

**Brazilian Journal of Forensic Sciences,  
Medical Law and Bioethics**

Journal homepage: [www.ipebj.com.br/forensicjournal](http://www.ipebj.com.br/forensicjournal)



**Perspectivas de Uso de Insetos Bioindicadores Ambientais em  
Trabalhos Periciais**

**Perspectives of Environmental Bioindicator Insect Using in Forensic Works**

Victor W. Botteon

*Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo; Avenida Centenário 303, CEP  
13416-000 Caixa Postal 96 Piracicaba - São Paulo  
E-mail: [victor\\_botteon2@hotmail.com](mailto:victor_botteon2@hotmail.com)*

Received 22 February 2016

**Resumo.** Entomologia Forense é a ciência que aplica o conhecimento de aspectos bioecológicos de insetos e outros artrópodes na elucidação de procedimentos judiciais. Embora pesquisas na área de Entomologia Forense tenham se desenvolvido no Brasil, sua aplicação em atividades periciais relativas a questões ambientais ainda é escassa e com baixa aplicabilidade de estudos em casos concretos. As diversas mudanças antrópicas no ambiente e a fragmentação dos sistemas naturais influenciam na estrutura de comunidades, causando impactos de diferentes níveis em suas espécies. Os estudos de levantamento da diversidade entomofaunística são imprescindíveis para aquisição de conhecimento da composição de espécies bioindicadoras da qualidade ambiental do meio e da estrutura ecológica da paisagem, sendo essenciais para avaliação do sistema e para tomadas de decisões. O propósito desse trabalho foi de demonstrar a importância de insetos bioindicadores com ênfase na perspectiva de aplicabilidade nas atividades de perícia ambiental, propondo uma metodologia de estudo de levantamento entomofaunístico, empregando ferramentas analíticas de natureza estatística e descritiva capazes de avaliar as diferenças na abundância, riqueza, índices de diversidade de espécies e similaridade entre áreas de interesse, buscando investigar a influência dos fragmentos da paisagem sobre a diversidade de insetos.

**Palavras-chaves:** Entomologia forense; Perícia Ambiental; Ecologia da Paisagem; Biodiversidade; Bioindicador.

**Abstract.** Forensic entomology is the science that applies the knowledge of bioecological aspects of insects and other arthropods in the elucidation of legal proceedings. Although research in forensic entomology has developed in Brazil, its application in forensic activities relating to environmental issues is still scarce and presents low applicability in cases. The anthropogenic changes in the environment and the fragmentation of natural systems influence the structure of communities, causing impacts of different levels in their species. Studies of entomological diversity are essential to understand the composition of species which are bioindicators of environmental quality and ecological structure of the landscapes. The purpose of this study is to demonstrate the importance of bioindicators emphasizing the perspective of applicability in environmental forensic activities, proposing a methodology using analytical tools able to evaluate the differences in species richness, abundance, diversity and similarity among areas of interest in order to investigate the influence of landscape fragments on the diversity of insects.

**Keywords:** Forensic entomology; Environmental expertise; Landscape ecology; Biodiversity; Bioindicator.

## 1. Introdução

A Entomologia Forense (EF) é uma ciência da área da Zoologia que consiste no uso de artrópodes como indicadores biológicos para aplicação em procedimentos legais, sendo uma ferramenta de auxílio para elucidação de questões judiciais de naturezas diversas<sup>1, 2</sup>. Essa ciência aplica o estudo de insetos como evidências físicas nas perícias para responder perguntas associadas a questões de interesse judicial, seja em causas cíveis ou criminais, com o objetivo de obter informações que possam auxiliar as investigações policiais por meio dos trabalhos realizados por peritos criminais e médicos legistas, sendo muito utilizada na determinação da estimativa do intervalo pós-morte (IPM)<sup>3-5</sup>.

Estudos envolvendo a EF são importantes ferramentas técnico-científicas para a comunidade jurídica e podem oferecer suporte à polícia na investigação de crimes, como demonstrados por Oliveira-Costa<sup>2</sup> em estudos de casos concretos. A principal aplicação prática atualmente se dá em casos relacionados com mortes violentas, com inúmeros estudos da entomofauna como indicadores da cronotanatognose e na determinação do local da morte da vítima<sup>4</sup>, e em casos na confirmação de hipótese de negligência infantil, abuso sexual e maus tratos a idosos<sup>6, 7</sup>.

