. Muito próximos dos lampirídeos, são caracterizados por apresentarem luminescência amplamente distribuída.

Os machos possuem élitros muito curtos em relação ao comprimento do corpo e antenas biflabeladas, tendo um aspecto característico. A luminescência, ao contrário da maioria dos lampirídeos, é mais desenvolvida nas fêmeas. Geralmente possuem dois pontos de luminescência amarelo-esverdeada em cada segmento abdominal, como é o caso de *Astraptor* sp e *Phengodes* sp. Entretanto, no cerrado central do Brasil (Parque Nacional das Emas, Goiás), observou-se um macho de *Phrixotrix* que possuía o abdômen inteiramente luminescente, cuja luz era vermelha-alaranjada. As fêmeas (ápteras e larviformes) e as larvas são mais exuberantes. Nas espécies de *Phrixotrix* além de possuírem dois pontos de luminescência amarelo-esverdeado em cada segmento (um em cada borda do corpo), a cabeça fica totalmente vermelha, semelhante à ponta de um cigarro aceso. Frequentemente são apelidadas de "larvas trenzinho" pelo aspecto que assumem ao movimentarem-se rapidamente e vistas no escuro. Diversas larvas quando estão movimentando-se mantêm acesas as luzes de suas cabeças, sendo que quando são importunadas acendem o restante das luzes do corpo. A luminescência nos fengodídeos assume as mesmas funções que nas outras duas famílias, ou seja; atração sexual e defesa.

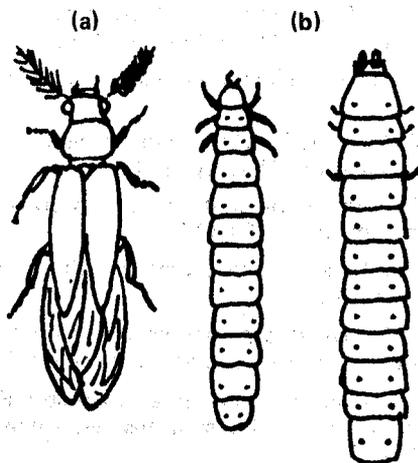


Figura 8 — Phangodes laticollis; macho adulto (a) e larva (b).

Os fengodídeos ocorrem quase unicamente na América, principalmente na região Neotropical, com alguns representantes asiáticos como *Diplocadon hasselti*, num total de pouco mais de 50 espécies. São de difícil criação e por isso seus ciclos de vida não foram bem estabelecidos, com excessão de algumas espécies. É uma pena que insetos bonitos como estes sejam tão raros.

Agradecimento ao Prof. José Cláudio Höfling pela orientação, sugestões e leitura do manuscrito.

Recebido para publicação em 30-6-87.

BIBLIOGRAFIA

- BARBER, H. S. 1913. Luminous Collembola. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 368.
- CLAYTON, K. R. 1971. Light and Living Matter. 2: 222-229. McGraw Hill. New York.
- COLEPICOLO, P. 1986. Contribuição ao Estudo de Espécies Brasileiras de Elaterídeos Luminescentes. pp. 19-32. Tese de Doutorado. Inst. Química/USP, S. Paulo.
- COSTA, C. 1975. Systematics and Evolution of the Tribes Pyrophorini and Heligmini, with Description of Campyloxeminae, New Subfamily (Coleoptera, Elateridae) *Arq. Zool.* 26 (2): 82-83, 114-115. MZUSP/S. Paulo.
- DAHLGREN, U. 1917. The Production of Light by Animals. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 420.
- HARVEY, N. E. 1952. *Bioluminescence*. Academic Press. New York. pp. 367-471.
- KIRBY, W & W. SPENCE. 1817. On Luminous Insects. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 371.
- LLOYD, E. J. 1971. Bioluminescent Communication in Insects. *Annual Review of Entomology*. 16: 97-114.
- LLOYD, E. J. 1978. Insect Bioluminescence. Univ. of Florida/Gainesville-USA. pp. 241-269.
- LUDWIG, F. 1891. Ube Die Phosphorescence Von *Grylotalpa vulgaris*. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 371.
- REDFORD, H. K. 1982. Prey Attraction as a Possible Function of Bioluminescence in the larvae of *Pyrearinus termitiluminans*. *Rev. Bras. Zool.* 1(1): 31-34.
- SPENCE, W. 1848. On the Luminosity of *Fulgora laternaria*. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 368.

STAMMER, H. J. 1935. Des Leuchten des Collembolen *Achorutes muscorum* Templ. In *Bioluminescence*. New York. Academic Press. pp. 368.

1947, Journal of the Royal Microscopical Society, 67, 19

Achorutes muscorum Templ.

1947, Journal of the Royal Microscopical Society, 67, 19

Achorutes muscorum Templ.

1947, Journal of the Royal Microscopical Society, 67, 19