



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA.
DIRETORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

BRACILICIA NETA ALVES OLIVEIRA
MARINA DA SILVA CONCEIÇÃO

**POLUIÇÃO LUMINOSA E O POTENCIAL DE LAMPYRIDAE (VAGA-LUMES) COMO
BIOINDICADORES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Boa Vista, RR

2026

BRACILICIA NETA ALVES OLIVEIRA
MARINA DA SILVA CONCEIÇÃO

**POLUIÇÃO LUMINOSA E O POTENCIAL DE LAMPYRIDAE (VAGA-LUMES) COMO
BIOINDICADORES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Roraima, Campus Boa Vista, como requisito
parcial para obtenção do grau de Licenciada em
Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Me. Tharles Mesquita Araújo

Boa Vista, RR

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto Federal de Roraima - IFRR)

- O48p Oliveira, Bracilicia Neta Alves.
Poluição luminosa e o potencial de Lampyridae (vaga-lumes) como bioindicadores ambientais: uma revisão integrativa / Bracilicia Neta Alves Oliveira, Marina da Silva Conceição. – Boa Vista, 2026.
55 f. : il. color.
- Orientador: Prof. Me. Tharles Mesquita Araújo.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima. Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, *Campus* Boa Vista, 2026.
Bibliografia: f. 52-55.
1. Iluminação artificial noturna. 2. Bioluminescência. 3. Bioindicadores ambientais. 4. Conservação da biodiversidade. 5. Ecologia de insetos. I. Conceição, Marina da Silva. II. Araújo, Tharles Mesquita. III. Título.

CDD – 570

BRACILICIA NETA ALVES OLIVEIRA
MARINA DA SILVA CONCEIÇÃO

**POLUIÇÃO LUMINOSA E O POTENCIAL DE LAMPYRIDAE (VAGA-LUMES) COMO
BIOINDICADORES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Aprovado em: 16 de julho de 2026.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **THARLES MESQUITA ARAUJO**
Data: 03/09/2026 19:27:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Tharles Mesquita Araújo
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **LIVIA RODRIGUES DA SILVA**
Data: 03/09/2026 15:26:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª Ma. Lívia Rodrigues da Silva
(Professora avaliadora)

Documento assinado digitalmente
 **ISIS CAROLINE SIQUEIRA SANTOS LINHARES**
Data: 14/08/2026 16:41:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª Dra. Isis Caroline Siqueira Linhares
(Professora avaliadora)

Boa Vista, RR

2026

Às crianças que fomos.

Às meninas de 8 anos que se conheceram no 3º ano do ensino fundamental e compartilharam toda a trajetória escolar sem imaginar onde estariam hoje. Vivemos esta conquista juntas, assim como enfrentamos cada desafio ao longo do caminho.

Foi difícil, mas aprendemos a acreditar. Assim como Ray, o vaga-lume de “A Princesa e o Sapo”, acreditava que Evangeline era a estrela mais brilhante do céu, nós também aprendemos a cultivar a esperança e a confiar em nossos sonhos. Obrigadas por todas as vezes em que vocês não permitiram que as dificuldades interrompessem essa caminhada, por continuarem acreditando e por nos conduzirem até este momento.

Esta conquista também pertence a vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos conceder força, sabedoria, saúde e perseverança ao longo desta trajetória acadêmica. Sua presença foi fundamental para que pudéssemos seguir em frente nos momentos de dificuldade e celebrar cada conquista alcançada.

Às nossas famílias, expressamos nossa profunda gratidão pelo amor, apoio incondicional, compreensão e incentivo constante. Obrigadas por acreditarem em nossos sonhos e por estarem ao nosso lado durante toda essa caminhada, compartilhando alegrias, preocupações e conquistas.

Ao nosso orientador, Professor Tharles Mesquita Araújo, agradecemos pela orientação, disponibilidade, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram essenciais para a construção desta pesquisa e para nosso crescimento acadêmico.

A todos os professores do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do IFRR, agradecemos pelos ensinamentos, experiências e valores transmitidos ao longo da graduação. Cada disciplina contribuiu para fortalecer em nós o interesse pela Biologia e pela Educação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR), agradecemos pela oportunidade de formação acadêmica e pelo ambiente de aprendizagem que contribuiu significativamente para nosso desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos nossos amigos e colegas de curso, agradecemos pela convivência, pelas trocas de conhecimento, pelo apoio mútuo e pelos momentos compartilhados ao longo desses anos. As amizades construídas durante essa jornada tornaram o caminho mais leve e especial.

Agradecemos também aos pesquisadores e autores cujos estudos serviram de base para esta pesquisa. O conhecimento científico produzido por esses profissionais tornou possível a construção deste trabalho e reforça a importância da ciência para a compreensão e conservação da biodiversidade.

Por fim, agradecemos a nós mesmas, Marina e Bracilicia, pela dedicação, perseverança e compromisso ao longo desta caminhada. Chegar até aqui representa a concretização de um objetivo construído com esforço, aprendizado e crescimento.

“O único jeito de conseguir o que você quer neste mundo é através do trabalho duro.”

—Tiana, A Princesa e o Sapo.

RESUMO

A poluição luminosa, decorrente do uso excessivo de iluminação artificial noturna, tem sido reconhecida como um importante fator de impacto ambiental sobre a biodiversidade. Entre os organismos mais sensíveis a esse fenômeno estão os vaga-lumes (Lampyridae), insetos bioluminescentes que dependem da escuridão para a comunicação reprodutiva. Este estudo teve como objetivo analisar a influência da poluição luminosa no comportamento e na sobrevivência dos vaga-lumes, bem como discutir sua efetividade como bioindicadores ambientais com base na literatura científica brasileira. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, desenvolvida por meio de revisão integrativa da literatura. O levantamento bibliográfico foi realizado entre março e abril de 2026, sendo atualizado por meio de uma busca complementar realizada em 15 de junho de 2026, nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Periódicos CAPES, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras. Foram utilizados os descritores “Lampyridae”, “vaga-lumes”, “poluição luminosa”, “iluminação artificial noturna”, “bioindicadores” e “LED”. Como critérios de seleção, foram incluídos estudos publicados entre 2009 e 2024, disponíveis integralmente em formato digital e relacionados à temática proposta. Os dados foram submetidos à Análise de Conteúdo, conforme proposta por Bardin, permitindo a organização, categorização e interpretação das evidências científicas identificadas. O corpus final foi composto por 13 documentos, sendo 10 artigos científicos, 1 dissertação, 1 trabalho acadêmico e 1 estudo de revisão. Os resultados indicaram que a iluminação artificial noturna interfere na comunicação bioluminescente dos Lampyridae, reduzindo o sucesso reprodutivo e contribuindo para alterações comportamentais e declínio populacional. Conclui-se que a poluição luminosa representa uma ameaça significativa à conservação desses insetos, reforçando seu potencial como bioindicadores da qualidade ambiental e a necessidade de estratégias de mitigação. O estudo contribui para ampliar as discussões sobre a ecologia sensorial e subsidia futuras estratégias de conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: iluminação artificial noturna; bioluminescência; bioindicadores ambientais; conservação da biodiversidade; ecologia de insetos.

ABSTRACT

Light pollution, resulting from the excessive use of artificial light at night, has been recognized as a significant factor impacting biodiversity. Among the organisms most sensitive to this phenomenon are fireflies (Lampyridae), bioluminescent insects that rely on darkness for reproductive communication. This study aimed to analyze the influence of light pollution on firefly behavior and survival, as well as to discuss their effectiveness as environmental bioindicators based on Brazilian scientific literature. This is a qualitative study conducted through an integrative literature review. The bibliographic survey was carried out between March and April 2026 and updated via a supplementary search on June 15, 2026, using databases such as Google Scholar, SciELO, PubMed, and Periódicos CAPES, alongside institutional repositories of Brazilian universities. The descriptors used were “Lampyridae,” “fireflies,” “light pollution,” “artificial light at night,” “bioindicators,” and “LED.” Selection criteria included studies published between 2009 and 2024 that were available in full-text digital format and relevant to the proposed topic. The data were subjected to Content Analysis, as proposed by Bardin, enabling the organization, categorization, and interpretation of the identified scientific evidence. The final corpus consisted of 13 documents: 10 scientific articles, 1 dissertation, 1 academic paper, and 1 review study. The results indicated that artificial light at night interferes with Lampyridae bioluminescent communication, reducing reproductive success and contributing to behavioral changes and population decline. It is concluded that light pollution poses a significant threat to the conservation of these insects, reinforcing their potential as bioindicators of environmental quality and highlighting the need for mitigation strategies. The study contributes to broadening discussions on sensory ecology and informs future biodiversity conservation strategies.

Keywords: artificial light at night; bioluminescence; environmental bioindicators; biodiversity conservation; insect ecology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CICLO DE VIDA DOS LAMPYRIDAE, DESTACANDO AS QUATRO FASES DO DESENVOLVIMENTO HOLOMETÁBOLO: OVO, LARVA, PUPA E ADULTO. A FIGURA APRESENTA AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE CADA ETAPA, DESDE A POSTURA DOS OVOS EM AMBIENTES.	19
FIGURA 2– REPRESENTAÇÃO VISUAL DOS PRINCIPAIS TIPOS DE POLUIÇÃO LUMINOSA: BRILHO DO CÉU NOTURNO (SKYGLOW), OFUSCAMENTO (GLARE), INVASÃO DE LUZ (LIGHT TRESPASS) E DESORDEM LUMINOSA (CLUTTER), EVIDENCIANDO DIFERENTES FORMAS DE INTERFERÊNCIA DA ILUMINAÇÃO.	20
FIGURA 3- EXEMPLARES DE DIFERENTES ESPÉCIES DE LAMPYRIDAE MONTADOS E ETIQUETADOS PARA IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA EM COLEÇÃO CIENTÍFICA.	27
FIGURA 4- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS INCLUIDOS NA REVISÃO INTEGRATIVA, ADAPTADO DO MODELO PRISMA.	35
FIGURA 5- DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E TIPO DE PUBLICAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS (2009–2024).	37
FIGURA 6- EXEMPLAR DE VAGA-LUME DA FAMÍLIA LAMPYRIDAE UTILIZADO EXCLUSIVAMENTE PARA FINS ILUSTRATIVOS. FOTOGRAFIAS OBTIDAS NA PROPRIEDADE DAS AUTORAS: (A) VISTA DORSAL E (B) VISTA FRONTAL.	49

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ANÁLISE COMPARATIVA DE ATRIBUTOS ECOLÓGICOS ENTRE BIOINDICADORES TRADICIONAIS (FORMIGAS, BORBOLETAS E MARCOINVERTEBRADOS AQUÁTICOS) E A FAMÍLIA LAMPYRIDAE.	23
QUADRO 2 - CARACTERIZAÇÃO DO CORPUS DE ANÁLISE (D01 A D013).	31
QUADRO 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS POR CATEGORIA TEMÁTICA.	33
QUADRO 4 - SÍNTESE DAS EVIDÊNCIAS SOBRE OS IMPACTOS BIOLÓGICOS E REPRODUTIVOS IDENTIFICADOS NO CORPUS DE ANÁLISE.	39
QUADRO 5 - PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS SOBRE A BIOINDICAÇÃO DOS LAMPYRIDAE.	39
QUADRO 6 - EVIDÊNCIAS DA LITERATURA SOBRE DESAFIOS, CONSCIENTIZAÇÃO E MITIGAÇÃO.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ALAN — Artificial Light at Night (Luz Artificial Durante a Noite).

CAPES — Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

DOI — Digital Object Identifier (Identificador Digital de Objeto).

LED — Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz).

PRISMA — Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.

PubMed — National Library of Medicine (base de dados biomédica internacional).

SciELO — Scientific Electronic Library Online (Biblioteca Científica Eletrônica Online).

UFSCar — Universidade Federal de São Carlos.

IUCN — União Internacional para a Conservação da Natureza.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
<i>1.1 PROBLEMA DE PESQUISA</i>	<i>14</i>
<i>1.2 JUSTIFICATIVA.....</i>	<i>15</i>
2 OBJETIVOS	16
<i>2.1 OBJETIVO GERAL</i>	<i>16</i>
<i>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>16</i>
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
<i>3.1 VAGA-LUMES (LAMPYRIDAE): BIOLOGIA, TAXONOMIA E CICLO DE VIDA</i>	<i>17</i>
<i>3.2 POLUIÇÃO LUMINOSA E ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NOTURNA (ALAN).....</i>	<i>19</i>
<i>3.3 BIOINDICADORES AMBIENTAIS E O PAPEL DOS LAMPYRIDAE COMO SENTINELAS</i>	<i>24</i>
<i>3.4 CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO LUMINOSA.....</i>	<i>27</i>
4 METODOLOGIA.....	29
5 RESULTADOS.....	35
<i>5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS ANALISADOS.....</i>	<i>35</i>
<i>5.2 ORGANIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE ANÁLISE</i>	<i>37</i>
6 DISCUSSÃO	41
<i>6.1 CATEGORIA 1 – IMPACTOS BIOLÓGICOS E REPRODUTIVOS DA ALAN E DO LED NOS LAMPYRIDAE</i>	<i>41</i>
<i>6.2 CATEGORIA 2 – Os VAGA-LUMES COMO BIOINDICADORES DA INTEGRIDADE SENSORIAL DOS ECOSSISTEMAS</i>	<i>43</i>
<i>6.3 CATEGORIA 3 – DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS E MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO LUMINOSA.</i>	<i>45</i>
<i>6.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	<i>48</i>
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
8 REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A poluição luminosa é um problema ambiental crescente, decorrente da expansão urbana e do uso cada vez mais intenso da iluminação artificial durante a noite. Estudos globais recentes indicam que o brilho do céu noturno tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 10% ao ano (KYBA et al., 2023). Esse fenômeno, conhecido como Luz Artificial à Noite (ALAN, do inglês Artificial Light at Night), altera os ciclos naturais de luz e escuridão, causando impactos significativos sobre diferentes organismos que dependem do ambiente noturno para realizar atividades essenciais à sua sobrevivência. Entre os grupos mais sensíveis a essas alterações estão os vaga-lumes (família Lampyridae), insetos bioluminescentes que utilizam sinais luminosos para comunicação, reprodução e localização de parceiros (OWENS; LEWIS, 2022).