No Brasil, a EF possui um pouco mais de um século de história, apresentando aplicabilidade diversa à investigação criminal<sup>8</sup>. Além dessa contribuição mais

recorrente na área Médico-Legal com uso de insetos necrófagos, essa ciência oferece contribuições em mais áreas de estudo com insetos de outros hábitos e nichos ecológicos, como a EF urbana, a qual está voltada ao estudo de insetos em patrimônios culturais, imóveis e estruturas que sejam objetos de comercialização; e EF de produtos estocados ou armazenados, a qual trata do estudo da contaminação em produtos alimentícios comerciais e outros produtos estocados em localidades diversas, de acordo com Lord e Stevesson<sup>9</sup>, demonstrando perspectivas de aplicações práticas em outros casos de interesse judicial.

Embora pesquisas na área de EF tenham se desenvolvido no país, sua evolução ainda é necessária no território brasileiro e novas áreas de aplicação necessitam ser exploradas, incentivadas e difundidas, como é o caso de trabalhos na área ambiental. O estudo de Nakaza e colaboradores<sup>10</sup> é ímpar ao demonstrar aplicabilidades e perspectivas de utilização de dados entomológicos para auxílio em casos de crimes ambientais. A aplicação de estudos de insetos em atividades periciais relativas a questões ambientais ainda é escassa na literatura e com baixa aplicabilidade de estudos em casos concretos.

A incorporação de vestígios entomológicos pode se tornar uma importante ferramenta na determinação de IPM de animais selvagens capturados ilegalmente e que morreram para tráfico<sup>11</sup>, assim como aplicação em casos de caça ilegal, abusos e maus tratos a animais<sup>12, 13</sup>, até mesmo na localização de região produtora de entorpecentes e identificação da rede de distribuição pela presença de fragmentos de insetos presentes no macerado de maconha<sup>14</sup>.

Segundo o trabalho de Nakaza e colaboradores<sup>10</sup>, a EF é viável para emprego nas atividades periciais de crimes contra o meio ambiente, uma vez que os dados entomológicos podem auxiliar na identificação de alterações ambientais de origem antrópica, crimes contra a fauna, flora e poluição, além de investigação do narcotráfico e procedência de entorpecentes.

## **2. Perícia ambiental**

As diversas alterações antrópicas no meio ambiente provocam fragmentações dos sistemas naturais, influenciando a estrutura de comunidades e causando impactos que acarretam o declínio da biodiversidade<sup>15-19</sup>. Tais alterações podem desestruturar o ecossistema e ocasionar impactos à paisagem, culminando até mesmo em extinção de alguma espécie devido às taxas de endemismo e ao

isolamento de remanescentes de habitats<sup>20-23</sup>, existindo necessidade de ações preventivas e de controle dos eventos agressores, a fim de garantir a proteção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme previsto no art. 225 da CF.

A perícia ambiental possui caráter complexo e multidisciplinar, sendo um dos meios produtores de prova na esfera judicial. Apresenta como objeto de estudo o meio ambiente nos seus aspectos bióticos, abióticos e socioeconômicos, auxiliando na apuração e elucidação de questões de providências policiais, na tipificação, qualificação e na cominação das penas ao final da fase processual, a fim de esclarecer a veracidade de fatos ou circunstâncias, gerando uma responsabilização de reparação ou indenização<sup>24, 25</sup>. Referido exame pericial se faz necessário para analisar casos de demandas judiciais específicas advindas das questões ambientais, em que se deve avaliar o dano ambiental ocorrido ou risco de sua ocorrência, visando a quantificar a extensão dos danos produzidos na área afetada e as consequências do evento delituoso ao meio ambiente<sup>25</sup>.

