



O BRILHO DA CIÊNCIA

BIOLUMINESCÊNCIA DE INSETOS

Bárbara Ferreira Lima
Gabriel Ferreira de Paiva
Isabella de Oliveira Escarminio
Maria Fernanda Valente Nolf
Mayara Orneles Silva
Renata de Oliveira Farves
Vida Magalhães Vieira

Outubro 2021 | volume 1

ÍNDICE

Prefácio.....	02
Dedicatória.....	02
I - Definição e exemplos	03
II - O mecanismo químico da emissão de luz nos insetos.....	05
III - Vagalumes: Tipos, cores e objetivos.....	07
IV - A bioluminescência na prática.....	10
V - Referências.....	12

PREFÁCIO

Ao longo desse ebook, você, leitor, se aventurará em assuntos como a química por trás das luzes dos vagalumes, trenzinhos e pirilampos, o comportamento desses insetos e os objetivos de sua bioluminescência, além de uma visão futurística das aplicações dessa área de estudo.

Tudo isso tendo como base o projeto do pesquisador brasileiro e professor sênior do Departamento de Bioquímica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Dr. Etelvino José Henriques Bechara. Sua pesquisa busca desvendar os mistérios da área de bioluminescência de insetos, de modo a abrir caminhos para o aprofundamento desse campo de estudo, não só em animais, mas também aplicado aos fungos.

DEDICATÓRIA

Gostaríamos de dedicar esse ebook ao pesquisador e professor Etelvino José Henriques Bechara, que nos auxiliou a embasar esse conteúdo por meio de seus artigos e da entrevista concedida ao grupo. À orientadora Melina Murgel e à professora Lílana Marzorati pela oportunidade de produzir esse trabalho. E por fim, dedicamos esse ebook ao estudo e divulgação da ciência no Brasil.



CAPÍTULO I

DEFINIÇÃO E EXEMPLOS

A bioluminescência representa a emissão de luz visível e fria por organismos vivos, entre eles: microorganismos; fungos; vertebrados e invertebrados marinhos; e insetos. Nesse contexto, será abordado esse fenômeno com três famílias de insetos da ordem Coleoptera: Lampyridae (vagalumes), Elateridae (pirilampos) e Phengodidae (trenzinhos) (**Figura 1**)

Esses insetos são estudados no ecossistema em que habitam, por meio da observação do comportamento da sua emissão de luz. Os meios de selecionar essas espécies são específicos para cada família de inseto, já que existem divergências quanto ao seu tamanho e comportamento. Os vagalumes são coletados por meio de redes de pano e puçás, de forma análoga à apresentada no desenho infantil “Bob Esponja”, conforme representado na **Figura 2**.



Figura 1: Famílias da ordem Coleoptera - A : vagalume; B: pirilampo; C: trenzinho. Fotos: Vadim Viviani (UFSCar) e Sérgio Vanin (IBUSP)



Figura 2: Bob Esponja com sua rede de caçar águas-vivas, semelhante a um puçá

As colorações emitidas pelos besouros luminescentes passam por comprimentos de onda dentro da faixa de luz visível, principalmente no intervalo entre 538 a 620 nm, o que corresponde ao verde (538 nm), verde-amarelado, amarelo, laranja e vermelho puro (620 nm)

Tais emissões têm objetivos intraespecíficos, isto é, entre indivíduos de uma mesma espécie, visando a atração sexual e o agrupamento, e interespecíficos, ou seja, entre indivíduos de espécies diferentes, a fim de atrair presas, repelir predadores ou camuflagem. Nesse contexto, há padrões de interação sexual, nos quais a fêmea, por ser sedentária, repousa sobre a vegetação e emite luz para o macho, atraindo-o; ou ainda, o macho, durante o voo, emite luz e atrai a fêmea.

Por sua vez, para a família dos pirilampos, a maneira utilizada para estudá-los ocorre por meio do uso de um tição de brasa, isto é, um pedaço de madeira queimando que atrai os insetos devido à luminosidade da brasa.

Uma forma alternativa e econômica para realizar a observação desses insetos é através do uso de um lençol estendido na vegetação, de modo a atraí-los com a luz emitida pela chama de um botijão de gás; ao se aproximarem do pano, os insetos ficam retidos facilmente. A fêmea dessas espécies representa o foco de procura de muitos cientistas, por ter a possibilidade de criar os insetos em laboratório e pesquisá-los durante toda a etapa do ciclo de vida.

As colorações podem sofrer alterações de acordo com fatores externos como a acidez, temperatura e a estrutura da enzima. Este último fator está relacionado com o controle da entrada de água em um componente específico dos insetos, a maior abertura dessa estrutura eleva o teor de água presente na proteína, levando a uma reação de energia moderada, que produz luz vermelha; já a menor abertura impede a entrada de água, resultando em uma reação de energia maior, que emite luz verde.

Curiosidade: Nos últimos anos, os especialistas encontraram na Reserva Betary, área particular de Mata Atlântica, um tipo de larva capaz de emitir luz azul. Essa descoberta representa um marco nas pesquisas sobre bioluminescência, uma vez que o comprimento de onda da cor azul é dificilmente observado na natureza.