Nas últimas décadas, a ampliação dos sistemas de iluminação pública expandiu a presença da ALAN em ambientes naturais. Essa transformação modifica as características dos ecossistemas noturnos e interfere em processos biológicos vitais, afetando especialmente espécies de vaga-lumes (família Lampyridae), que dependem da escuridão para realizar a comunicação bioluminescente durante o acasalamento. Ademais, a substituição de tecnologias tradicionais por sistemas de iluminação LED, embora represente avanços relacionados à eficiência energética e à redução do consumo de eletricidade, contribui para uma maior dispersão da luz azul no ambiente noturno, superando os benefícios econômicos e alcançando dimensões críticas de conservação ambiental (FERNANDES; RASOTO, 2017).

Nesse cenário, os vaga-lumes têm recebido atenção crescente da comunidade científica devido à sua elevada sensibilidade a esse estresse fótico. Pesquisas demonstram que a iluminação artificial interfere diretamente na comunicação bioluminescente desses insetos, reduzindo a eficiência dos lampejos utilizados no acasalamento e comprometendo o sucesso reprodutivo das espécies (OWENS; LEWIS, 2022). Como consequência, habitats submetidos a elevados níveis de ALAN tendem a apresentar menor abundância e diversidade de Lampyridae quando comparados a áreas preservadas (MCNEIL et al., 2024). Essa preocupação agrava-se pelo fato de a poluição luminosa atuar em conjunto com outros fatores de degradação, como a perda e a fragmentação de habitats, intensificando o declínio populacional do grupo em escala global (LEWIS et al., 2024).

De forma mais ampla, a alteração do ambiente luminoso causada pela iluminação artificial é reconhecida como um importante vetor de alteração ecológica, capaz de desestruturar o

funcionamento dos ecossistemas (HÖLKER et al., 2023). Diante disso, os vaga-lumes destacam-se não apenas por sua relevância ecológica intrínseca, mas também por seu potencial como bioindicadores ambientais, ou seja, organismos cuja presença, ausência ou dinâmica populacional reflete diretamente a qualidade e a integridade dos ecossistemas (OLIVEIRA et al., 2014). A redução de suas populações em áreas urbanizadas funciona, portanto, como um alerta precoce de processos de degradação ambiental decorrentes das atividades humanas.

Embora existam estudos consolidados que abordem esses impactos, as informações científicas encontram-se dispersas. Observa-se, portanto, a necessidade de reunir, analisar e integrar essas evidências, especialmente no contexto das pesquisas desenvolvidas no Brasil. Essa delimitação para o cenário nacional faz-se urgente para mapear e compreender especificamente a realidade das pesquisas e das espécies nativas diante do avanço da urbanização no país. Nesse sentido, a presente revisão integrativa busca contribuir para uma compreensão sistemática sobre a influência da ALAN nos Lampyridae e sobre o potencial desses organismos como ferramentas de monitoramento ecológico.

Para facilitar a compreensão do leitor e guiar a leitura de forma sistemática, esse estudo encontra-se organizado em tópicos. Após a Introdução, o tópico 2 (Referencial Teórico) apresenta as bases conceituais da pesquisa, abordando a biologia e o comportamento da família Lampyridae, a poluição luminosa, os impactos da ALAN e da tecnologia LED, os fundamentos da bioindicação e as principais estratégias de mitigação desse problema ambiental. O tópico 3 (Metodologia) detalha o percurso metodológico de seleção, inclusão e análise dos 13 artigos científicos nacionais e internacionais que compõem o portfólio desta revisão integrativa. O tópico 4 (Resultados) apresenta a catalogação descritiva dos dados extraídos e o surgimento das categorias analíticas a partir da literatura selecionada. O tópico 5 (Discussão) é dedicado à análise crítica dos impactos da ALAN e do LED na reprodução e abundância das espécies, confrontando os achados com a realidade ecológica nacional. Por fim, o tópico 6 (Considerações Finais) sintetiza as conclusões do estudo, apontando as principais lacunas científicas no Brasil e recomendações para a preservação desses ecossistemas noturnos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

De que maneira a literatura científica descreve os impactos da poluição luminosa (ALAN) sobre insetos da família Lampyridae e como esses impactos evidenciam o potencial desses organismos como bioindicadores em ecossistemas urbanos?

A investigação desse problema conduz diretamente ao delineamento do objetivo geral deste estudo, que busca mapear e integrar as evidências científicas disponíveis para compreender sistematicamente essas interferências fóticas e a viabilidade ecológica do grupo no monitoramento ambiental.

1.2 JUSTIFICATIVA

A realização desta pesquisa justifica-se pela importância de compreender os efeitos da iluminação artificial noturna sobre a biodiversidade, especialmente sobre os organismos que, como apontam Hölker et al. (2023), dependem da escuridão para realizar atividades essenciais à sua sobrevivência. Entre esses organismos estão os vaga-lumes (Lampyridae), insetos que utilizam sinais luminosos para comunicação e reprodução e que, conforme alertam Owens e Lewis (2022), podem ser diretamente afetados pela iluminação artificial noturna.

Apesar do aumento das discussões sobre os impactos da ALAN nos últimos anos, ainda são poucos os estudos que abordam de forma integrada sua relação com os vaga-lumes, principalmente na literatura nacional. Nesse sentido, esta pesquisa busca reunir informações presentes em diferentes trabalhos científicos, contribuindo para uma melhor compreensão dos efeitos da iluminação artificial sobre esses insetos e de sua importância como bioindicadores ambientais, uma prerrogativa já reconhecida por pesquisadores como Oliveira et al. (2014). Dessa forma, a contribuição científica desta revisão integrativa consolida-se por preencher uma lacuna crítica na literatura brasileira, conferindo originalidade ao estudo ao centralizar e estruturar dados dispersos que antes dificultavam um diagnóstico panorâmico sobre o declínio desses ecossistemas no país.

Ademais, a relevância desta pesquisa se acentua diante da escassez de estudos científicos sobre a família Lampyridae na região Norte do Brasil, especialmente na Amazônia. A ausência de trabalhos específicos sobre esses organismos e os impactos da poluição luminosa nessa região evidencia a necessidade de ampliar as investigações sobre a ocorrência, a conservação e o potencial dos vaga-lumes como bioindicadores em ecossistemas amazônicos.

Do ponto de vista educacional, o estudo contribui para a divulgação de conhecimentos relacionados à ecologia dos insetos, à conservação da biodiversidade e aos impactos das ações humanas sobre o meio ambiente. Além disso, o tema possibilita reflexões sobre a importância da educação ambiental e sobre o uso mais consciente da iluminação artificial.

No âmbito social e ambiental, a pesquisa destaca uma problemática que, muitas vezes, recebe menos atenção do que outras formas de poluição. Compreender os efeitos da iluminação artificial sobre os vaga-lumes pode contribuir para discussões relacionadas à conservação da biodiversidade e ao desenvolvimento de práticas mais sustentáveis no planejamento e na utilização dos espaços urbanos, em consonância com as reflexões trazidas por Fernandes e Rasoto (2017). Além disso, os resultados gerados podem servir de subsídio para a elaboração de políticas públicas voltadas ao planejamento urbano, à gestão da iluminação pública e a estratégias locais de conservação ambiental.

Dessa forma, o presente estudo mostra-se relevante por reunir informações sobre um tema atual e por contribuir para ampliar as discussões sobre os impactos da iluminação artificial noturna e a importância dos vaga-lumes para a avaliação da qualidade ambiental. Espera-se, com isso, oferecer uma contribuição significativa que sirva de base e estímulo para futuras investigações científicas voltadas à ecologia sensorial e à conservação de insetos bioluminescentes no cenário nacional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da poluição luminosa sobre os vaga-lumes (família Lampyridae), com ênfase nos impactos sobre seu comportamento, comunicação bioluminescente e potencial como bioindicadores ambientais, a partir da literatura científica nacional e internacional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais impactos ecológicos e comportamentais da poluição luminosa sobre os Lampyridae.
- Analisar os efeitos da iluminação artificial sobre a comunicação bioluminescente dos vaga-lumes.
- Avaliar o potencial dos vaga-lumes como bioindicadores ambientais.
- Discutir as principais estratégias de mitigação da poluição luminosa descritas na literatura.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 VAGA-LUMES (Lampyridae): BIOLOGIA, TAXONOMIA E CICLO DE VIDA

Os vaga-lumes pertencem à família Lampyridae, um grupo de coleópteros amplamente conhecido pela capacidade de produzir sinais luminosos por meio do fenômeno da bioluminescência. Taxonomicamente, os Lampyridae estão inseridos no Reino Animalia, Filo Arthropoda, Classe Insecta, Ordem Coleoptera e Subordem Polyphaga, integrando a superfamília Elateroidea (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010). Esta família subdivide-se em diferentes subfamílias, entre as quais se destacam *Lampyrinae*, *Photurinae*, *Amydetinae* e *Luciolinae*, que reúnem gêneros com ampla ocorrência na região neotropical, como *Photinus*, *Bicellonycha*, *Aspisoma* e *Amydetes* (SANTOS, 2013).

Esses insetos ocorrem em diferentes regiões do mundo, sendo mais comuns em ambientes com alta umidade, vegetação preservada e disponibilidade de recursos para alimentação e reprodução. No Brasil, são encontrados em diversos biomas, com registros relevantes em áreas de vegetação natural (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010).

O ciclo de vida dos Lampyridae é holometábolo, compreendendo quatro fases de desenvolvimento: ovo, larva, pupa e adulto. A oviposição ocorre, em geral, em ambientes úmidos, como solo, musgos e troncos em decomposição, e em algumas espécies os ovos podem apresentar emissão luminosa de baixa intensidade (HAGEN, 2009).

A fase larval corresponde ao período mais longo do ciclo de vida e caracteriza-se pelo hábito predador, principalmente sobre pequenos invertebrados como caracóis e lesmas. Em

seguida, ocorre a fase de pupa, na qual há a reorganização das estruturas corporais que darão origem ao adulto. A fase adulta é mais curta e está relacionada principalmente à dispersão e ao comportamento reprodutivo (HAGEN, 2009).

Estudos indicam que a diversidade de coleópteros bioluminescentes pode variar conforme o grau de conservação ambiental, com maior riqueza em áreas naturais e redução em ambientes urbanizados (SANTOS, 2013; VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010). Em áreas sob maior influência urbana, observa-se alteração na composição das comunidades e diminuição da ocorrência de algumas espécies sensíveis.

A bioluminescência dos vaga-lumes resulta de uma reação bioquímica que ocorre em estruturas especializadas chamadas fotóforos. Esse processo envolve a oxidação da luciferina pela enzima luciferase, na presença de oxigênio e energia celular, resultando na emissão de luz com baixa produção de calor. Essa adaptação possui função ecológica importante, especialmente relacionada à comunicação entre indivíduos da mesma espécie (OWENS; LEWIS, 2022).

Nos adultos, os sinais luminosos desempenham papel essencial no comportamento reprodutivo. Os padrões de piscadas variam entre as espécies em frequência, duração e intensidade, funcionando como mecanismos de reconhecimento entre machos e fêmeas. Em geral, os machos emitem sinais durante o voo, enquanto as fêmeas respondem a partir da vegetação, permitindo o encontro entre os indivíduos e favorecendo o acasalamento (HAGEN, 2009; OWENS; LEWIS, 2022).

O comportamento reprodutivo dos vaga-lumes está diretamente associado às condições naturais de escuridão do ambiente noturno. A presença de baixos níveis de luminosidade favorece a visualização dos sinais bioluminescentes emitidos durante o processo de corte e acasalamento, permitindo o reconhecimento entre os indivíduos da mesma espécie (LEWIS et al., 2024).

Estudos indicam que a exposição à luz artificial pode comprometer a comunicação luminosa dos vaga-lumes, contribuindo para alterações comportamentais e possíveis reduções populacionais em ambientes urbanizados (OWENS; LEWIS, 2022; LEWIS et al., 2024).