Segundo Nakaza e colaboradores<sup>10</sup>, os crimes contra a flora e a poluição afetam a entomofauna local da área devastada, ocasionando desequilíbrios perceptíveis no ambiente e destruição de espécies de insetos. Em virtude da importância e da grande complexidade de ilícitos contra o meio ambiente, é fundamental que se desenvolvam estudos de levantamento de diversidade biológica para auxiliar as atividades periciais a desempenhar suas funções na constatação e quantificação de impactos, a fim de assegurar providências preventivas ou reparatórias a serem adotadas para evitar ou reparar danos ambientais.

A influência dos fragmentos da paisagem modifica padrões de distribuição da riqueza, diversidade e abundância de animais. Os estudos de levantamento da diversidade entomofaunística são imprescindíveis para aquisição de conhecimento da composição de espécies indicadoras da qualidade ambiental do meio e da estrutura ecológica da paisagem, essenciais para a avaliação do sistema e tomadas de decisões para desenvolvimento de programas de conservação da biodiversidade, de manejo integrado de pragas, de avaliação, planejamento e gestão ambiental e preservação de serviços ecossistêmicos fundamentais para emprego de atividades sustentáveis.

Por que é importante mensurar a diversidade faunística de uma área? É fundamental conhecer a área de estudo para aplicar na conservação de espécies e avaliar a perda de habitats e a devastação ambiental. Nesse contexto, o presente

estudo possui o fito de suscitar uma área da EF e de demonstrar a importância da utilização de dados entomológicos com a finalidade de auxiliar em atividades periciais em casos ambientais, sendo apresentada uma metodologia básica para levantamento entomofaunístico.

### **3. Uso de bioindicadores em trabalhos ambientais**

Há diversos trabalhos na literatura sobre a variação da entomofauna associada a corpos em decomposição relacionada a diferentes áreas geográficas, fatores abióticos e a sazonalidade do clima ao longo do ano, contrastando a colonização e padrão de sucessão de carcaças por insetos necrófagos<sup>26-28</sup>. Na região de Curitiba-PR, por exemplo, Moura e colaboradores<sup>29</sup> compararam as diferenças de colonização de insetos em carcaças de roedores, em duas áreas distintas: zona urbana e mata semi-decidual densa, demonstrando a associação com a presença ou ausência de diversas espécies de importância médico-legal. Pesquisas como essas, anteriormente citadas, são abundantes na literatura brasileira relacionada a EF clássica e escassas com relação a levantamento de diversidade de entomofauna e utilização de insetos bioindicadores para aplicação em perícia ambiental (independentemente da esfera do Direito), levando-se em consideração a biodiversidade brasileira e toda sua importância global.

Nesse contexto, diversas hipóteses podem ser levantadas e a realização de estudos práticos devem ser incentivados para possibilitar melhor compreensão de questões complexas: será que existe similaridade de espécies ou grupos funcionais entre uma área preservada e uma área degradada? Será que as degradações ambientais afetam a entomofauna de uma área? Como avaliar esses impactos na diversidade de insetos e interações ecológicas? Como se comporta a comunidade de insetos em diferentes fragmentos da paisagem? Como realizar o levantamento da diversidade de insetos em uma área que sofreu danos ambientais por ações antrópicas?

O estudo de organismos bioindicadores da qualidade do meio tem sido uma das ferramentas utilizadas para se avaliar mudanças na integridade dos processos ecológicos do ambiente, extrapolando as respostas das condições ambientais para o restante do sistema e muito empregado em estudos de conservação<sup>30</sup>. Ao se falar em EF, a primeira imagem que vem à cabeça das pessoas é na aplicação clássica em casos de morte violenta e cálculo de IPM, em que os protagonistas são espécies de

hábitos necrófagos<sup>31</sup>. A utilização de informações sobre insetos indicadores ambientais ainda é desconhecida pelo público e na aplicação em casos de litígios ambientais em atividades periciais.

Uma ferramenta de monitoramento ambiental que necessita ser cada vez mais utilizada é a utilização de organismos os quais indicam as condições do ambiente<sup>32</sup>. Alguns insetos podem ser considerados espécies-chave em um ecossistema<sup>33</sup>, podendo ser indicadores ambientais, ecológicos e de biodiversidade, que refletem índices de diversidade<sup>34</sup>. De acordo com Allaby<sup>35</sup>, espécies bioindicadoras são organismos que podem ter uma amplitude estreita de resposta a um ou mais fatores ecológicos, podendo revelar informações sobre um distúrbio ambiental. Bioindicadores podem indicar uma condição ambiental particular ou estabelecida, consistindo em instrumentos no monitoramento de áreas degradadas e consideradas espécies-chaves no ecossistema, visto que participam de interações ecológicas diversas e representam o impacto da mudança ambiental em um ecossistema<sup>36-38</sup>.