Figura 3: Larva de mosquito encontrada no município paulista de Iporanga.



Fonte: Site Jornal da USP(2019)

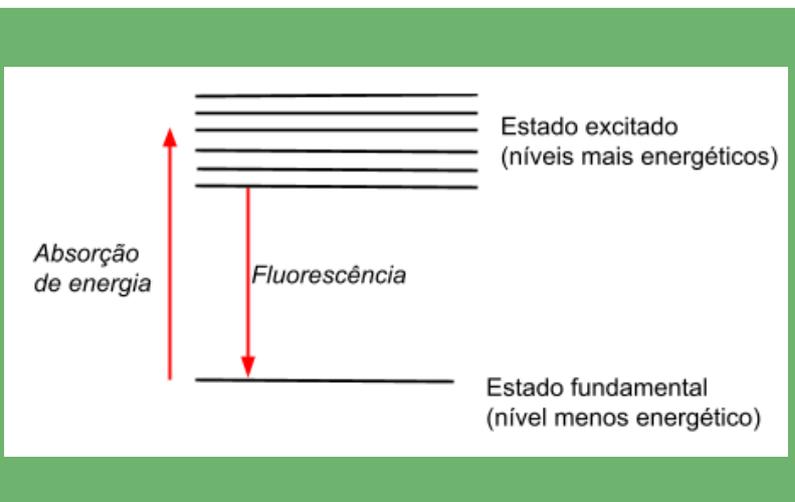


CAPÍTULO II

O MECANISMO QUÍMICO DA EMISSÃO DE LUZ NOS INSETOS

É preciso entender, antes de tudo, o comportamento dos elétrons das moléculas na emissão de luz. Nesse processo, o elétron absorve energia externa e passa para um nível de energia mais alto dentro do átomo. Ao retornar para o seu estado menos energético, o elétron emite fótons, partículas formadoras da luz, cuja coloração depende da quantidade de energia absorvida. Esse mecanismo é ilustrado a seguir:

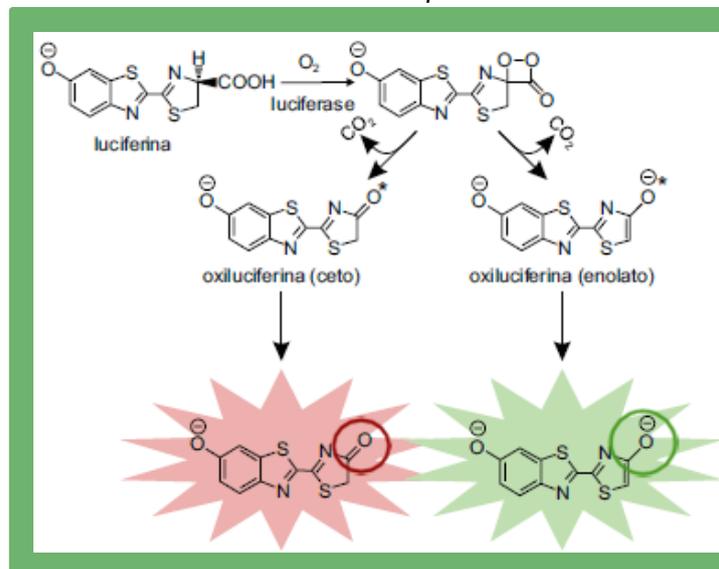
Figura 4. Excitação do elétron nos níveis de energia



Fonte: Autoria própria

A luz emitida pelos insetos funciona seguindo esse mesmo princípio. Com o auxílio de uma molécula de ATP (ativadora da reação), a energia que permite o salto eletrônico vem da oxidação da molécula luciferina, uma proteína responsável pela bioluminescência, que forma duas diferentes moléculas energizadas, as chamadas oxiluciferinas. As cores emitidas são determinadas pela estrutura química dessas moléculas de oxiluciferina e por fatores externos como acidez, presença de íons no meio, temperatura e pela estrutura do sítio ativo na luciferase, o que será explicado em seguida.