A Figura 1 apresenta o diagrama do ciclo de vida dos Lampyridae (vaga-lumes), evidenciando as principais fases do desenvolvimento desses insetos: ovo, larva, pupa e adulto. Em cada etapa são descritas as características biológicas mais relevantes, incluindo o local de

desenvolvimento, hábitos alimentares e aspectos relacionados ao comportamento e à reprodução da espécie.

Figura 1– Representação esquemática do ciclo de vida dos Lampyridae, destacando as quatro fases do desenvolvimento holometábolo: ovo, larva, pupa e adulto. A figura apresenta as principais características de cada etapa, desde a postura dos ovos em ambientes.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2026), adaptado de Hagen (2009) e Viviani (2010).

Considerando a dependência que o ciclo biológico do grupo possui em relação à integridade do fotoperíodo natural, as variações em suas populações funcionam como excelentes ferramentas analíticas, introduzindo o papel destes insetos nas práticas de bioindicação ambiental.

3.2 POLUIÇÃO LUMINOSA E ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NOTURNA (ALAN)

A poluição luminosa é um problema ambiental associado ao uso excessivo ou inadequado da iluminação artificial durante a noite. Embora a luz seja essencial para a realização de diversas atividades humanas, sua utilização sem planejamento pode provocar alterações nas condições naturais dos ambientes, afetando organismos que dependem da escuridão para realizar atividades como alimentação, orientação e reprodução (ARAUJO; PICAZZIO, 2021; HÖLKER et al., 2023).

A literatura científica classifica a poluição luminosa em diferentes categorias. Entre as principais destacam-se o brilho do céu noturno (skyglow), caracterizado pelo brilho artificial do céu noturno provocado pela dispersão da luz na atmosfera; o ofuscamento (glare), que corresponde ao ofuscamento causado pelo excesso de luminosidade; a invasão de luz (light trespass), definido

pela incidência de luz em locais onde ela não é desejada; e a desordem luminosa (clutter), representado pela concentração excessiva de fontes luminosas em uma mesma área. Esses fenômenos comprometem a qualidade do ambiente noturno e intensificam os impactos sobre a fauna, a flora e o funcionamento dos ecossistemas.

Com o objetivo de facilitar a compreensão dos principais tipos de poluição luminosa descritos na literatura científica, foi elaborada a Figura 2. A figura apresenta uma representação esquemática dos fenômenos brilho do céu noturno, ofuscamento, invasão de luz e desordem luminosa, destacando suas características e formas de ocorrência no meio natural. Essa representação permite visualizar como a iluminação artificial inadequada pode comprometer a qualidade do período noturno e intensificar impactos sobre a fauna, a flora e o funcionamento dos ecossistemas.

Figura 2– Representação visual dos principais tipos de poluição luminosa: brilho do céu noturno (skyglow), ofuscamento (glare), invasão de luz (light trespass) e desordem luminosa (clutter), evidenciando diferentes formas de interferência da iluminação.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2026), com auxílio de inteligência artificial, adaptado de Araujo e Picazzio (2021) e Hölker et al. (2023).

Nas últimas décadas, a expansão urbana e o aumento dos sistemas de iluminação pública contribuíram para a intensificação da luz artificial em áreas urbanas e periurbanas. Esse processo tem despertado o interesse da comunidade científica devido aos seus possíveis impactos sobre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas.

No Brasil, estudos realizados com besouros bioluminescentes indicam que a urbanização e a iluminação artificial podem influenciar a ocorrência e a diversidade dessas espécies, especialmente em ambientes submetidos a maior interferência humana (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010). Esses resultados demonstram que as alterações provocadas pela expansão urbana afetam diretamente organismos adaptados aos ambientes naturalmente escuros, reforçando a necessidade de estratégias de conservação. A expansão da ALAN está relacionada ao crescimento das cidades e à ampliação das atividades humanas no período noturno, podendo provocar alterações em diferentes ecossistemas (HÖLKER et al., 2023).

Diversos estudos apontam que a ALAN interfere nos ritmos biológicos de organismos vegetais e animais. A alteração dos ciclos naturais de luz e escuridão desregula relógios circadianos, prejudicando processos metabólicos e comportamentais de espécies que necessitam do fotoperíodo natural para manter seu equilíbrio ecológico e a manutenção da biodiversidade (HÖLKER et al., 2023).

Entre os grupos mais sensíveis à poluição luminosa estão os insetos, que desempenham funções importantes nos ecossistemas, como polinização, decomposição da matéria orgânica e participação nas cadeias alimentares. A exposição à ALAN pode provocar alterações na fototaxia (atração ou repulsão em relação à luz) e reduzir a capacidade de sobrevivência de diversas espécies, principalmente aquelas adaptadas aos ambientes noturnos (OLIVEIRA et al., 2014).

Nos últimos anos, a substituição de sistemas convencionais de iluminação pela tecnologia LED tem ampliado as discussões sobre os impactos da iluminação artificial. Embora essas lâmpadas apresentem elevada eficiência energética, maior durabilidade e menor consumo de energia elétrica, pesquisas demonstram que determinadas características de sua emissão luminosa podem afetar organismos sensíveis à luz artificial.

Entre essas características destaca-se a elevada emissão de luz na faixa do espectro azul, comprimento de onda que exerce maior influência sobre os ritmos biológicos de diversos organismos noturnos. Além da intensidade luminosa, outro fator importante é a temperatura de cor, medida em Kelvin (K), que indica a tonalidade da luz emitida. Lâmpadas LED com temperaturas

de cor mais elevadas (acima de 4000 K) apresentam maior emissão de luz na faixa azul do espectro, sendo potencialmente mais impactantes para a fauna noturna.

Em insetos, especialmente nos vaga-lumes, essa característica espectral pode interferir na percepção dos sinais bioluminescentes utilizados na comunicação reprodutiva, reduzindo o sucesso dos acasalamentos e comprometendo a manutenção das populações. Esses resultados reforçam a necessidade de que o planejamento da iluminação urbana considere não apenas aspectos econômicos e energéticos, mas também seus impactos sobre a biodiversidade (FERNANDES; RASOTO, 2017).

Em relação aos vaga-lumes, pesquisas desenvolvidas no Brasil demonstram que a ALAN pode interferir na ocorrência e na atividade desses insetos. Estudos realizados por Hagen (2009) e Viviani, Rocha e Hagen (2010) apontam que ambientes submetidos à intensa iluminação artificial tendem a apresentar redução na diversidade e abundância de espécies bioluminescentes, evidenciando a sensibilidade desses organismos às alterações provocadas pela urbanização.

A principal consequência da luz artificial para os vaga-lumes está relacionada à interferência na comunicação bioluminescente utilizada durante o comportamento reprodutivo. A emissão de sinais luminosos é fundamental para o reconhecimento entre machos e fêmeas da mesma espécie. Entretanto, a presença de fontes artificiais de luz reduz o contraste entre os flashes emitidos pelos insetos e a escuridão natural do ambiente, dificultando a localização dos parceiros e diminuindo o sucesso reprodutivo das populações.

Além dos efeitos sobre a reprodução, a ALAN pode provocar alterações nos padrões de deslocamento, alimentação e atividade noturna, modificando o comportamento natural dos vaga-lumes e aumentando sua vulnerabilidade à predação. Esses impactos, quando associados à perda e à fragmentação de habitats decorrentes da expansão urbana, podem contribuir para o declínio populacional observado em diferentes regiões do mundo.

Nesse contexto, diversos pesquisadores têm destacado os vaga-lumes como importantes bioindicadores ambientais. Por apresentarem elevada sensibilidade às alterações ambientais, especialmente às mudanças na qualidade do ambiente noturno, esses insetos constituem ferramentas relevantes para o monitoramento da integridade dos ecossistemas. A redução de sua abundância ou diversidade pode indicar alterações ambientais decorrentes da urbanização, da degradação dos habitats e do aumento da poluição luminosa.

O Quadro 1 apresenta uma comparação entre bioindicadores ambientais tradicionalmente utilizados e os Lampyridae como bioindicadores do ambiente noturno. São destacadas suas principais características, aplicações e contribuições para o monitoramento da qualidade ambiental, evidenciando o potencial dos vaga-lumes como indicadores sensíveis às alterações provocadas pela poluição luminosa.

Quadro 1 – Análise comparativa de atributos ecológicos entre grupos de bioindicadores ambientais tradicionais (formigas, borboletas e macroinvertebrados aquáticos) e a família Lampyridae.

Grupos de bioindicadores tradicionais	Família Lampyridae
Formigas (Hymenoptera: Formicidae), borboletas (Lepidoptera: Nymphalidae e outros grupos) e macroinvertebrados aquáticos (diversos grupos de insetos e outros invertebrados) são utilizados para avaliar alterações ambientais.	Vaga-lumes (Lampyridae) apresentam potencial para avaliar alterações relacionadas ao ambiente noturno.
Respondem principalmente a alterações no solo, na vegetação, na qualidade da água e à poluição química.	Respondem de forma sensível às alterações provocadas pela iluminação artificial noturna.
A maioria dos grupos apresenta atividade predominantemente diurna ou crepuscular.	Apresentam comportamento predominantemente noturno, utilizando sinais luminosos para comunicação e reprodução.
São utilizados para monitorar mudanças gerais na qualidade ambiental.	Podem indicar alterações na integridade dos ecossistemas noturnos e nos processos ecológicos associados à comunicação bioluminescente.
Possuem ampla utilização em programas de monitoramento ambiental.	Apresentam potencial emergente como bioindicadores de impactos da poluição luminosa.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Observa-se que, embora os bioindicadores tradicionais sejam amplamente utilizados na avaliação da qualidade ambiental, os Lampyridae apresentam características específicas que os tornam especialmente sensíveis à iluminação artificial noturna. Dessa forma, seu uso como bioindicadores complementa métodos convencionais de monitoramento ambiental, como análises da qualidade da água, do solo e da vegetação, além do uso de grupos bioindicadores, já estabelecidos, como formigas, borboletas e macroinvertebrados aquáticos, permitindo avaliar os impactos da poluição luminosa sobre a integridade dos ecossistemas noturnos.

Dessa forma, a poluição luminosa configura-se como um dos principais desafios ambientais associados ao crescimento urbano contemporâneo. Embora a iluminação artificial seja indispensável para a segurança e para o desenvolvimento das atividades humanas, seu uso inadequado pode comprometer significativamente a conservação da biodiversidade.

Assim, torna-se essencial que políticas públicas e projetos de iluminação urbana conciliem eficiência energética, segurança e preservação ambiental, adotando tecnologias e estratégias que minimizem os impactos sobre organismos noturnos. Nesse cenário, a conservação dos vaga-lumes ultrapassa a proteção de uma única família de insetos, representando também a preservação dos processos ecológicos e da qualidade ambiental dos ecossistemas naturais.

Para compreender de que forma a inserção dessas luzes artificiais afeta diretamente essa dinâmica ecológica, faz-se necessário analisar detalhadamente os aspectos biológicos e comportamentais da família Lampyridae, conforme exposto na seção a seguir.

3.3 BIOINDICADORES AMBIENTAIS E O PAPEL DOS Lampyridae COMO SENTINELAS

A intensificação das atividades humanas tem provocado alterações significativas nos ecossistemas naturais, o que tem ampliado a necessidade de instrumentos capazes de avaliar a qualidade ambiental e identificar processos de degradação. Nesse contexto, a bioindicação constitui uma das principais abordagens utilizadas no monitoramento ecológico contemporâneo.

De acordo com a literatura, esse conceito refere-se ao uso de espécies, grupos ou comunidades biológicas cuja presença, ausência, abundância ou comportamento refletem as condições ambientais de determinado ecossistema (OLIVEIRA et al., 2014). Em contraste com

análises físico-químicas pontuais, os organismos bioindicadores permitem uma interpretação mais integrada das alterações ambientais ao longo do tempo.

Embora frequentemente utilizados como sinônimos, os termos bioindicador, biomonitor e organismo sentinela apresentam diferenças conceituais. Os bioindicadores fornecem informações sobre a qualidade ambiental por meio de sua ocorrência, abundância ou comportamento. Os biomonitores, além de indicar alterações ambientais, permitem mensurar a presença e a intensidade de contaminantes ao longo do tempo. Já os organismos sentinelas funcionam como sistemas de alerta precoce, respondendo rapidamente às mudanças ambientais e possibilitando a identificação antecipada de impactos ecológicos.

Um organismo é considerado um bom bioindicador quando apresenta elevada sensibilidade às alterações ambientais, ampla distribuição geográfica, facilidade de identificação e monitoramento, além de responder de maneira previsível às mudanças nas condições do ambiente. Essas características tornam possível acompanhar a qualidade dos ecossistemas e subsidiar ações de conservação e manejo ambiental.

No âmbito ecológico, diferentes grupos são utilizados como bioindicadores em estudos ambientais. Em ecossistemas aquáticos, macroinvertebrados e peixes são frequentemente empregados na avaliação da qualidade da água. Em ambientes terrestres, plantas, líquens e diversos grupos de insetos também são utilizados em análises relacionadas à fragmentação de habitats e mudanças na paisagem (OLIVEIRA et al., 2014). No entanto, muitos desses organismos apresentam maior sensibilidade a variações associadas ao período diurno ou a parâmetros ambientais específicos, o que limita sua aplicação na avaliação de impactos relacionados ao ambiente noturno.