A experiência demonstra que profissionais da área ambiental costumam realizar levantamentos de animais bioindicadores vertebrados (ictiofauna, herpetofauna, avifauna e mastofauna), enquanto que a fauna de invertebrados, geralmente, acaba sendo subutilizada e/ou negligenciada em estudos de impactos ambientais. Os insetos constituem o grupo de animais de maior biodiversidade do planeta, os quais desempenham variadas funções ecológicas e respondem de acordo com a estrutura espacial e a composição do ambiente nas mais variadas escalas<sup>39</sup>, sendo considerados indicadores ecológicos da qualidade do meio e utilizados com sucesso como bioindicadores em diversos estudos de avaliação dos níveis de perturbação ambiental<sup>40</sup>, podendo citar, *e.g.*, interessantes trabalhos com investigação de táxons de borboletas, abelhas, libélulas, formigas, cupins e besouros<sup>34, 40-46</sup>.

Os hexápodes estão associados a diferentes habitats, com exceção do ambiente marinho<sup>47</sup> e, de modo geral, desempenham papel-chave nos ecossistemas por representarem um grupo diverso e de grande importância tanto ecológica como econômica pelo envolvimento em diversos processos e interações no meio ambiente, possuindo importância na ciclagem de nutrientes e atuando na dispersão de sementes, polinização das plantas, produção de substâncias úteis para o homem, na estruturação, aeração e melhoria de propriedades físico-químicas do solo, além de aumentar a infiltração de água, o teor de matéria orgânica no solo, manejo de insetos-

pragas com auxílio dos inimigos naturais, dentre outros<sup>48, 49</sup>, desempenhando, desta forma, importantes funções na dinâmica dos ecossistemas.

A análise entomofaunística de espécies bioindicadoras da qualidade do meio permite a avaliação do impacto ambiental<sup>50, 51</sup>, uma vez que esses animais apresentam importâncias econômicas e ecológicas e possuem estreitas relações com os recursos ambientais, intensa capacidade perceptiva a perturbações ambientais, as quais provocam alterações na estrutura da comunidade, riqueza, distribuição de abundância e diversidade das espécies<sup>52, 53</sup>, existindo uma relação entre a complexidade estrutural do ambiente e da diversidade de habitats e sua biodiversidade<sup>54</sup>.

Alguns estudos faunísticos foram realizados no Brasil visando ao reconhecimento da entomofauna e dos ecossistemas<sup>55-57</sup>. Os estudos dependem de diversos fatores, como da área de interesse, dos questionamentos a que se necessita responder, da escala de trabalho e dos bioindicadores de interesse que destacam determinadas funções ecológicas que caracterizam determinado ambiente. De Oliveira e colaboradores<sup>58</sup> citam diversos estudos com os mais variados grupos de insetos bioindicadores, destacando que vários países estão desenvolvendo programas de monitoramento ambiental para liberação de empreendimentos.

A paisagem vem sendo fracionada em matrizes caracterizadas por diversos mosaicos e a conversão de ambientes naturais por atividades antrópicas pode reduzir drasticamente a diversidade na maioria dos grupos taxonômicos<sup>59</sup>. Os habitats homogeneizados geralmente implicam em uma menor diversidade de recursos disponíveis e potencialmente levando a declínios de espécies, principalmente as mais especializadas, e os bioindicadores podem desempenhar um papel importante no retrato da qualidade dos processos do ecossistema<sup>60</sup>, uma vez que se relacionam negativamente com as alterações ocasionadas pela ação antrópica<sup>50</sup>.