Figura 5. Reação de oxidação da luciferina e emissão de luz de coleópteros

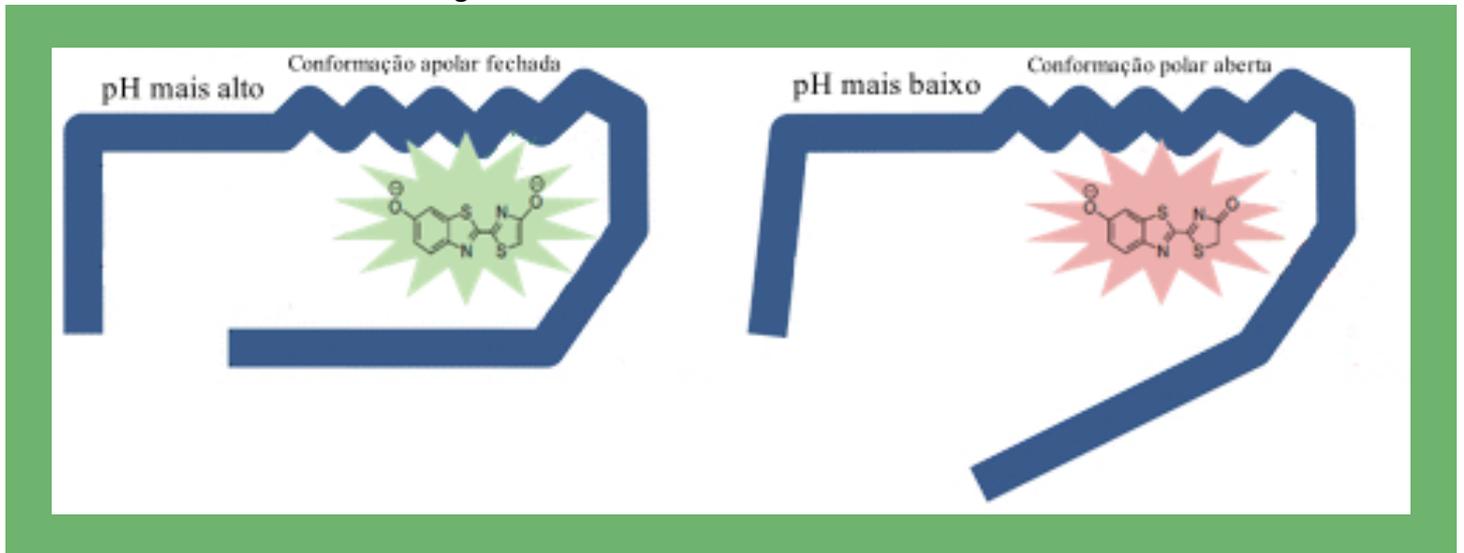


A molécula emissora de luz vermelha possui uma dupla ligação entre os átomos de oxigênio e de carbono e a emissora de luz verde, apenas uma ligação simples, com carga negativa no oxigênio.

Fonte: Adaptado de Bechara; Viviani (2015)

Toda a reação descrita acima é catalisada (acelerada) pela enzima luciferase, um outro tipo de proteína e que, como dito anteriormente, também influencia na coloração emitida pelo inseto. Essa interferência se dá pela abertura de seu sítio ativo, região das enzimas em que acontecem as reações químicas. A maior abertura, que ocorre em meio de pH mais baixo (ácido), eleva o teor de água presente na cadeia proteica da luciferase, levando a uma reação de energia moderada, que produz luz vermelha. Já a menor abertura, decorrente de

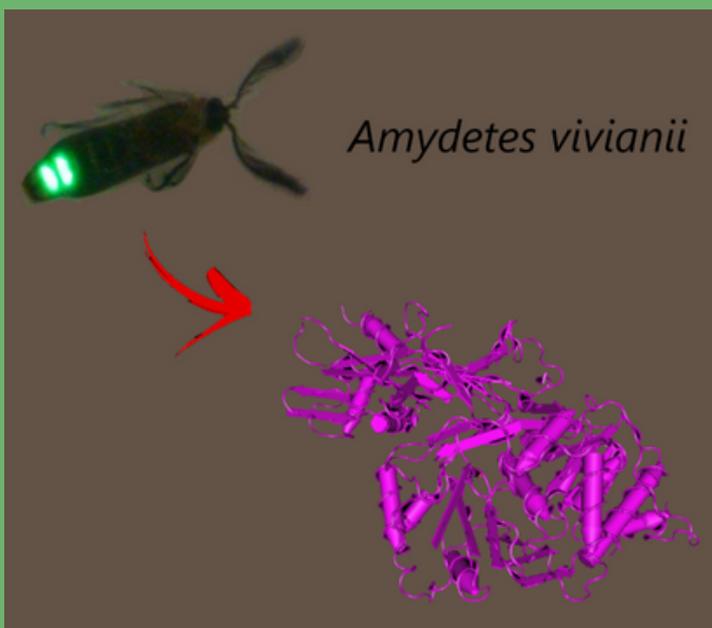
Figura 6. Abertura do sítio ativo da luciferase



Fonte: Autoria própria

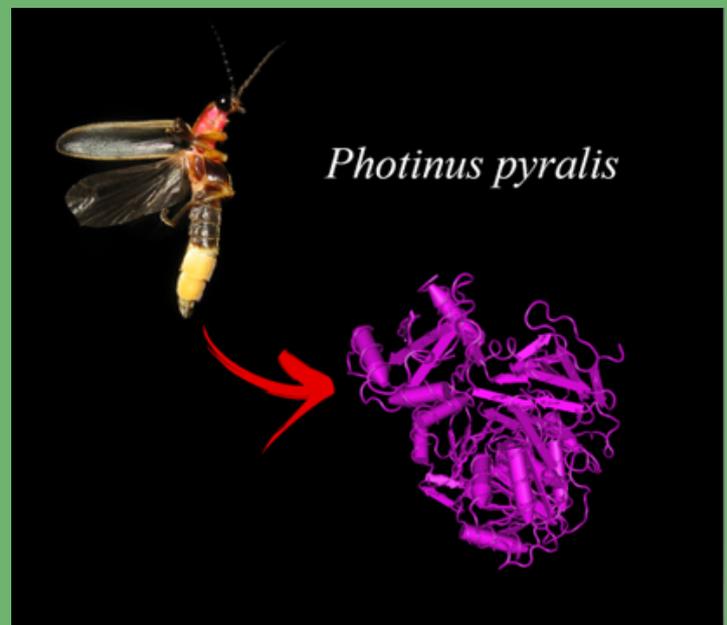
um pH mais alto (menos ácido), impede a entrada de água, resultando em uma reação de energia maior, que emite luz verde.