Nesse contexto, os Lampyridae se destacam por sua dependência direta de condições adequadas de escuridão para a comunicação bioluminescente e para o sucesso reprodutivo. Essa característica os torna particularmente sensíveis às alterações provocadas pela iluminação artificial noturna em ambientes urbanos e periurbanos (SANTOS, 2013; VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010). Dessa forma, alterações na diversidade de vaga-lumes podem estar associadas a diferentes níveis de impacto ambiental.

Estudos realizados em áreas com distintos graus de urbanização indicam variações na riqueza e na composição de espécies de Lampyridae, com tendência de redução em ambientes mais impactados (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010; SANTOS, 2013). Esses resultados sugerem que o grupo pode responder de maneira sensível às modificações do ambiente noturno, o que reforça seu potencial como indicador complementar em estudos de avaliação ambiental.

Assim, os vaga-lumes podem ser compreendidos como organismos relevantes para análises ecológicas em contextos onde a poluição luminosa exerce influência significativa. Suas respostas populacionais e comportamentais contribuem para a compreensão das alterações na estrutura dos ecossistemas, especialmente em ambientes urbanos e periurbanos.

Diante desse declínio populacional sofrido por essas espécies sentinelas, torna-se imperativo discutir as estratégias normativas e técnicas disponíveis para frear a poluição luminosa, garantindo a conservação desses ecossistemas frágeis.

Para ilustrar o tipo de material biológico utilizado em estudos taxonômicos sobre Lampyridae, apresenta-se a Figura 3, contendo exemplares montados e etiquetados em coleção científica, evidenciando as características morfológicas empregadas na identificação das espécies (Viviani et al., 2010).

Figura 3- Exemplares de diferentes espécies de Lampyridae montados e etiquetados para identificação taxonômica em coleção científica.

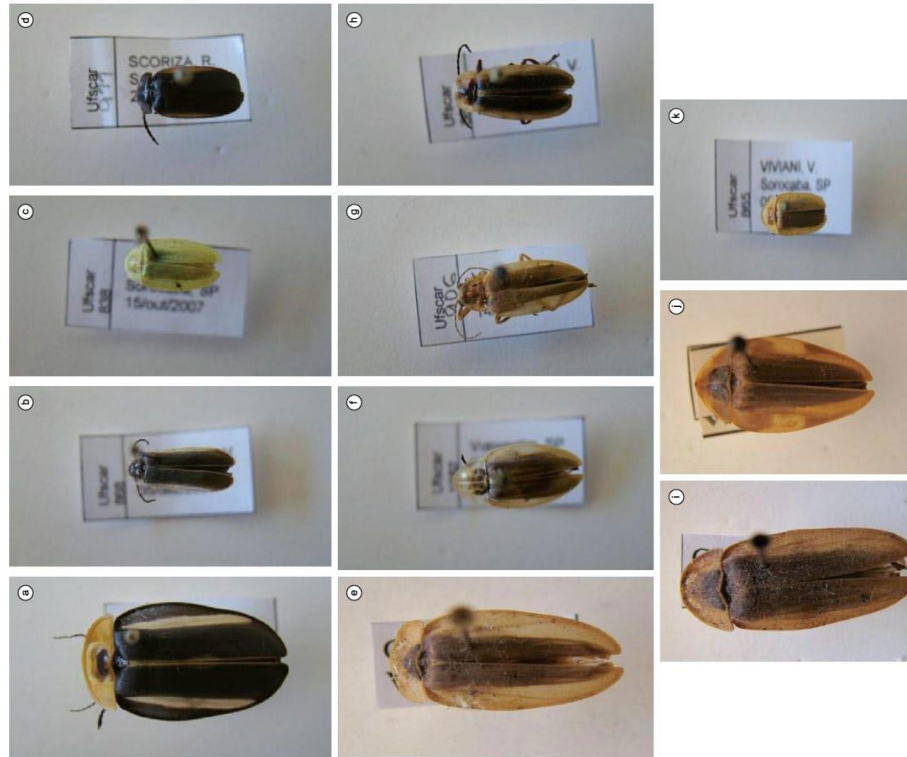


Figura 3. Algumas espécies de vaga-lumes lampíreos (Coleoptera: Lampyridae) conspicuas em diferentes habitats na região de Campinas (Brasil): (Panel superior) espécies de floresta estacional e crescimentos secundários: a) *Cratomorphus distinctus* Olivier, 1895 (Lampyrinae: Cratomorphini); b) *Photinus* sp.1 (Lampyrinae: Photinini); c) *Agriusoma physionotum* Gorman 1884 (Lampyrinae: Cratomorphini); e d) *Pyrogaster moestus* Germar, 1824 (Photurinae); (Panel intermediária) espécies palustres: e) *Cratomorphus* sp.2 (Lampyrinae: Cratomorphini); f) *Agriusoma* sp.2 (Lampyrinae: Cratomorphini); g) *Bicellonychia ornaticollis* Blanchard, 1837 (Photurinae); h) *Bicellonychia lividipennis* (Photurinae); (Panel inferior) espécies campestres: i) *Cratomorphus concolor* Perty 1830 (Lampyrinae: Cratomorphini); j) *Agriusoma lineatum* Gyllhal 1817 (Lampyrinae: Cratomorphini); k) *Agriusoma* sp.4 (Lampyrinae: Cratomorphini).
Figure 3. Some common firefly species (Coleoptera: Lampyridae) in different habitats of Campinas (Brazil): (Higher panel) woody environment species found in seasonal rain forest and secondary growths: a) *Cratomorphus distinctus* Olivier, 1895 (Lampyrinae: Cratomorphini); b) *Photinus* sp.1 (Lampyrinae: Photinini); c) *Agriusoma physionotum* Gorman 1884 (Lampyrinae: Cratomorphini); e d) *Pyrogaster moestus* Germar, 1824 (Photurinae); (middle panel) marshy species: e) *Cratomorphus* sp.2 (Lampyrinae: Cratomorphini); f) *Agriusoma* sp.2 (Lampyrinae: Cratomorphini); g) *Bicellonychia ornaticollis* Blanchard, 1837 (Photurinae); h) *Bicellonychia lividipennis* (Photurinae); (Lower panel) open field species: i) *Cratomorphus concolor* Perty 1830 (Lampyrinae: Cratomorphini); j) *Agriusoma lineatum* Gyllhal 1817 (Lampyrinae: Cratomorphini); k) *Agriusoma* sp.4 (Lampyrinae: Cratomorphini).

Fonte: Viviani et al. (2010).

3.4 CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO LUMINOSA

A conservação da biodiversidade constitui um dos principais desafios ambientais da atualidade, especialmente diante do avanço da urbanização e da intensificação das atividades humanas sobre os ecossistemas naturais. Entre os diferentes fatores associados à perda de biodiversidade, a poluição luminosa vem sendo discutida na literatura por seus efeitos sobre processos ecológicos importantes. Embora muitas vezes menos evidente do que outras formas de poluição, a iluminação artificial excessiva pode interferir no funcionamento dos ecossistemas e no comportamento de diferentes grupos de organismos (LONGCORE; RICH, 2019).

Estudos indicam que a poluição luminosa pode afetar processos como orientação, alimentação, deslocamento e reprodução de espécies noturnas (GASTON et al., 2013). No caso

dos vaga-lumes, esses impactos tendem a ser mais relevantes devido à dependência da comunicação bioluminescente para o encontro entre indivíduos e para o sucesso reprodutivo (OWENS; LEWIS, 2022). Dessa forma, alterações na intensidade ou na qualidade da iluminação podem interferir diretamente na manutenção dessas populações em ambientes urbanizados.

As estratégias de mitigação da poluição luminosa envolvem medidas técnicas e de planejamento urbano voltadas à redução dos impactos causados pela iluminação artificial. Segundo Mazzotti e Pirró (2022), o manejo adequado da iluminação deve considerar aspectos como a utilização da luz apenas quando necessária, o direcionamento correto do fluxo luminoso, o controle da intensidade e a escolha do espectro luminoso mais adequado.

Entre as soluções utilizadas para minimizar esses impactos estão as luminárias com corte total (full cut-off), que direcionam a luz para áreas específicas, reduzindo sua dispersão no ambiente e diminuindo efeitos como o brilho difuso do céu noturno e o ofuscamento. Essas estratégias contribuem para uma iluminação mais eficiente e compatível com a conservação dos ecossistemas noturnos.

Além disso, a substituição de sistemas de iluminação convencionais pela tecnologia LED (Light Emitting Diode) tem sido amplamente adotada devido à sua eficiência energética e à redução de custos operacionais (FERNANDES; RASOTO, 2017). Entretanto, sua implementação deve ser planejada considerando aspectos ambientais, como intensidade e composição espectral da luz, a fim de evitar impactos negativos sobre organismos sensíveis à iluminação artificial noturna..

No entanto, a literatura aponta que, dependendo das características espectrais, especialmente em luzes de tonalidade fria com maior emissão na faixa azul, podem ocorrer impactos mais intensos sobre organismos sensíveis à luz, incluindo insetos noturnos (OWENS; LEWIS, 2022). Por isso, recomenda-se a utilização de LEDs com temperaturas de cor mais quentes ou com filtragem espectral, como forma de reduzir os efeitos sobre a fauna noturna (MAZZOTTI; PIRRÓ, 2022).

No cenário internacional, observa-se o desenvolvimento de políticas e iniciativas voltadas ao controle da poluição luminosa. O Chile, por exemplo, adota regulamentações específicas para a proteção de áreas com interesse astronômico e ambiental (ARAUJO; PICAZZIO, 2021). Além disso, iniciativas como as Dark Sky Reserves têm sido implementadas em diferentes regiões do

mundo, com o objetivo de preservar áreas com baixa interferência luminosa e manter condições adequadas de visibilidade do céu noturno.

No Brasil, entretanto, ainda há limitações na implementação de políticas específicas para o controle da poluição luminosa. Conforme destacado por Dominici (2019), embora existam iniciativas de divulgação científica sobre o tema, ainda predomina a associação entre iluminação artificial e progresso, o que dificulta a ampliação de medidas regulatórias mais efetivas. Assim, observa-se uma lacuna normativa que contribui para a manutenção de altos níveis de iluminação artificial em áreas urbanas e periurbanas.

Diante desse cenário, a mitigação da poluição luminosa requer uma abordagem integrada, envolvendo planejamento urbano, adequações tecnológicas e ações de conscientização ambiental. Medidas como o controle do espectro de iluminação, o uso de sistemas direcionados e a criação de áreas com menor intensidade luminosa podem contribuir tanto para a conservação de espécies sensíveis, como os vaga-lumes, quanto para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas noturnos.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, com abordagem qualitativa e natureza exploratório-descritiva. A revisão integrativa foi adotada por possibilitar a síntese de diferentes evidências científicas sobre um determinado fenômeno, permitindo reunir e analisar estudos com diferentes delineamentos metodológicos de forma sistemática e abrangente, conforme proposto por Mendes, Silveira e Galvão (2008).

O levantamento bibliográfico foi realizado entre março e abril de 2026, sendo atualizado por meio de uma busca complementar realizada em 15 de junho de 2026, nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Portal de Periódicos da CAPES, além de repositórios institucionais. Foram utilizados os seguintes descritores, combinados por operadores booleanos: “Lampyridae” AND “poluição luminosa”; “vaga-lumes” AND “iluminação artificial noturna”; “Artificial Light at Night”; “bioindicadores ambientais” AND “insetos”; “LED” AND “vaga-lumes”.

Os descritores foram definidos pelas autoras com base na literatura científica relacionada ao tema da pesquisa e combinados por meio de operadores booleanos, com o objetivo de ampliar a recuperação de estudos pertinentes aos objetivos da investigação.

A busca inicial nas bases de dados consultadas, refletindo a especificidade e a escassez de literatura sobre a temática, recuperou um total de 21 registros. O número reduzido de estudos recuperados reflete a escassez de publicações que abordam especificamente a relação entre os Lampyridae e os impactos da poluição luminosa, evidenciando a necessidade de ampliação das pesquisas nessa área. Após a aplicação dos filtros preliminares de refinamento, como a seleção de textos completos e a exclusão de registros não pertinentes ao tema, restaram 15 estudos potencialmente elegíveis para a triagem de títulos e resumos. Em seguida, mediante a aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão e a retirada das duplicatas, o corpus final da revisão integrativa foi consolidado em 13 documentos, distribuídos em 10 artigos científicos, 1 dissertação de mestrado, 1 trabalho de conclusão de curso e 1 estudo de revisão.

Foram incluídos estudos disponíveis em texto completo, publicados em português e inglês, que abordassem diretamente a biologia dos Lampyridae, os efeitos da iluminação artificial noturna (ALAN), o uso de insetos como bioindicadores e os impactos ecológicos da poluição luminosa em ambientes naturais e urbanos.

Foram excluídos estudos duplicados, publicações fora do escopo temático, trabalhos sem relação direta com a ecologia de insetos noturnos ou com os efeitos da iluminação artificial sobre a fauna, bem como estudos publicados fora do recorte temporal principal (2009–2024), salvo aqueles considerados fundamentais para a fundamentação teórica. Nesse contexto, foram mantidos trabalhos clássicos quando essenciais à compreensão do tema e excluídos estudos como os de Viviani (1989) e Bechara (1994), por apresentarem enfoque predominantemente biológico, bioquímico ou biotecnológico, sem relação direta com os impactos ecológicos e comportamentais da poluição luminosa sobre os Lampyridae.