As mudanças espaciais da composição de espécies estão ligadas a aspectos ambientais da variação dos habitats<sup>61, 62</sup>, com intervenções antrópicas podendo causar uma perda na diversidade de espécies e alterar drasticamente a estrutura da comunidade<sup>63-65</sup>. A literatura ainda é escassa em estudos sistemáticos combinando a abordagem de problemas ecológicos às questões determinantes da conservação da entomofauna. Uma possível forma de estudar como os elementos da paisagem se relacionam com os organismos seria por meio de metodologias que se baseiam na aplicação de Sistema de Informação Geográfica (SIG), as quais permitem ao

pesquisador armazenar, manipular e analisar dados espaciais, auxiliando no gerenciamento de informações ambientais dentro da disciplina da Ecologia de Paisagem e para emprego em exames periciais<sup>66, 67</sup>. Assim, considerando a dimensão espaço-temporal, a modelagem ecológica busca a descrição de um sistema que considera a posição e distribuição dos diversos componentes populacionais quantificados temporalmente<sup>68</sup>, auxiliando na compreensão de como as espécies interagem com o meio ambiente e como as mudanças espaciais podem influenciar a dinâmica e distribuição das espécies<sup>69-71</sup>.

O levantamento da diversidade entomofaunística permite o monitoramento de alterações ambientais causadas por atividades antrópicas e que ameaçam a integridade ecossistêmica<sup>36, 72-74</sup>, sendo mais uma ferramenta que pode subsidiar o trabalho pericial a elucidar questões ambientais. Segundo Nakaza e colaboradores<sup>10</sup>, a entomofauna funciona como termômetro para a verificação dos níveis de poluição gerados em determinado meio ambiente. A perícia ambiental é multidisciplinar e apresenta natureza complexa, para tanto, é fundamental a integração e aperfeiçoamento de profissionais capacitados de áreas multidisciplinares, e das diversas técnicas e metodologias para caracterizar a atividade lesiva, qualificar o delito e mensurar a real extensão dos danos causados.

#### **4. Apresentação metodológica para estudo ambiental**

Segundo apontado por Nakaza e colaboradores<sup>10</sup>, torna-se necessária a aplicação de estudos de EF com a finalidade de auxiliar nos casos envolvendo crimes contra o meio ambiente. De acordo com De Oliveira e colaboradores<sup>58</sup>, é fundamental a padronização de metodologias e protocolos de coleta para os diferentes grupos de insetos, a fim de comparação entre resultados obtidos em diferentes áreas de interesse. Com a finalidade de fundamentar e incentivar estudos a serem empregados em exames periciais para avaliar os efeitos dos danos ambientais decorrentes de atividades impactantes, é imprescindível apontar uma metodologia básica para estudos de levantamentos entomofaunísticos em locais de interesse pericial, com a finalidade de investigar padrões de distribuição da diversidade e abundância de insetos considerados indicadores de qualidade ambiental.

Os insetos possuem relativa facilidade de amostragem e grande importância nos processos biológicos que desempenham, e, em geral, a alteração da diversidade, abundância e composição dos grupos de bioindicadores podem fornecer importantes

informações com relação a perturbação do ambiente<sup>51</sup>. Para se estimar a diversidade biológica de um local, é importante a escolha de grupo(s) indicador(es) que possa(m) apresentar informações sobre o efeito de fatores ambientais na comunidade da região, apresentando relação com a heterogeneidade dos ecossistemas e processos ecológicos, bem como a sensibilidade às mudanças ambientais, uma vez que as espécies respondem de forma diferenciada a um distúrbio<sup>30</sup>.

As áreas de estudo e de coleta de amostras de insetos necessitam de devida delimitação e georreferenciamento por meio de utilização de aparelho do tipo de sistema de posicionamento global (*global positioning system* – GPS) e descrições detalhadas dos fragmentos heterogêneos de paisagem. Os meios de coleta podem ser ativos e/ou passivos, e os tipos de armadilhas a serem instalados são variados, dependendo do(s) grupo(s) de inseto(s) indicador(es) de interesse do estudo, assim como a permanência das armadilhas e o interstício de coletas. Os dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa e pluviosidade) devem ser obtidos, a fim de verificação da interferência de fatores ambientais sobre a diversidade entomofaunística, uma vez que tais fatores abióticos podem influenciar diretamente em aspectos bioecológicos e na dinâmica populacional dos insetos, afetando a distribuição ao longo da escala temporal.