Figura 7. Estrutura 3D da luciferase de *Amydetes vivianii*



Fonte: Site National Center for Biotechnology Information (3)

Figura 8. Estrutura 3D da luciferase de *Photinus pyralis*



Fonte: Site National Center for Biotechnology Information (4)

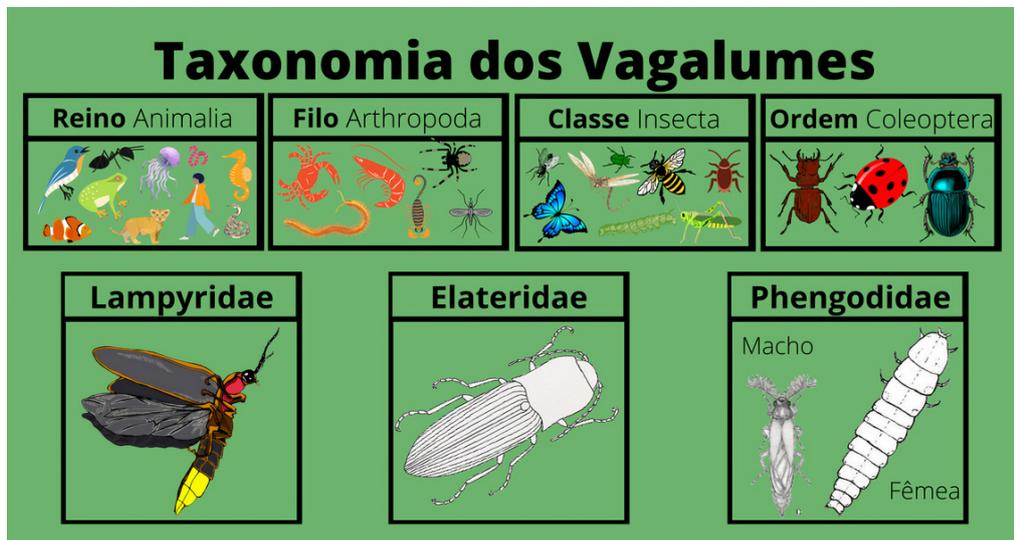
Portanto, as luciferases podem apresentar diferentes conformações de acordo com o meio e com a espécie do inseto luminescente, o que leva às diversas cores observadas. Duas delas estão representadas acima.



CAPÍTULO III

VAGALUMES: TIPOS, CORES E OBJETIVOS

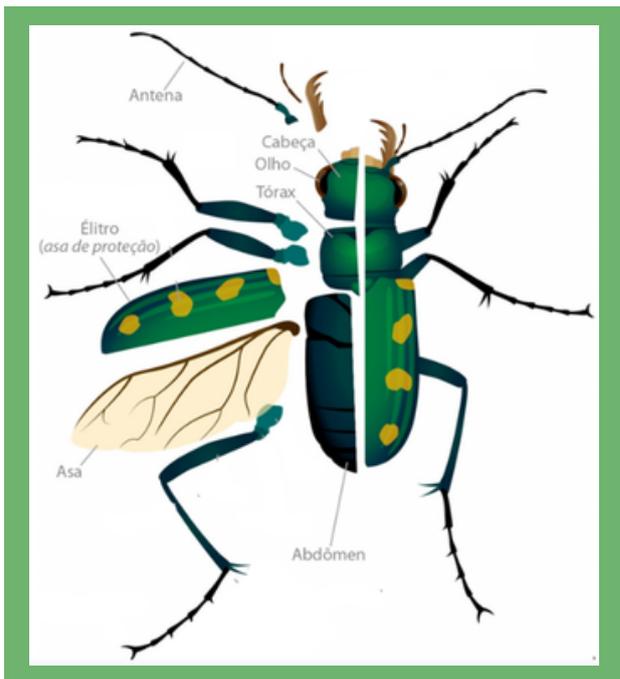
Figura 9. Taxonomia dos vagalumes



A família "Lampyridae" é a dos vagalumes, a "Elateridae" dos pirilampos ou tec-tecs e a "Phengodidae" dos "trenzinhos", família onde as fêmeas não possuem asas, mantendo um formato semelhante ao de uma lagarta, e os machos possuem o corpo "tradicional" de vagalume.