Após a etapa de triagem e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, o corpus final da revisão integrativa foi composto por 13 documentos, organizados e codificados de D01 a D13. O Quadro 2 apresenta a caracterização dos 13 estudos selecionados que compõem o corpus de análise desta revisão integrativa. Foram organizadas informações referentes ao código de identificação dos estudos, autores, ano e país de publicação, tipo de material, fonte, tema principal e principais

resultados encontrados. Essa organização permitiu visualizar as características gerais das publicações incluídas e identificar as principais abordagens relacionadas aos impactos da poluição luminosa sobre os Lampyridae.

Quadro 2 - Caracterização do corpus de análise (D01 a D013).

Cód.	Autores	Ano/ País	Tipo de material	Fonte	Tema principal	Resultado principal
D01	Viviani et al.	2010/ Brasil	Artigo científico	Biota Neotropica	Urbanização e biodiversidade	Redução da biodiversidade
D02	Hagen	2009/ Brasil	Trabalho acadêmico	Universidade Federal de São Carlos	Iluminação artificial	Redução de populações
D03	Mazzotti	2022/ Brasil	Artigo científico	Revista Belas Artes	Poluição luminosa	Impacto ambiental
D04	Santos	2013/ Brasil	Dissertaçã o	Universidade Federal de São Carlos	Bioindicadores	Associação com a urbanização
D05	Araujo	2021/ Brasil	Artigo científico	Revista Ibero- Americana de Humanidades , Ciências e Educação	Impactos sociais e ambientais	Impactos socioambientais
D06	Oliveira et al.	2014/ Brasil	Artigo científico	Revista Ceres	Insetos bioindicadores	Sensibilidade como bioindicadores
D07	Fernande s	2017/ Brasil	Artigo científico	Revista FAE	Tecnologia LED	Eficiência energética e impactos ecológicos
D08	Dominici	2019/ Brasil	Estudo de revisão	Universidade Estadual de Campinas	Conscientização ambiental	Ausência de políticas públicas
D09	Owens; Lewis	2022/ Estados Unidos	Artigo científico	Royal Society Open Science	Impacto biológico e reprodutivo	Comprometimen to reprodutivo

D10	McNeil et al.	2024/ Canadá	Artigo científico	Science of the Total Environment	Dinâmica populacional	Alteração da dinâmica populacional
D11	Lewis et al.	2024/ Estados Unidos	Artigo científico	Insects	Conservação global	Declínio populacional e necessidade de conservação
D12	Hölker et al.	2023/ Alemanha	Artigo científico	Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences	Impacto ecossistêmico	Fragmentação de habitats
D13	Oliveira et al.	2017/ Brasil	Artigo científico	Scientific Reports	Bioindicação e integridade	Bioindicação da integridade ambiental

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Observa-se que o corpus de análise foi composto predominantemente por artigos científicos publicados entre 2009 e 2024, com maior concentração de estudos realizados no Brasil e crescente participação de pesquisas internacionais nos anos mais recentes. Os trabalhos analisados convergem ao evidenciar que a poluição luminosa afeta o comportamento, a reprodução e a dinâmica populacional dos Lampyridae, reforçando seu potencial como bioindicadores da qualidade ambiental e a necessidade de estratégias voltadas à sua conservação.

A análise do material foi realizada por meio da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011), estruturada rigorosamente em três etapas sequenciais: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados com interpretação.

Na etapa de pré-análise, realizou-se a leitura flutuante do corpus documental de 13 documentos, a formulação das hipóteses e a preparação do material para o exame detalhado.

Na etapa de exploração, os textos foram codificados em Unidades de Registro (UR), compostas por trechos relacionados aos efeitos da iluminação artificial noturna, à comunicação bioluminescente e ao declínio populacional dos Lampyridae. Como exemplo de Unidade de Registro, destacam-se trechos que evidenciam a interferência da iluminação artificial na

comunicação reprodutiva dos vaga-lumes. Esses fragmentos foram identificados a partir da recorrência temática observada no corpus.

Por fim, na etapa de tratamento dos resultados e interpretação, as Unidades de Registro foram agrupadas por similaridade de sentido de forma indutiva, originando as categorias analíticas que emergiram do próprio acervo documental. A organização das categorias ocorreu mediante a comparação das Unidades de Registro identificadas em cada estudo. Inicialmente, os trechos foram agrupados conforme a proximidade temática e, posteriormente, confrontados entre si, permitindo identificar padrões recorrentes relacionados aos objetivos da pesquisa. Esse processo interpretativo possibilitou a construção das categorias analíticas de forma indutiva, refletindo os principais eixos temáticos presentes no corpus analisado.

As categorias analíticas definidas compreenderam: (i) Impactos Biológicos e Reprodutivos da ALAN e do LED nos Lampyridae; (ii) Os Lampyridae como Bioindicadores da Integridade Sensorial dos Ecossistemas; e (iii) Desafios Socioambientais e Mitigação da Poluição Luminosa.

Com o objetivo de facilitar a análise e a discussão dos resultados, os estudos incluídos no corpus foram organizados em categorias temáticas de acordo com seus principais enfoques. O Quadro 3 apresenta a distribuição dos estudos selecionados conforme as categorias temáticas identificadas a partir da análise de conteúdo. As categorias foram definidas considerando os principais enfoques encontrados na literatura, incluindo impactos biológicos e reprodutivos, bioindicação ambiental e desafios relacionados à mitigação da poluição luminosa.

Quadro 3 - Distribuição dos estudos por categoria temática.

Categorias	Estudos
Impactos biológicos e reprodutivos	D01, D02, D09, D10, D12
Bioindicação ambiental	D04, D05, D12, D13
Desafios e mitigação	D03, D06, D07, D08, D10, D11

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

A distribuição dos estudos evidencia que a literatura aborda a poluição luminosa sob diferentes perspectivas, com destaque para os impactos biológicos e reprodutivos sobre os Lampyridae, bem como para os desafios relacionados à mitigação desse fenômeno. Além disso, observa-se um número expressivo de pesquisas que reconhecem o potencial desses insetos como bioindicadores ambientais, demonstrando que a temática vem sendo investigada de forma multidimensional e complementar.

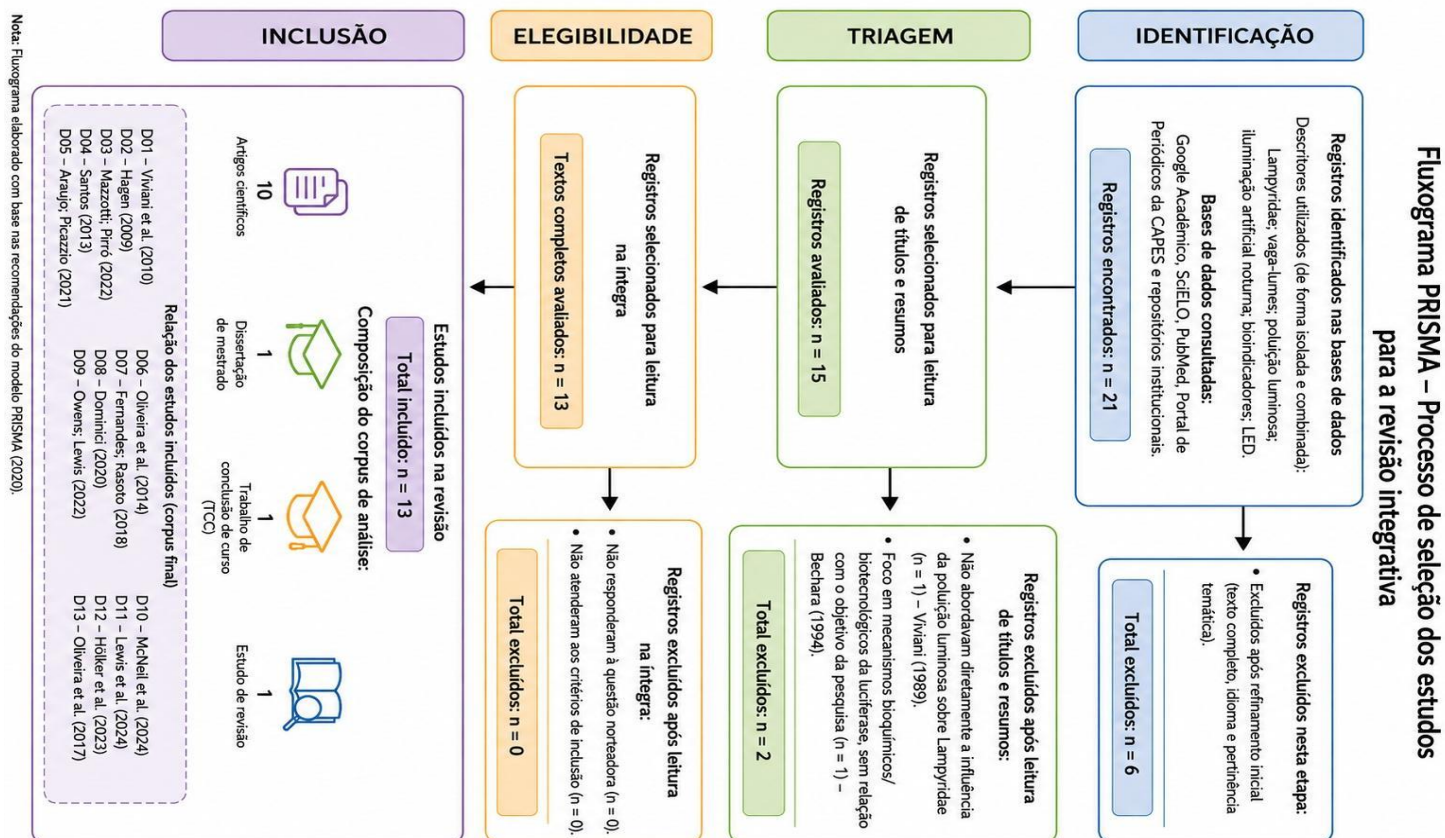
Em razão da escassez de estudos específicos sobre Lampyridae em determinadas regiões do Brasil, especialmente na região Norte, foi necessário ampliar o escopo de análise para incluir literatura internacional. Essa ampliação contribuiu para fortalecer a base teórica do estudo, embora possa reduzir a especificidade regional dos resultados.

Além disso, o número reduzido de trabalhos diretamente focados em alguns recortes temáticos também pode limitar a amplitude das inferências, considerando a diversidade de respostas ecológicas entre diferentes espécies de Lampyridae.

Por se tratar de pesquisa baseada exclusivamente em dados secundários, de domínio público e sem envolvimento direto de seres humanos, este estudo foi dispensado de apreciação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), conforme a Resolução CNS nº 510, de 7 de abril de 2016.

A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão integrativa, elaborado com base nas recomendações do modelo PRISMA (2020). O fluxograma descreve as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, evidenciando o número inicial de trabalhos identificados, a remoção de duplicatas, os critérios de exclusão aplicados e o corpus final composto por 13 documentos.

Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão integrativa, adaptado do modelo PRISMA.



Fonte: Elaborado pelas autoras, adaptado de PRISMA Statement (2020).

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS ANALISADOS

O corpus de análise foi composto por 13 documentos, distribuídos em 10 artigos científicos (76,9%), 1 dissertação de mestrado (7,7%), 1 trabalho de conclusão de curso (7,7%) e 1 estudo de revisão (7,7%). As publicações selecionadas foram produzidas entre os anos de 2009 e 2024, conforme apresentado no Quadro 4.

Em relação ao país de origem, observou-se predominância de estudos nacionais, correspondendo a 9 publicações (69,2%), enquanto 4 estudos (30,8%) foram desenvolvidos em

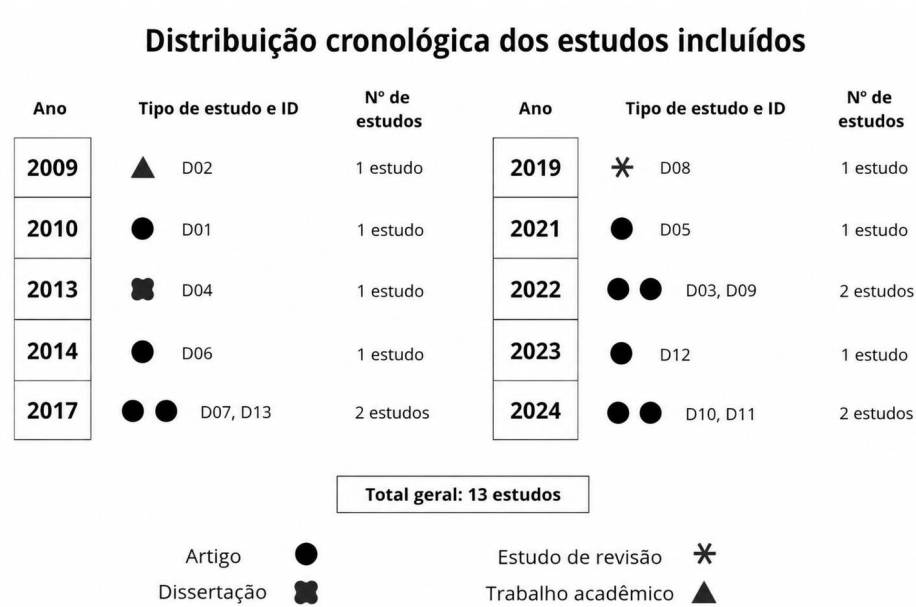
outros países, incluindo Estados Unidos, Canadá e Alemanha. Essa distribuição demonstra que, embora a literatura brasileira represente a maior parte do corpus analisado, pesquisas internacionais também contribuíram de forma significativa para a compreensão dos impactos da iluminação artificial sobre os Lampyridae.