É fundamental a padronização por meio da formulação de protocolos de coletas entomológicas e de dados meteorológicos, transporte, preservação e identificação das espécies, análises e validação dos dados obtidos. Os insetos coletados devem ser encaminhados a laboratórios especializados, a fim de execução de atividades de triagem, procedimentos de contagem, acondicionamento em frascos contendo álcool 70 % para preservação dos espécimes, na maioria dos casos, e realização de devida montagem para posterior identificação, dispendo de utilização de aparelhos adequados do tipo estereoscópico, microscópio óptico e respectivas chaves específicas de identificação, assim como análise taxonômica suporte de coleções entomológicas de referência e auxílio em parceria de especialistas, quando se fizer necessário. É estritamente necessário possuir um bom conhecimento de taxonomia, biologia e ecologia de insetos para realização de tais exames.

Para realização de análises por meio de SIG, imagens de fotografias aéreas e de sensoriamento remoto podem ser obtidas dos pontos dos fragmentos da paisagem em questão, onde foram instaladas as armadilhas de coleta da entomofauna, definindo, desta forma, as respectivas coordenadas geográficas e associando cada

um deles aos valores encontrados para os índices de diversidade, utilizando *software* computacional de geoprocessamento e análises estatísticas de forma a verificar padrões de distribuição de diversidade na paisagem, a fim de analisar a influência de diferentes fragmentos sobre a diversidade de táxons coletados.

## 5. Análises faunísticas

Existem desafios consideráveis na medição de biodiversidade, destacando dificuldades em realização de trabalho de campo, fatores abióticos, amostragem, periodicidade de amostragem, escassez de taxonomistas de determinados grupos de insetos, dentre outros fatores<sup>74</sup>.

O número de espécies em função de uma determinada unidade de área é denominado de “riqueza de espécies”<sup>75</sup>. A amostragem deve observar as particularidades do grupo de interesse e ser representativa e adequada quanto ao esforço amostral. As medidas de diversidade de espécies são geralmente úteis para comparar uma área (habitat) ao longo do tempo ou padrões em diferentes locais (habitats) ou em diferentes gradientes. A abundância, frequência e a diversidade de espécies podem ser comparadas entre os pontos de coleta por análise de variância para fator único<sup>76</sup> e a riqueza de espécies dos pontos do estudo pode ser investigada por meio de utilização de índices faunísticos, sendo necessário conhecer as características dos índices existentes e saber, de forma correta, qual não utilizar, considerando os objetivos do trabalho. O melhor índice será aquele que melhor realizará efetivamente a tarefa conforme os objetivos propostos e a natureza dos dados. Cumpre consignar que abordar e caracterizar a infinidade de índices de diversidade (paramétricos e não-paramétricos) existentes não é o objetivo do trabalho.

A diversidade beta mede o quanto a composição de espécies varia de um habitat para outro. A diferença e a similaridade entre as áreas também podem ser calculadas utilizando, por exemplo, o índice de Shannon ( $H'$ )<sup>77</sup>, e a equitabilidade pode ser analisada por meio do índice de Pielou ( $J'$ ), o qual pode ser calculado como a razão entre a diversidade obtida e a diversidade máxima ( $H'$  max). A similaridade entre as áreas em relação à presença e ausência de espécies pode ser medida por meio de índices como o de Jaccard<sup>78</sup> e os coeficientes de correlação calculados para avaliar a adequação dos dendrogramas de similaridade em análise de agrupamento. As descrições de flutuações sazonais das populações dos insetos de interesse ao longo

do ano e as correlações entre variáveis ambientais e abundância de espécies podem ser analisadas pelo coeficiente de correlação de Pearson<sup>77</sup>.

A diversidade funcional aborda traços que devem ter relações com o funcionamento das comunidades, podendo auxiliar a esclarecer em como a variação das espécies e de suas características influenciam os processos que determinam o funcionamento das comunidades<sup>79-81</sup>. As análises faunísticas podem ser realizadas em *softwares* como, por exemplo, o PAST<sup>82</sup> e o ANAFAU<sup>83</sup>. As informações resultantes permitirão a comparação entre as diferentes áreas de interesse para adequadas tomadas de decisões e análises ambientais.