Fonte: Autoria própria

Figura 10. Anatomia de um besouro



Fonte: Arizona State University

O nome Coleoptera vem do grego "koleos", que significa estojo, e "pteron" que quer dizer asas. Ele pode ser relacionado diretamente ao corpo desses besouros; eles possuem asas endurecidas, que normalmente servem apenas como estojo de proteção para as asas membranosas, essas sendo as principais usadas para o voo. Para uma melhor visualização e entendimento de como são essas asas, podemos fazer uma analogia com outro besouro dessa ordem, só que não bioluminescente, que é a joaninha, mais comum de ser encontrada no jardim de casas e em parques, por exemplo. A sua conhecida parte externa vermelha com bolinhas pretas diz respeito às asas endurecidas. Já as asas meio escuras, finas e transparentes, que aparecem quando nos aproximamos delas e elas voam, são as membranosas. A anatomia desses seres bioluminescentes está dividida basicamente em três partes principais: cabeça, tórax e abdômen.

Os seres dessa ordem sofrem metamorfose completa, desenvolvendo de um ovo para o estado larval e, depois da pupa, para a fase adulta, assim como a conhecida metamorfose das borboletas. Reforçando o que já foi apresentado anteriormente, as colorações emitidas por eles são verde, verde-amarelado, amarelo, laranja, vermelho e, em raros casos, azul. E tais emissões têm objetivos intraespecíficos, isto é, entre indivíduos de uma mesma espécie, visando a atração sexual e o agrupamento, e interespecíficos, ou seja, entre indivíduos de espécies diferentes, a fim de atrair presas (insetos) ou repelir, assustar predadores com o brilho. Os vagalumes também podem utilizar essa luz fria para iluminar o ambiente e o caminho por onde estão passando ou voando. Geralmente, na fase larval, o objetivo é atrair presas para a alimentação. Já na fase adulta, a emissão de luz fria tem como principal função a atração e corte sexual.

Começando pelos vagalumes, podemos dizer que seus órgãos bioluminescentes localizam-se na parte inferior (ventre) dos segmentos abdominais, como mostrado na **Figura 11**; podendo variar na quantidade de lanternas abdominais e no tamanho. A luz é bem intensa e a cor emitida varia do verde-amarelado ao amarelo. Relacionando ao espectro visível, que está ligado ao tema do capítulo anterior, os picos de emissão têm comprimento de onda entre 550 e 580 nm.

Figura 11. Vagalume



Fonte: Curiosidades Sobre os Vagalumes - Cultura Mix

Os pirilampos possuem um par de lanternas próximas à cabeça, por isso são frequentemente confundidas com olhos, assim como mostrado na **Figura 12**. Normalmente, a emissão de luz verde acontece quando estão em meio terrestre, em plantas, não em voo. Essa luz tem comprimento de onda entre 525 e 560 nm. Mas além desse par de lanternas, os pirilampos possuem uma lanterna amarela ou alaranjada, de comprimento de onda entre 560 e 585 nm. Ela fica na região mais próxima do abdômen, ficando exposta durante o voo.

Figura 12. Pirilampo



Fonte: Curiosidades Sobre os Vagalumes - Cultura Mix

Na reprodução das espécies dessas duas famílias, há dois principais padrões de interação sexual. Em um dos casos, a fêmea fica pousada sobre a vegetação e emite sua luz para atrair o macho. Já no outro, são os machos da espécie que tentam atraí-la, realizando o voo nupcial e liberando flashes de luz. Pode haver uma competição entre os machos ou a própria fêmea escolher um macho para acasalar, isso varia de acordo com a espécie. Os pirilampos machos podem emitir a luz amarela ou alaranjada no voo nupcial, pois a lanterna se encontra entre o tórax e o abdome do inseto. Há uma comunicação sexual, a sensibilidade óptica do inseto permite que ele capte a luz emitida pelas lanternas e reconheça o seu parceiro sexual.

Entre essas três famílias, a dos "trenzinhos" é a mais diferente em certos aspectos. São mais raros e, em sua maioria, encontrados apenas na América do Sul. Há um grande dimorfismo sexual, ou seja, os machos e as fêmeas da mesma espécie têm características físicas marcadamente distintas. Pode-se observar isso nos leões e leões; os machos têm uma grande juba característica e nas fêmeas elas não aparecem. No caso dos fengodídeos, enquanto os machos possuem asas, são alados, as fêmeas continuam na forma de larva até mesmo na fase adulta, são ápteras, não possuem asas. Além disso, as larvas desses seres bioluminescentes podem emitir luzes em diferentes comprimentos de onda (cores) e partes do corpo. Elas têm 11 pares de lanternas lateralmente dispostas ao longo do abdômen de cores verde, verde-amarelado, amarelo ou laranja, dependendo da espécie e possuem uma lanterna na cabeça que pode emitir uma luz vermelha; como mostrado na **Figura 13**. Essa coloração, em específico, serve para iluminar o ambiente na busca de presas, o que é muito vantajoso para os fengodídeos. Isso porque os insetos, de forma geral, não conseguem enxergar o vermelho.

Para se defender de um predador, a fêmea acaba se escondendo dentro da terra, penetrando o solo, o que torna difícil a sua captura e observação para as pesquisas que envolvem o tema da bioluminescência. Mas, além disso, também complica o encontro da fêmea pelo macho para a reprodução. Por isso, a atração dos seres dessa família funciona de forma um pouco diferente.