A predominância de estudos brasileiros pode estar relacionada à elevada diversidade de espécies de Lampyridae presente no país, bem como ao crescente interesse pela conservação da biodiversidade diante da expansão da iluminação artificial noturna. No entanto, a presença de estudos desenvolvidos em outros países demonstra que os impactos da poluição luminosa constituem uma preocupação global, sendo observados em diferentes contextos ecológicos. Essa convergência entre pesquisas nacionais e internacionais reforça a consistência das evidências sobre os efeitos negativos da iluminação artificial no comportamento e na sobrevivência dos vaga-lumes.

Em relação à distribuição temporal, verificou-se que os estudos selecionados abrangem o período de 2009 a 2024, indicando que as pesquisas sobre os impactos da iluminação artificial noturna (ALAN) nos Lampyridae vêm sendo publicadas ao longo desse intervalo. Para melhor visualização dessa distribuição temporal e da frequência das categorias documentais, os dados foram sintetizados no gráfico da Figura 5.

O aumento do número de publicações entre 2022 e 2024 sugere um fortalecimento das pesquisas voltadas aos impactos ecológicos da iluminação artificial noturna. Esse crescimento pode refletir a maior conscientização sobre a poluição luminosa como fator de degradação ambiental, bem como o avanço de estudos voltados à conservação de insetos, grupo que vem apresentando declínio populacional em diversas regiões do mundo. Dessa forma, observa-se que a temática tem adquirido relevância crescente tanto na comunidade científica quanto nas discussões sobre conservação da biodiversidade.

Figura 5- Distribuição temporal e tipo de publicação dos estudos incluídos (2009–2024).



Nota: O número de estudos refere-se à quantidade total de documentos incluídos em cada ano.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Em conjunto, a caracterização dos materiais analisados evidencia que o corpus selecionado reúne estudos com diferentes naturezas documentais, períodos de publicação e contextos geográficos, proporcionando uma base diversificada para a presente revisão integrativa. Observa-se ainda uma maior concentração de publicações entre 2022 e 2024, indicando o fortalecimento das pesquisas sobre os impactos da iluminação artificial noturna nos Lampyridae e seu potencial como bioindicadores ambientais. Essa diversidade de evidências fortalece a análise dos danos à fauna, contribuindo diretamente para responder ao problema de pesquisa proposto neste estudo.

5.2 ORGANIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE ANÁLISE

A organização das categorias analíticas decorreu da identificação de padrões temáticos recorrentes durante a exploração do corpus, conforme os pressupostos da Análise de Conteúdo

proposta por Bardin (2011). Ao longo da leitura interpretativa dos estudos, observou-se que diferentes pesquisas, embora conduzidas em contextos e abordagens distintas, convergiam para três grandes eixos de discussão. Desse modo, adotou-se o modelo de categorias emergentes, as quais surgiram de forma indutiva a partir dos dados e evidências encontrados no próprio acervo documental. Essa convergência permitiu agrupar os achados segundo sua proximidade temática, favorecendo uma análise integrada dos impactos da poluição luminosa sobre os Lampyridae.

A primeira categoria reuniu estudos que abordavam os efeitos biológicos e reprodutivos da iluminação artificial noturna (ALAN) e da tecnologia LED, destacando alterações na comunicação bioluminescente, no comportamento de acasalamento, na atividade noturna e na dinâmica populacional desses insetos. A recorrência desses aspectos evidenciou que as respostas biológicas à iluminação artificial constituíam o núcleo central das investigações analisadas.

A segunda categoria emergiu da frequência de estudos que discutiam os Lampyridae como bioindicadores ambientais. Os trabalhos reunidos nesse eixo enfatizavam a sensibilidade desses organismos às alterações do ambiente luminoso, bem como seu potencial para indicar mudanças na qualidade ambiental e na integridade ecológica dos ecossistemas, especialmente em áreas sujeitas à urbanização.

Por sua vez, a terceira categoria agrupou pesquisas voltadas às estratégias de mitigação da poluição luminosa e aos desafios para sua implementação. Nesse conjunto foram identificadas discussões sobre tecnologias de iluminação menos impactantes, planejamento urbano, políticas públicas, educação ambiental e lacunas de conhecimento que ainda limitam a conservação dos ambientes noturnos.

A sistematização dos estudos nessas categorias possibilitou identificar pontos de convergência e complementaridade entre as evidências encontradas, servindo como base para a discussão crítica apresentada nas seções subsequentes.

Com o intuito de esquematizar os achados sobre a primeira vertente temática mapeada, as ocorrências deletérias ao ciclo de vida dos insetos foram reunidas. O Quadro 4 apresenta a síntese das evidências sobre os impactos biológicos e reprodutivos identificados no corpus de análise.

Quadro 4 - Síntese das evidências sobre os impactos biológicos e reprodutivos identificados no corpus de análise.

Estudos	Impacto identificado	Mecanismo de interferência
D01 e D02	Desregulação comportamental	Mascaramento dos sinais bioluminescentes por luz artificial.
D09	Redução de sucesso reprodutivo	O espectro LED (luz fria) pode reduzir a percepção do brilho das fêmeas pelos machos.
D10	Declínio da abundância local	Sinergia entre perturbação luminosa e variações microclimáticas do solo.
D12	Fragmentação de habitats sensoriais	Perda da integridade da paisagem noturna para a comunicação intraespecífica.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Os resultados sintetizados no quadro 4 evidenciam que a poluição luminosa interfere diretamente na biologia e no sucesso reprodutivo dos Lampyridae por diferentes mecanismos, como o mascaramento dos sinais bioluminescentes, a fragmentação dos habitats sensoriais e alterações na dinâmica populacional. Em conjunto, essas evidências demonstram que a iluminação artificial noturna compromete processos ecológicos essenciais para a manutenção das populações desses insetos.

Para além dos danos reprodutivos diretos, a literatura também forneceu subsídios para validar a utilidade prática desses organismos como sentinelas do ecossistema. Desse modo, as principais evidências sobre a função de bioindicação dos Lampyridae encontram-se sistematizadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Principais evidências sobre a bioindicação dos Lampyridae.

Estudos	Parâmetro de Bioindicação Analisado	Evidência Ecológica Encontrada
D04	Gradiente de urbanização e distribuição espacial	Comprova o desaparecimento progressivo das espécies à medida que a iluminação urbana avança.

D06	Sensibilidade da entomofauna	Valida o uso de insetos como ferramentas sensoriais rápidas para diagnosticar impactos que exames físico-químicos não medem.
D12	Integridade da paisagem sensorial	Demonstra que a ausência de vaga-lumes sinaliza uma redução de habitats noturnos inteiros.
D13	Densidade e comportamento sob estresse	Consolida os <i>Lampyridae</i> como organismos sentinelas da qualidade ambiental em áreas sob estresse fótico urbano.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

As evidências reunidas reforçam o potencial dos Lampyridae como bioindicadores ambientais, uma vez que sua ocorrência, abundância e comportamento refletem alterações na qualidade dos ambientes noturnos. Dessa forma, esses organismos podem complementar outros métodos de monitoramento ambiental, especialmente na avaliação dos impactos da iluminação artificial noturna.

Por fim, os dados extraídos abarcaram as barreiras estruturais do cenário brasileiro e as propostas globais de manejo urbano sustentável. As evidências da literatura concernentes aos desafios, conceituação e técnicas de mitigação da poluição luminosa estão descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - Evidências da literatura sobre desafios, conscientização e mitigação.

Estudos	Soluções de Mitigação Propostas	Desafios e Lacunas Identificados
D07	Planejamento ecológico na transição urbana para o LED.	O foco da substituição tecnológica foi estritamente econômico e energético, ignorando a fauna.
D08	Fortalecimento da divulgação científica e educação ambiental sobre o céu escuro.	Baixa percepção pública do problema e falta de engajamento social sobre o impacto da luz.

D05	Implementação de leis específicas de zoneamento e controle de emissão fótica.	Ausência crônica de instrumentos legais específicos e fiscalização de poluição luminosa no Brasil.
D03	Uso de luminárias full cut-off (luminárias de corte total que direcionam a luz 100% para o solo, impedindo a dispersão lateral ou para o céu) e LEDs de espectro quente (<2700K que emitem menos radiação no espectro azul e verde).	Falta de aplicação prática dos conceitos de ecologia sensorial no desenho da iluminação pública.
D11	Criação de Reservas de Céu Escuro (Dark Sky Reserves) e santuários de escuridão.	Tendência global de declínio das populações devido à perda do habitat sensorial noturno.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Os estudos analisados demonstram que a mitigação da poluição luminosa depende da integração entre planejamento urbano, políticas públicas, educação ambiental e adoção de tecnologias de iluminação mais sustentáveis. As lacunas identificadas evidenciam a necessidade de estratégias que conciliem segurança, eficiência energética e conservação da biodiversidade, favorecendo a proteção dos ecossistemas noturnos.

6 DISCUSSÃO

6.1 CATEGORIA 1 – IMPACTOS BIOLÓGICOS E REPRODUTIVOS DA ALAN E DO LED NOS Lampyridae

A primeira categoria de análise abrange os efeitos diretos da luz artificial e das novas tecnologias de iluminação urbana sobre o ciclo de vida dos vaga-lumes. Nos materiais analisados, observou-se predominantemente que a introdução de luz artificial nos habitats naturais tende a provocar modificações no comportamento desses insetos, especialmente nos processos relacionados à comunicação luminosa e à reprodução. A análise desses dados sugere que a modernização dos sistemas de iluminação pública no Brasil pode representar um importante fator

de pressão sobre a entomofauna noturna. Esse processo interfere no reconhecimento dos sinais luminosos emitidos pelos Lampyridae para a corte, apresentando-se como um fator relevante para compreender o declínio populacional e a redução das taxas reprodutivas observadas em espécies de ambientes urbanizados e periurbanos.

A relevância dessa categoria nos estudos selecionados demonstra que a substituição de sistemas convencionais por lâmpadas LED na iluminação pública produziu efeitos que ultrapassam a dimensão da eficiência energética, alcançando diretamente a dinâmica ecológica dos ambientes noturnos. Ao confrontar os estudos pioneiros nacionais de Viviani, Rocha e Hagen (2010) (D01) e Hagen (2009) (D02) com as evidências experimentais globais de Owens e Lewis (2022) (D09), percebe-se um cenário de alerta: a transição rápida para as tecnologias LED de luz fria parece intensificar os prejuízos na reprodução das populações.

Cabe destacar que essa mudança tecnológica muitas vezes ocorre sem o planejamento ambiental adequado nas cidades brasileiras, ignorando o impacto biológico em espécies locais. A contribuição do presente estudo, ao cruzar essas temporalidades da literatura, reside em demonstrar que o problema não é a expansão urbana de forma isolada, mas o desenho espectral da matriz luminosa escolhida pelos municípios.

A comparação entre os estudos que compõem o corpus permite compreender o mecanismo fisiológico responsável por esse impacto. Enquanto Hagen (2009) (D02) observou que algumas espécies de áreas abertas, como o *Bicellonycha lividipennis*, demonstravam certa tolerância ao espectro amarelado das antigas lâmpadas de vapor de sódio, os dados experimentais de Owens e Lewis (2022) (D09) justificam a razão biológica pela qual o LED branco afeta de maneira mais intensa os Lampyridae.

A radiação de curto comprimento de onda (o espectro de luz azul) emitida pelos LEDs modernos sobrepõe-se à faixa de sensibilidade visual dos olhos desses insetos, comprometendo a percepção dos sinais luminosos emitidos pelas fêmeas. Sob a perspectiva comportamental, essa interferência reduz a capacidade de localização dos machos, tornando as fêmeas menos visíveis e interrompendo o fluxo reprodutivo regular do grupo. Como consequência, a redução do sucesso reprodutivo compromete a renovação das populações, podendo provocar o declínio e afetar a estabilidade demográfica das espécies mais sensíveis.

Essa interrupção no sistema de acasalamento deixa de ser um evento estritamente comportamental individual e passa a refletir impactos demográficos em maior escala. Essas

alterações comportamentais podem refletir na dinâmica populacional que é corroborada pelas modelagens estatísticas de McNeil et al. (2024) (D10), que indicam que a abundância local de vaga-lumes decresce de forma linear conforme aumenta o nível de perturbação fótica do solo antrópico. O declínio mapeado por esses autores reforça que os fragmentos florestais urbanos e periurbanos sofrem com a perda de suas características ambientais originais, o que prejudica a renovação das populações ao longo das gerações.