## 6. Considerações Finais

Indicadores biológicos podem ser considerados ferramentas para auxiliar no retrato da realidade de um ambiente. A perda de diversidade biológica desestabiliza os ecossistemas e os torna mais vulneráveis a perturbações, e espécies bioindicadoras desempenham um papel crítico na manutenção da estrutura de uma comunidade ecológica<sup>84</sup>. Em face de tudo quanto foi exposto, a Entomologia Forense possui relevância para desbravar o campo de atuação das atividades periciais e potencial de aplicabilidade em litígios ambientais, apresentando-se como recurso científico para fornecer subsídios na caracterização de causalidades penais vinculadas ao meio ambiente, decorrentes de intervenções antrópicas degradantes a curto ou longo prazo, uma vez que os insetos podem refletir a qualidade do ambiente. Estudos sobre a diversidade e abundância dos insetos podem prover informações relevantes sobre o grau de integridade dos ambientes em que se encontram e a intensidade dos impactos em seus habitats<sup>51, 57</sup>.

Habitats heterogêneos costumam apresentar maior diversidade em espécies, uma vez que são estruturalmente complexos e promovem uma maior diversidade de nichos para exploração diferenciada dos recursos do ambiente<sup>85</sup>. Em geral, embora os insetos e demais artrópodes sejam excelentes bioindicadores para investigar questões ecológicas, esses organismos acabam sendo negligenciados em estudos e programas de conservação, avaliação, planejamento e gestão ambiental e em atividades periciais para responder questões de procedimentos legais.

Um dos entraves para a expansão da utilização de vestígios entomológicos como ferramenta para auxiliar na elucidação de infrações penais é o distanciamento entre os pesquisadores e os peritos das polícias técnico-científicas responsáveis pela

produção de provas materiais a partir do exame de locais de crime, além de falta de especialistas na área de taxonomia e entomologia. É fundamental que se busque a promoção da interação entre as atividades acadêmicas e os profissionais responsáveis pela materialidade dos delitos, com a finalidade de promover a ampliação de aplicabilidade na área, ainda que incipiente na resolução criminal.

Ecosistemas saudáveis dependem das funcionalidades ecológicas das espécies que compõem a comunidade local. A compreensão de como as espécies interagem com o meio ambiente e como mudanças no meio influenciam a dinâmica de espécies torna-se uma prioridade para mitigação dos danos. As mudanças espaciais da composição de espécies estão relacionadas à variação dos habitats<sup>62</sup> e a avaliação ambiental exige um acompanhamento contínuo das funções de diversidade e ecossistemas biológicos, sendo necessária a compreensão dos ecossistemas locais antes, durante e após a ocorrência dos ilícitos. Além do contexto conservacionista, os dados entomológicos podem auxiliar em questões ambientais oriundos de procedimentos legais em comparações de áreas naturais com áreas impactadas. A compreensão de bioindicadores e da diversidade de espécies da entomofauna é de relevante importância para a gestão ambiental e manutenção dos processos ecossistêmicos.

A perícia ambiental é recente no Brasil, assinalando a importância do desenvolvimento e divulgação de pesquisas científicas na área para a aplicação em exames de casos concretos, sendo necessário apoio e incentivo para aplicação nos trabalhos periciais. Espera-se com esse trabalho estimular pesquisas e aplicações práticas em casos relacionados com a área ambiental e nortear os pesquisadores e profissionais do meio no levantamento entomofaunístico.

Além dos órgãos periciais, tais exames também podem ser de competência dos órgãos ambientais oficiais administrativos do Estado, em casos da esfera Cível e Administrativa, os quais atuam como agências do governo federal ou dos estados responsáveis pelo controle ambiental, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades degradadoras do meio ambiente, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo; os quais, por meio de suas equipes multidisciplinares e especializadas, dotadas de equipamentos e laboratórios de análise adequados, possam realizar um estudo técnico nos locais de infrações ambientais, manifestando-se assim quanto à apuração dos eventuais danos

existentes na biodiversidade, objetivando minimizar os riscos à população e ao meio, decorrentes da existência de infrações ambientais.