O macho, quando adulto, tem uma anatomia semelhante à apresentada na **Figura 10**. Ele possui asas e antenas, que são de grande importância para captar sinais da fêmea nas regiões. As antenas são bastante ramificadas, como é possível visualizar na **Figura 14**; são chamadas de flabeladas. Com elas, o macho consegue captar, sentir sinais químicos que vêm da fêmea; o feromônio, hormônio sexual. Portanto, a atração no caso dos fengodídeos seria uma atração, primeiro, à longa distância; é o cheiro da fêmea que vai atrair o macho. E, quando o macho se aproxima, ele tem a possibilidade de conseguir encontrar a fêmea pelas luzinhas abdominais. Porque, quando a fêmea percebe a presença do macho, ela também acende a luz. E o macho chama a atenção com suas lanternas presentes na parte posterior, de cor variada entre o verde ao alaranjado.

Curiosidade: As larvas de algumas espécies desses besouros bioluminescentes infestam cupinzeiros, principalmente na região do Parque Nacional das Emas em Goiás, local que consiste em um espaço de conservação da flora e fauna do Cerrado brasileiro. Os cupinzeiros ficam repletos de centenas de lanternas como pontos luminosos na sua superfície, dando a aparência de prédios iluminados durante a noite. Isso porque, nesses locais, a luz emitida pelas larvas atrai seu alimento: formigas, cupins e outros insetos pequenos que ficam no entorno.

Figura 15. Bioluminescência em cupinzeiros no Brasil



Fonte: O Lindo Fenômeno Da Bioluminescência Em Cupinzeiros - Tricurioso

Figura 13. Fengodídeo fêmea (trenzinho)



Fonte: A lagarta do nariz vermelho -Unespciência

Figura 14. Fengodídeo macho



Fonte: iNaturalist



CAPÍTULO IV

A BIOLUMINESCÊNCIA NA PRÁTICA



Figura 16. Cena do filme Shrek 2. **Fonte:** Dreamworks (2004)

A pesquisa científica, além de trazer conhecimentos sobre os objetos de estudo -por exemplo, como se comportam os insetos que produzem luz- também traz novas expectativas e tecnologias para várias faces do mundo, desde situações mais lúdicas até tratamentos de saúde. Com base nas informações trazidas nas edições anteriores da newsletter "O brilho da ciência", vamos conhecer um pouco das aplicações desta pesquisa, que, já adiante, têm grande viés biotecnológico:

1° Pirulito que acende

Toda pessoa que foi criança próximo dos anos 2000 já deve ter experimentado aqueles pirulitos que deixam a boca colorida, mas e um que deixa a boca brilhando? Essa é a ideia do Lick'n Light, doce de uma companhia chinesa, que utiliza a proteína luciferase e o substrato luciferina em sua composição, e, quando consumido, o produto emite luz por meio da reação bioquímica da bioluminescência.

Em uma coletiva para apresentar os novos produtos da empresa, incluindo o pirulito que acende, o químico Martin Lersch, que estava como espectador, contou em seu blog(9) "As luzes se apagaram, fomos orientados a chupar intensamente os pirulitos e depois, quando tirei o pirulito da boca, ele brilhava!"

Os criadores garantem que o produto é seguro, e, em um anúncio(10) não mais disponível para a compra, explicam que a substância ocorre naturalmente, já que a maioria dos animais marinhos (base da pesquisa e da composição do alimento) do mundo brilha e usa a mesma química ou similar. Para a produção, clonaram a composição química da enzima e do substrato e produziram em bactérias inofensivas aprovadas para a produção de insulina.

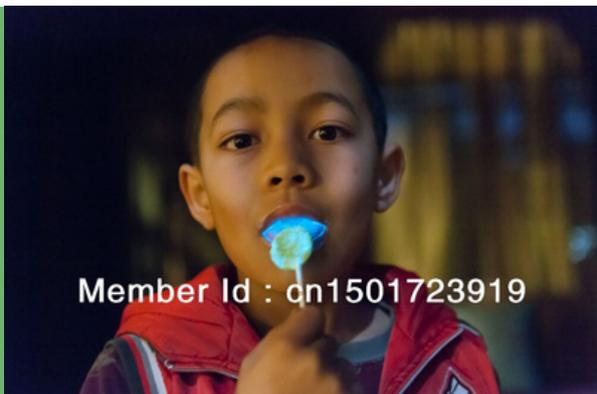


Figura 17: Anúncio do Lick'n Light(2)

2° Biossensores para o meio ambiente

Biossensores são dispositivos que, a partir de reações químicas/biológicas, podem detectar certas situações. No caso do uso da bioluminescência, os biossensores, usando enzimas ou células modificadas a partir da luciferase, podem detectar agrotóxicos, metais pesados, alterações metabólicas e outros riscos envolvendo a poluição na terra, na água e em plantas. Essa detecção pode ser feita pois a luz emitida pela oxidação da luciferina muda de acordo com a concentração de analito.