Consequentemente, a partir das discussões trazidas por Hölker et al. (2023) (D12), infere-se que, ao transformar a escuridão natural em um ambiente perenemente iluminado, a ALAN promove o que pode ser interpretado como uma forma de isolamento funcional dos habitats. Essa alteração não derruba árvores fisicamente, mas restringe as espécies fotossensíveis a refúgios menores de escuridão. Ecologicamente, esse isolamento prejudica o fluxo gênico e limita a conectividade entre populações, além de afetar potencialmente as teias alimentares das quais as larvas predadoras de Lampyridae dependem para o controle biológico de microinvertebrados do solo.

Embora os estudos apresentem resultados convergentes, é importante considerar que parte das evidências foi obtida em espécies específicas de Lampyridae e em diferentes contextos ambientais, o que sugere cautela na generalização dos resultados para todo o grupo.

Esses achados integrados reforçam que os impactos da iluminação artificial noturna não devem ser compreendidos apenas como uma consequência secundária da urbanização, mas como uma ameaça real à biodiversidade, nível de alerta que foi formalizado recentemente nas diretrizes globais de conservação da IUCN por Lewis et al. (2024) (D11). Assim, os resultados analisados indicam que a conservação dos Lampyridae depende não apenas da preservação física das áreas verdes, mas também da manutenção das condições de escuridão necessárias para a sobrevivência e perpetuação do grupo.

6.2 CATEGORIA 2 – OS VAGA-LUMES COMO BIOINDICADORES DA INTEGRIDADE SENSORIAL DOS ECOSISTEMAS

A segunda categoria de análise trata-se da validação e o uso dos vaga-lumes da família Lampyridae como bioindicadores em áreas urbanizadas. Ao cruzar os materiais selecionados, observou-se que a densidade populacional, as dinâmicas de piscada e a distribuição espacial dessas

espécies variam conforme a cidade avança e o adensamento luminoso aumenta. Essa resposta sensível e rápida às intervenções humanas na paisagem noturna mostra que os vaga-lumes são peças-chave para diagnosticar a perda de integridade sensorial e a degradação dos ecossistemas urbanos.

Os estudos analisados revelam que essa entomofauna fotossensível funciona como um importante indicador ecológico complementar, atuando justamente onde as análises físico-químicas tradicionais não conseguem alcançar: na mensuração dos impactos da poluição luminosa. Essa premissa ganha força nos trabalhos de Oliveira et al. (2014) (D06) e Oliveira et al. (2017) (D13), que consolidam esses insetos como indicadores de perturbações antrópicas, apontando que flutuações na abundância ou o desaparecimento local dos Lampyridae refletem diretamente o estado de conservação do ambiente. Essa resposta sensível também encontra respaldo em evidências internacionais analisadas nesta revisão. Os dados de monitoramento populacional apresentados por McNeil et al. (2024) (D10) e as diretrizes globais de conservação propostas por Lewis et al. (2024) (D11) reforçam o potencial dos Lampyridae como bioindicadores da integridade dos ecossistemas noturnos.

Olhar para esse grupo nos permite refletir sobre as limitações dos modelos convencionais de monitoramento ambiental. Parâmetros físico-químicos e grupos diurnos tradicionais, como os besouros Scarabaeidae ou as formigas Formicidae, são ótimos para avaliar danos estruturais no solo e na água durante o dia, mas não registram as transformações silenciosas que ocorrem no habitat noturno. É nesse contexto que os Lampyridae se destacam como organismos bioindicadores capazes de refletir perturbações no ambiente noturno. Como suas populações enfrentam as pressões urbanas ao longo de todo o ciclo de vida, seja com as larvas habitando o solo ou com os adultos voando no ambiente aéreo, o monitoramento biológico do grupo consegue traduzir os efeitos acumulados e sinérgicos da degradação ambiental ao longo do tempo.

Sob essa ótica, os vaga-lumes assumem o papel de sentinelas dos ambientes noturnos. Na prática, essa sensibilidade ao gradiente urbano foi documentada na dissertação de Santos (2013) (D04), que registrou uma redução expressiva das populações na transição entre áreas preservadas e o ambiente urbano em localidades do estado de São Paulo. Como o comportamento de corte depende diretamente da baixa luminosidade, o declínio dessas espécies serve como um indicativo biológico precioso de alterações na paisagem escura que as avaliações convencionais deixam passar, mostrando-se uma ferramenta viável para programas de monitoramento de longo prazo.

No entanto, é preciso pontuar que o uso dos Lampyridae como bioindicadores impõe desafios metodológicos e ecológicos importantes. O primeiro deles é que a amostragem depende muito da sazonalidade e de condições climáticas específicas, o que dificulta um monitoramento linear durante os doze meses do ano. Além disso, o fato de as larvas dependerem estritamente do solo e do folhijo faz com que as populações sofram com manejos da terra e desmatamentos locais, independentemente do nível de poluição luminosa. Por fim, há um forte gargalo taxonômico no Brasil: a escassez de chaves de identificação regionais e de especialistas na área dificulta a triagem correta das espécies em inventários de campo, o que pode limitar a precisão dos dados biológicos.

Ainda assim, os dados da literatura indicam que acompanhar as populações de vaga-lumes pode dar um excelente suporte para estratégias de conservação e para o planejamento de cidades mais sustentáveis. Esses fatores demonstram que a utilização dos Lampyridae deve ser interpretada em conjunto com outros indicadores ecológicos, evitando análises isoladas. Por terem um ciclo de vida holometábolo, com larvas predadoras de microinvertebrados e adultos que dependem da luz para se reproduzir, encontrar uma população estável de vaga-lumes pode indicar que o ambiente ainda mantém preservada a umidade, a saúde trófica do solo e a qualidade da escuridão natural.

A redução contínua dessas populações pode ser interpretada como um indicativo precoce de perturbações no ambiente, reforçando a necessidade de revisar os sistemas de iluminação e adotar medidas voltadas à conservação dos ecossistemas noturnos. Dessa forma, os Lampyridae demonstram potencial para integrar programas de monitoramento ambiental, desde que sua utilização considere as limitações metodológicas apontadas pela literatura e seja associada a outros indicadores ecológicos.

6.3 CATEGORIA 3 – DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS E MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO LUMINOSA

A terceira categoria identificada aborda os desafios socioambientais e as possibilidades de mitigação da poluição luminosa tanto no cenário nacional quanto no global. Os estudos analisados apontam que existem soluções técnicas e estratégias de gestão urbana capazes de reduzir significativamente os impactos da iluminação artificial noturna sobre a biodiversidade. Entre as medidas mais citadas na literatura contemporânea, destacam-se o direcionamento adequado dos feixes luminosos para o solo, o controle da intensidade da iluminação em horários de menor

circulação de pessoas e a utilização de temperaturas de cor menos impactantes para a fauna, priorizando espectros mais quentes.

Esse resultado evidencia que o combate à poluição luminosa não depende do desenvolvimento de novas tecnologias, mas sim da aplicação consciente e ecologicamente orientada de ferramentas de engenharia de iluminação que já estão disponíveis no mercado. Os achados de Fernandes e Rasoto (2017) (D07) demonstram que a modernização dos sistemas urbanos por meio da tecnologia LED foi conduzida, historicamente, com um foco quase exclusivo na eficiência energética e na redução de custos públicos. Essa transição desconsiderou, na maioria das vezes, os impactos ecológicos associados à emissão de luz artificial sobre a fauna de hábitos noturnos.

Para reverter esse quadro, as diretrizes de projeto de iluminação, propostas por pesquisadores como Mazzotti e Pirró (2022) (D03), oferecem soluções imediatas de engenharia. Entre elas, destaca-se o uso de luminárias de corte total (full cut-off), que são estruturas totalmente blindadas projetadas para direcionar 100% da luz para o solo, impedindo a dispersão lateral ou para o céu. Outra medida essencial é a adoção de LEDs quentes com temperatura de cor abaixo de 2700K, cujo espectro mais amarelado ou âmbar reduz significativamente a interferência nos fotorreceptores dos insetos. Os dados dos estudos revelam que o problema não é o LED em si, mas a sua configuração espectral fria e a falta de direcionamento físico da luz, que espalha radiação para além das vias públicas.

Como discutido previamente, a implementação dessas tecnologias sem um planejamento ecológico prévio alimenta o cenário observado na Categoria 1, interferindo na comunicação reprodutiva dos Lampyridae e favorecendo o declínio populacional desses organismos. Dessa forma, os resultados indicam que a ALAN deve ser compreendida não apenas como uma questão de infraestrutura urbana, mas como um elemento capaz de alterar processos ecológicos fundamentais.

Ao analisar os materiais, é perceptível que um dos principais entraves para mitigar esse problema no Brasil é a acentuada ausência de instrumentos legais e de mecanismos de fiscalização voltados especificamente ao controle da poluição luminosa. Conforme destaca a análise jurídica de Araujo e Picazzio (2021) (D05), a falta de leis federais específicas e de parâmetros técnicos claros na legislação nacional cria uma lacuna regulatória persistente. Essa lacuna dificulta a proteção de

áreas naturais e de fragmentos verdes urbanos, deixando os ecossistemas nativos vulneráveis aos efeitos da expansão urbana desordenada.

Apesar dessa lacuna em nível federal, começam a surgir iniciativas pontuais no âmbito municipal brasileiro que buscam atenuar os impactos da poluição luminosa. Destaca-se o município de Campinas (SP), que vem desenvolvendo diretrizes e discussões voltadas ao controle da iluminação artificial no entorno do distrito de Joaquim Egídio e do Observatório Municipal Jean Nicolini, com o objetivo de minimizar os impactos da poluição luminosa sobre o céu noturno e áreas ambientalmente sensíveis. Embora ainda sejam iniciativas isoladas, elas evidenciam o potencial das ações locais para reduzir os impactos da ALAN sobre ecossistemas vulneráveis, contribuindo para a conservação da fauna noturna, incluindo populações de Lampyridae.

Essa realidade nacional contrasta com o cenário internacional debatido por Lewis et al. (2024) (D11), cujas novas diretrizes globais da IUCN defendem o estabelecimento urgente de políticas públicas rígidas e a criação de Reservas de Céu Escuro, que são santuários ou áreas protegidas mapeadas e regulamentadas para serem mantidas livres de poluição fótica, visando proteger os habitats críticos dos Lampyridae ao redor do mundo. Países como os Estados Unidos, o Canadá, a Nova Zelândia e o Chile já possuem santuários e áreas protegidas regulamentadas por leis nacionais específicas para combater o skyglow, garantindo zonas geográficas livres de poluição fótica para proteger habitats críticos e a biodiversidade noturna.

Os dados bibliográficos também reforçam a necessidade de integrar conhecimentos da ecologia sensorial ao planejamento das cidades brasileiras. Conforme discutido por Dominici (2019) (D08), mitigar os impactos da ALAN requer tanto a implementação de medidas regulatórias quanto o fortalecimento de ações contínuas de educação ambiental, divulgação científica e engajamento comunitário sobre a importância da noite escura. Nesse contexto, a conscientização da população e a formulação de políticas públicas voltadas ao uso sustentável da iluminação constituem estratégias fundamentais e indissociáveis para a conservação da biodiversidade.

A convergência desses dados aponta para uma contradição crítica na conservação da biodiversidade noturna no cenário nacional. Se, por um lado, o avanço do referencial teórico global e nacional consolida os Lampyridae como sentinelas fundamentais da integridade ecológica, por outro, as ações político-pedagógicas e a legislação brasileira ainda apresentam respostas limitadas diante do fenômeno da poluição luminosa. A mitigação dos impactos do excesso de luz artificial

não passa apenas pela substituição tecnológica de luminárias, mas por uma profunda reestruturação da percepção pública sobre o que constitui a degradação ambiental.

Historicamente, as ações de Educação Ambiental concentram-se em vetores diurnos e visíveis de poluição, tais como o descarte inadequado de lixo e a contaminação de corpos hídricos. Esse viés focado prioritariamente no período do dia invisibiliza o ecossistema da noite e, consequentemente, mascara o declínio silencioso dos insetos bioluminescentes. A ausência de programas curriculares formais que debatam a ecologia do período noturno perpetua a visão errônea de que a luz artificial é um indicador absoluto de desenvolvimento e segurança, esvaziando o debate sobre o direito à escuridão natural.

Esse cenário de negligência educacional é agravado pela lacuna jurídica já mencionada. Enquanto países com leis avançadas dispõem de normas nacionais específicas para o controle do brilho celeste e proteção de santuários de céu escuro, o ordenamento jurídico brasileiro carece de mecanismos obrigatórios direcionados à conservação da paisagem sensorial noturna. As normativas técnicas vigentes no país regulam a iluminação pública sob o prisma estrito da eficiência energética e da segurança pública, desconsiderando os limites de tolerância biológica das espécies sensíveis à luz.

Portanto, superar esse desafio socioambiental exige romper com a invisibilidade da noite. É imperativo que os achados científicos sobre o declínio dos Lampyridae transcendam os muros acadêmicos e passem a subsidiar políticas de ordenamento territorial urbano e planos de manejo ambiental, integrando a proteção do habitat escuro como uma dimensão indissociável da conservação da biodiversidade e do equilíbrio ecossistêmico.