Outra forma de monitoramento da saúde de um ecossistema é o uso de insetos, como larvas de vagalume, como indicadores de recuperação de fluxos de água e controle de pragas. Esse método já foi usado no Brasil em uma pesquisa(3) onde foram estudados as larvas do Aspisoma sp2, besouros predadores naturais dos caramujos Biomphalaria spp, vetores de Shistosoma mansoni, causador da esquistossomose, e Limnaea spp, que é vetor da Fasciola hepática. Essas larvas fazem o controle biótico da região e previnem a disseminação de doenças, sendo um importante indicador natural de problemas ambientais.

3° Na saúde

Ainda sobre biossensores e reagente bioanalíticos, kits diagnósticos de pneumonia, AIDS e metástase de tumores são feitos a partir de clonagem do gene da luciferase e da proteína fluorescente verde (GFP), retirada de águas-vivas. Outra aplicação é na indústria farmacêutica, auxiliando no desenvolvimento de novas drogas terapêuticas como antibióticos e antitumorais.

Uma forma desses kits atuarem é por imagens in vivo, em que pesquisadores injetam células marcadas com luciferase no organismo, podendo ver seu comportamento dentro do corpo.

Como já dito, essas moléculas reagem de forma diferente a depender da acidez. Além disso, a célula com gene modificado, na presença de luciferina, ATP e oxigênio (que se encontram naturalmente na célula), irá produzir bioluminescência, criando uma espécie de marcação no organismo. Desta forma, é possível detectá-la por computadores e câmeras especiais, e, em alguns casos, até mesmo a olho nu. Os estudos em células podem esclarecer a medicina sobre algumas doenças e funcionamentos do corpo.

No meio farmacêutico, os avanços com os estudos da bioluminescência têm grande potencial em relação à eficácia de medicamentos. Por exemplo, ao marcar bactérias, podemos ver como os antibióticos e o sistema imune agem para combatê-las, se há eficácia total, parcial ou se o medicamento é insuficiente.

Esses processos medicinais, de um modo geral, não têm alto custo e são poucos invasivos para o corpo humano. Vale lembrar também que hoje a tecnologia já permite clonar os genes em grande escala.

Figura 18. Cientista trabalhando com reagentes bioluminescentes



Fonte: Nanolight

4° Iluminação: benefício econômico e ecológico

Com um olhar mais futurístico, a iluminação pública com bactérias luminescentes já é testada em alguns lugares do mundo. “Quando uma água-viva está bem no fundo do oceano, ela é capaz de criar sua própria luz. Ela não tem uma bateria, um painel solar ou conta de luz. Ela apenas o faz, de forma completamente autônoma. O que nós podemos aprender com isso?”, questiona o designer holandês Daan Roosegaarde(12), que planeja utilizar o sistema de iluminação em seus projetos futuros.

Como comparativo, cerca de 16% da energia gasta no Brasil vem de gastos com iluminação(13), logo, o uso de uma fonte mais sustentável e que não emita gases poluentes seria viável economicamente e em prol do meio ambiente.

Plantas que emitem luz podem ser feitas a partir de microrganismos com os genes da luciferase, unindo-os com o genoma das plantas e fazendo com que as mesmas tenham iluminação nos caules e folhas. Outro método, pensando em árvores, seria o uso de uma "tinta biológica", com o mesmo princípio anterior, que seria aplicada na árvore para ter brilho. Por último, outra possibilidade para que as plantas possam servir como iluminação é a incorporação de nanopartículas nas suas folhas e caules. Os pesquisadores por trás deste método encapsularam a enzima da luciferase e o substrato luciferina em nanopartículas de sílica, que foram colocadas em uma solução para que a planta as absorvesse. A partir das reações entre as duas moléculas e o oxigênio presente na planta, temos luminescência na planta como um todo, que, no início das pesquisas, só durava cerca de 45min. Mas esse tempo já foi aumentado e acredita-se que é possível chegar a uma duração e a uma intensidade suficientes para suprir parte da necessidade humana.

Podemos lembrar que a iluminação das grandes cidades atrapalha a vida de insetos, até mesmo dos vagalumes, pois a forte iluminação artificial impede certos rituais de reprodução. Logo, utilizar uma iluminação menos artificial trará benefícios para o bolso e para o planeta de um modo geral.



Figura 19. Planta luminescente iluminando um livro(14)

Mas, e agora?

As pesquisas sobre bioluminescência de insetos e outros animais ainda têm muito a responder e benefícios a serem trabalhados. Como disse o Dr. Bechara, em entrevista para a nossa divulgação científica, "como químico, biólogo, me interessa muito explorar também [...] comunicação sexual nos fengodídeos, isso me interessa muito. Outra coisa também que [...] estudei, os chamados cupinzeiros luminosos, que são uma associação cupim-vagalume. Esse cupinzeiro brilha durante a época das chuvas, quando está quente, durante o inverno ele não brilha. E o sistema tá muito seco, pode imaginar, hoje a umidade do ar lá no cerrado é 10%, se não for menos do que isso. Agora, como é que esses vagalumes obtêm água, como é que essas larvas obtêm água para sobreviver, então essa é uma coisa que eu gostaria de estudar".