Nesse contexto, evidencia-se que os Lampyridae constituem importantes bioindicadores da integridade dos ecossistemas noturnos, reforçando seu potencial para subsidiar estratégias de conservação e planejamento urbano sustentável.

6.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em suma, os dados analisados revelam uma intrincada cadeia de causa e efeito que ameaça os ecossistemas noturnos brasileiros. A transição para a tecnologia LED sem critérios ecológicos (Categoria 1) atua como um severo estresse reprodutivo sobre os Lampyridae, cujas flutuações populacionais funcionam como um alerta biológico precoce da perda de integridade sensorial das

paisagens (Categoria 2). Contudo, a efetivação dos vaga-lumes como sentinelas ecológicas e a reversão desse declínio esbarram na invisibilidade jurídica e pedagógica da poluição luminosa no Brasil (Categoria 3). Evidencia-se, portanto, que a conservação desta entomofauna exige uma convergência urgente entre engenharia de iluminação, rigor legislativo e uma educação ambiental que resgate o valor ecológico da noite escura, pressupostos que fundamentam as considerações finais deste estudo.

Com finalidade exclusivamente ilustrativa, a Figura 6 apresenta um exemplar de vaga-lume pertencente à família Lampyridae encontrado na propriedade das autoras. A fotografia não constitui dado empírico da pesquisa nem integrou a análise desta revisão integrativa, sendo utilizada apenas para exemplificar visualmente o grupo taxonômico discutido ao longo do estudo.

Figura 6- Exemplar de vaga-lume da família Lampyridae utilizado exclusivamente para fins ilustrativos. Fotografias obtidas na propriedade das autoras: (A) vista dorsal e (B) vista frontal.

(A) vista dorsal.



(B) vista frontal.



Fonte: Acervo das autoras (2026).

Dessa forma, os resultados obtidos respondem ao problema de pesquisa proposto na introdução, evidenciando que a poluição luminosa, especialmente associada à expansão da

tecnologia LED sem planejamento ecológico, compromete a comunicação reprodutiva, a sobrevivência e a conservação dos Lampyridae, reforçando a necessidade de estratégias integradas de manejo, conservação e planejamento urbano sustentável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a síntese da literatura científica confirma que a poluição luminosa proveniente da iluminação artificial noturna representa uma ameaça direta e multifacetada à dinâmica comportamental e à sobrevivência dos vaga-lumes (Lampyridae). A análise integrada dos trabalhos demonstra que esses insetos funcionam como bioindicadores altamente sensíveis da qualidade do ambiente noturno, de modo que a retração de suas populações sinaliza a degradação da integridade ecológica dos habitats afetados.

A principal conclusão deste estudo reside em evidenciar que o impacto ecológico não decorre apenas da expansão urbana isolada, mas do desenho espectral da matriz luminosa adotada. A transição rápida para tecnologias LED de luz fria sem um planejamento fótico prévio amplificou a interferência na comunicação bioluminescente. No contexto brasileiro, essa vulnerabilidade é agravada pela escassez de parâmetros normativos e de instrumentos legais específicos para o controle do ruído luminoso. Como limitação observada no corpus analisado, destaca-se a predominância de investigações conduzidas no Hemisfério Norte, revelando uma lacuna expressiva de levantamentos ecológicos contínuos voltados à fauna de Lampyridae nos biomas neotropicais.

Em suma, a preservação dessas espécies requer a incorporação do planejamento espectral e do zonamento fótico nas diretrizes de gestão urbana e ambiental. Recomenda-se que pesquisas futuras desenvolvam estudos empíricos de campo com espécies nativas do Brasil, fornecendo dados para subsidiar a formulação de políticas públicas de mitigação da poluição luminosa.

A análise da literatura também permitiu confirmar o potencial dos Lampyridae como bioindicadores ambientais. Sua sensibilidade às alterações provocadas pela urbanização e pela iluminação artificial faz com que mudanças em sua abundância, distribuição e comportamento reflitam o estado de conservação e a integridade dos ecossistemas. Dessa forma, os vaga-lumes constituem ferramentas úteis para o monitoramento ambiental e para a avaliação da qualidade de

áreas naturais e urbanas, auxiliando na identificação de impactos ecológicos que análises físico-químicas tradicionais nem sempre conseguem detectar.

Como limitação deste trabalho, destaca-se seu caráter de revisão integrativa da literatura, que depende das características metodológicas dos estudos já publicados. A partir dessa abordagem, identificou-se uma lacuna cronológica e geográfica na literatura científica nacional, considerando a escassez de estudos de campo e experimentais recentes desenvolvidos no Brasil sobre os impactos das novas tecnologias de iluminação LED nas espécies nativas. Grande parte da produção científica brasileira concentra-se em descrições morfológicas e levantamentos de biodiversidade realizados anteriormente, evidenciando um descompasso em relação à rápida substituição dos sistemas de iluminação pública nas cidades. Além disso, novas pesquisas experimentais poderão validar e ampliar as evidências identificadas nesta revisão integrativa, contribuindo para o fortalecimento do conhecimento científico sobre os efeitos da poluição luminosa nas espécies nativas de Lampyridae.

Diante desse panorama, as aplicações práticas advindas do estudo da literatura abrangem o planejamento urbano e a gestão ambiental, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e para a inserção dos Lampyridae em programas de monitoramento ecológico de áreas verdes. Evidencia-se a necessidade de incorporar os princípios da ecologia sensorial no planejamento da iluminação pública, considerando a sensibilidade dos organismos aos estímulos do ambiente.

Entre as medidas recomendadas para a mitigação dos impactos, destacam-se a utilização de luminárias com direcionamento total da luz para baixo (sistema full cut-off), a gestão da intensidade luminosa em horários de menor circulação e a preferência por lâmpadas de espectro quente, com temperatura de cor inferior a 2700 K. Por fim, essas diretrizes contribuem para o avanço do debate sobre o zonamento luminoso e o controle da poluição luminosa no país.

Por fim, visando suprir as lacunas identificadas e dar continuidade a esta linha de pesquisa, sugere-se que estudos futuros priorizem investigações experimentais de longa duração em diferentes regiões brasileiras, avaliando a resposta das populações de vaga-lumes à transição para a iluminação LED. Recomenda-se, ainda, o desenvolvimento de pesquisas interdisciplinares que integrem a entomologia, o planejamento da iluminação urbana (lighting design) e o direito ambiental. Esses estudos poderão contribuir para a definição de parâmetros técnicos e legais que

viabilizem a criação de santuários de escuridão e de Reservas de Céu Escuro (Dark Sky Reserves) no contexto brasileiro, conciliando o desenvolvimento urbano com a conservação da biodiversidade.

Considerando a elevada biodiversidade neotropical e a escassez de levantamentos específicos sobre Lampyridae na Região Norte do país, destaca-se a relevância de fomentar investigações de campo na Amazônia. A realização de futuros estudos voltados à distribuição de espécies e aos efeitos da poluição luminosa em biomas amazônicos será fundamental para subsidiar estratégias regionais de conservação e ampliar o conhecimento sobre a entomofauna noturna nacional.

Espera-se que esta pesquisa contribua para o fortalecimento das discussões acerca da conservação dos ecossistemas noturnos e incentive novas investigações sobre os impactos da poluição luminosa na biodiversidade brasileira.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023:2018: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520:2023: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724:2024: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ARAUJO, Jose Laercio; PICAZZIO, Enos. Implicações da poluição luminosa nas áreas das ciências e da sociedade. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, [S. l.], v. 7, n. 12, p. 105–119, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v7i12.3449>. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3449>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

CAMPINAS (SP). Lei Complementar nº 189, de 8 de janeiro de 2018. Institui o Plano Diretor Estratégico do Município de Campinas. *Campinas: Prefeitura Municipal de Campinas, 2018*. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sp/c/campinas/lei-complementar/2018/19/189/lei-complementar-n-189-2018-dispoe-sobre-o-plano-diretor-estrategico-do-municipio-de-campinas>. Acesso em: 20 abr. 2026.

DOMINICI, Tânia Pereira. Revisitando uma década de atividades de conscientização acerca dos problemas da poluição luminosa no Brasil. In: ENCONTRO DE DIVULGAÇÃO DE CIÊNCIA E CULTURA (EDICC), 6., 2019, Campinas. *Revista do EDICC*, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, v. 6, p. 186-197, 2020.

FERNANDES, A. L.; RASOTO, V. I. Estudo sobre a viabilidade econômica e impactos urbanos no uso de lâmpadas LED (diodo emissor de luz) na iluminação pública da cidade de Curitiba. *Revista da FAE, [S. l.]*, v. 20, n. 2, p. 21–34, 2017. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/177>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GASTON, K. J.; BINNIE, J.; HOPKINS, T. L. The biological impacts of artificial light at night: the research frontier. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 280, n. 1768, p. 20131102, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1102>. Acesso em: 15 jun. 2026.

HAGEN, Oskar. Avaliação do efeito da iluminação artificial sobre as populações de vaga-lumes (Coleoptera: Lampyridae, Elateridae) no Campus da UFSCar de Sorocaba. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – *Universidade Federal de São Carlos*, Sorocaba, 2009.

HÖLKER, F.; JECHOW, A.; SCHROER, S.; TOCKNER, K.; GESSNER, M. O. Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 378, n. 1892, p. 20220360, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0360>. Acesso em: 15 jun. 2026.

KYBA, C. C. M.; ALTINTAŞ, Y. Ö.; WALKER, C. E.; KYBA, M. Citizen scientists report global rapid reduction in the visibility of stars from 2011 to 2022. *Science*, v. 379, n. 6629, p. 234-237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abq3481>. Acesso em: 15 jun. 2026.

LEWIS, S. M.; JUSOH, W. F. A.; WALKER, A. C.; FALLON, C. E.; JOYCE, R.; YIU, V. Illuminating firefly diversity: trends, threats and conservation strategies. *Insects*, v. 15, n. 1, p. 71, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects15010071>. Acesso em: 15 jun. 2026.

LONGCORE, T.; RICH, C. Artificial night lighting and protected areas. In: LEVITT, J. N. (Ed.). *Protecting the Land: Conservation Partnerships for the Future*. Washington, DC: Island Press, 2019. P. 270-285.

MAZZOTTI, Emanuele Sant'ana; PIRRÓ, Lúcia Fernanda de Souza. Poluição luminosa: o uso de técnicas para projetar iluminação visando mitigar os efeitos da poluição luminosa. *Revista Belas Artes*, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 4–27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.62507/issn.2176-6479.v38i1.624>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MCNEIL, D. J.; GOSLEE, S. C.; KAMMERER, M.; LOWER, S. E.; TOOKER, J. F.; GROZINGER, C. M. Illuminating patterns of firefly abundance using citizen science data and machine learning models. *Science of the Total Environment*, v. 929, p. 172329, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172329>. Acesso em: 15 jun. 2026.

MENDES, Karina Dal Sasso; SILVEIRA, Renata Cristina de Campos Pereira; GALVÃO, Cristina Maria. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto – Enfermagem*, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>.

OLIVEIRA, Marco Antonio de; GOMES, Cliver Fernandes Farder; PIRES, Evaldo Martins; MARINHO, Cidália Gabriela Santos; DELLA LUCIA, Terezinha Maria Castro. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Revista Ceres*, v. 61, supl., p. 800–807, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000005>. Acesso em: 20 abr. 2026.

OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B. S.; PAGLIA, A. P.; BRESCOVIT, A. D.; CARVALHO, C. J. B.; SILVA, D. P.; REZENDE, D. T.; LEITE, F. S. F.; BATISTA, J. A. N.; BARBOSA, J. P. P.; STEHMANN, J. R.; ASCHER, J. S.; VASCONCELOS, M. F.; DE MARCO, P.; LÖWENBERG-NETO, P.; FERRO, V. G.; SANTOS, A. J. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 9141, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>. Acesso em: 15 jun. 2026.

OWENS, Avalon C. S.; LEWIS, Sara M. Artificial light impacts the mate success of female fireflies. *Royal Society Open Science*, v. 9, n. 8, p. 220468, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsos.220468>. Acesso em: 15 jun. 2026.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, London, v. 372, n. 71, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Disponível em: <https://www.prisma-statement.org/>. Acesso em: 30 jun. 2026.

SANTOS, Raphael Machado. Vaga-lumes bioindicadores de poluição luminosa e riqueza de espécies em áreas naturais da Serra de Paranapiacaba e em áreas urbanizadas. 2013. Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação) – *Universidade Federal de São Carlos*, São Carlos, 2013. Acesso em: 20 abr. 2026.

VIVIANI, Vadim Ravara; ROCHA, Mayra Yamazaki; HAGEN, Oskar. Fauna de besouros bioluminescentes (Coleoptera: Elateroidea: Lampyridae; Phengodidae, Elateridae) nos municípios de Campinas, Sorocaba-Votorantim e Rio Claro-Limeira (SP, Brasil): biodiversidade e influência da urbanização. *Biota Neotropica, Campinas*, v. 10, n. 2, p. 103-116, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000200013>. Acesso em: 20 abr. 2026.