Bechara também traz no artigo “Luzes Vivas na Escuridão: Fatos e Casos”(1) outros questionamentos: “Quais os papéis das diferentes cores das lanternas e padrões de atração e corte sexual em fengodídeos? Há processos de extinção destes insetos em curso relacionados a defensivos agrícolas ou iluminação artificial que tornam “invisíveis” os parceiros sexuais?”

Desta forma, sabemos que ainda há muito campo de pesquisa pela frente, principalmente com aplicação tecnológica e bioanalítica, na farmácia, agricultura, indústria de alimentos, medicina, mas também ecológica, descobrindo mais sobre esses animais. Vale lembrar que há também inúmeros animais marinhos com iluminação própria, conhecidos e desconhecidos, pois ainda há muito o que se estudar nos sete mares.



REFÊRENCIAS

- (1) BECHARA, EJH; VIVIANI VR. 2015. **Luzes vivas na escuridão: Fatos e Casos**. Rev Virtual Quim 7: 3-40
- (2) Site Jornal da USP. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-biologicas/descoberto-o-primeiro-inseto-sul-americano-que-emite-luz-azul/>>
- (3) Structure of a red emitting luciferase from *Phrixothrix hirtus*. National Center for Biotechnology Information, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/pdb/6AC3>>. Acesso em: 21 de setembro de 2021.
- (4) Structure of a blue-shifted Luciferase from *Amydetes vivianii*. National Center for Biotechnology Information, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/pdb/6AAA>>. Acesso em: 21 de setembro de 2021.
- (5) Firefly Luciferase. National Center for Biotechnology Information, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/pdb/1LCI>>. Acesso em: 21 de setembro de 2021.
- (6) BECHARA, EJH, Entrevista sobre Bioluminescência de insetos. [Entrevista concedida a] Maria Fernanda Valente Nolf e Renata de Oliveira Farves. 27 de agosto de 2021.
- (7) AUDINO, LV; NOGUEIRA, JM; SILVA, PG; NESKE, MZ; RAMOS, AHB; MORAES, LP; BORBA, M.F.S. Identificação dos coleópteros (Insecta: Coleoptera) das regiões de Palmas (município de Bagé) e Santa Barbinha (município de Caçapava do Sul), RS. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2007.
- (8) Curiosidades Sobre Os Vagalumes. Cultura Mix, 2011. Disponível em: <https://animais.culturamix.com/curiosidades/curiosidades-sobre-os-vagalumes-que-ninguem-sabe>. Acesso em: 22 de setembro de 2021.
- (9) LERSCH, M. **The Flemish Primitives: Glowing lollipops Khymos, 2009**; Disponível em: khymos.org/2009/02/11/the-flemish-primitives-glowing-lollipops-part-4/. Acesso em: 23 de setembro de 2021
- (10) Anúncio Lick'n Ligt; Disponível em: pt.aliexpress.com/item/1246568473.html. Acesso em: 23 de setembro de 2021
- (11) VIVIANI, V. R., SANTOS, R. M. **Coleópteros Bioluminescentes da Estação Biológica de Boracéia (Salesópolis, SP, Brasil): diversidade, bioluminescência e distribuição por habitat**. Scielo Brasil, 2012. Disponível em: www.scielo.br/j/bn/a/VT7CggVfBbCZp8BnrZdTC4M. Acesso em: 23 de setembro de 2021
- (12) Imagem referente a empresa **Nanoligth Technology**: Disponível em: nanolight.com/. Acesso em: 23 de setembro de 2021
- (13) PALLISTER, J. **Glowing trees could be used "instead of street lighting" says Daan Roosegaarde**. Dezeen and MINI Frontiers, 2014. Disponível em: www.dezeen.com/2014/03/24/movie-sxsw-daan-roosegarde-glow-in-dark-trees/. Acesso em: 23 de setembro de 2021
- (14) **Lâmpadas**. CEPA IF USP, 1999. Disponível em: www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo6A/tipolamp.htm. Acesso em: 25 de setembro de 2021
- (15) **MIT cria plantas luminosas que poderão substituir lâmpadas**. Olhar digital, 2016. Disponível em: olhardigital.com.br/2017/12/18/noticias/mit-cria-arvores-luminosas-que-poderao-substituir-lampadas/. Acesso em: 25 de setembro de 2021

BECHARA, E. J. H. **Vagalumes: Da química à biotecnologia**, 1994. *Química Nova* 17(3), 224-227. Janeiro de 1994

Biodiversidade bioluminescente; Biota Biolum Disponível em: www2.sorocaba.ufscar.br/biotabiolum/biodiversidade.php. Acesso em: 23 de setembro de 2021

Linhas de pesquisas; Grupo de Pesquisa Bioluminescência e Biofotônica Laboratório de Bioquímica e Tencologias de Sistemas Bioluminescentes. Disponível em: www2.sorocaba.ufscar.br/LaBL/linhasdepesquisa.php. Acesso em: 23 de setembro de 2021

SANTOS, D. C. M. **Aplicações biotecnológicas da bioluminescência;** *Profissão Biotec*, 2018. Disponível em: profissaobiotec.com.br/aplicacoes-iotecnologicas-da-bioluminescencia/ Acesso em: 23 de setembro de 2021