## Referências

1. Oliveira-Costa J. Entomologia Forense: Quando os insetos são vestígios. Editora Millenium, Campinas. 2008. 420p.
2. Oliveira-Costa J. Insetos Peritos – A Entomologia Forense no Brasil. Editora Millennium, Campinas, 2013.
3. Catts EP, Haskell NH. Entomology and death: a procedural guide. Joyce's print Shop, Inc., Clemson, South Carolina. 1991.
4. Oliveira-Costa J. Entomologia forense: Quando os insetos são vestígio. Campinas, SP: Millennium. Tratado de perícias criminalísticas. 2003. v.8.
5. Pinheiro DS, Reis AAS, Jesuíno RSA, da Silva H MV. Variáveis na estimativa do intervalo pós-morte por métodos de entomologia forense. Enciclopédia Biosfera, Goiânia. 2012. 8(14): 1442-1458.
6. Benecke M, Lessig R. Child neglect and forensic entomology. Forensic Science International, Limerick. 2001. 120(1-2): 155-159. [http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00424-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00424-8)
7. Campobasso CP, Introna F. The forensic entomologist in the context of the forensic pathologist's role. Forensic Science International. 2001. 120: 132-139. [http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00425-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00425-X)
8. Pujol-Luz JR, Arantes LC, Constantino R. Cem anos da entomologia forense no Brasil (1980-2008). Revista Brasileira de Entomologia. 2008. 52(4): 485-492. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262008000400001>
9. Lord W, Steverson JR. Directory of forensic entomologists, 2ª. Ed, Def. Pest Mgmt. Info. Anal. Center, Walter Reed Army Medical Center, Washington, D.C.1986. 42p.
10. Nakaza E, Dias Filho CR, Fontes LR de O, Da Silva FSM. A Aplicação da entomologia forense nos crimes contra o meio ambiente: perspectivas para o brasil. Arquivos da Policia Civil. 2009. 51(1): 11-22.
11. Keh B. Scope and applications of forensic entomology. Annual Review of Entomology. 1985. 30: 137–154. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.30.010185.001033>
12. Anderson GS. Wildlife forensic entomology: determining time of death in two illegally killed black bear cubs. Journal of Forensic Sciences, Malden. 1999. 44(4): 856-859. <http://dx.doi.org/10.1520/jfs14567j>

13. Watson EJ, Carlton CE. Insect succession and decomposition of wildlife carcasses during fall and winter in Louisiana. *Journal of Medical Entomology*, Oxford. 2005. 42(2): 193-203. <http://dx.doi.org/10.1093/jmedent/42.2.193>
14. Crosby T, Watt J, Kistemaker A, Nelson P. Entomological identification of the origin of imported *cannabis*. *Forensic Science Society*. 1986. 26: 35-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0015-7368\(86\)72444-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0015-7368(86)72444-4)
15. Myers N. Tropical forests and their species: Going, going...? In *Biodiversity*. Wilson, E. O., F. M. Peter (eds). Washington, D. C.: National Academic Press. 1988. 28-35.
16. Pimentel D, Stachow U, Takacs DA, Brubaker HW, Dumas AR, Meaney JJ, O'Neil JAS, Onsi DE, Corzilius DB. Conserving biological diversity in agricultural / forestry systems. *BioScience*, Uberlândia. 1992. 42(5): 354-362. <http://dx.doi.org/10.2307/1311782>
17. Tschardt T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C. Characteristics of insect populations on habitat fragments: a mini review. *Ecological Research*, New York. 2002. 17: 229-239. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00482.x>
18. Ricklefs RE. *Economia da Natureza*. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2003. 503p.
19. Verdú JR, Moreno CE, Sánchez-Rojas G, Numa C, Galante E, Halffter G. Grazing promotes dung beetle diversity in the xeric landscape of a Mexican Biosphere Reserve. *Biol Conserv*. 2007. 140: 308-317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.015>
20. Shafer CL. The theory of island biogeography. In: *Nature reserves. Island theory and conservation practice*, Washington: Smithsonian Institution Press. 1990.
21. Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst*. 2003. 34: 487-515. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
22. Carvalho CJB. *Padrões de endemismos e a conservação da biodiversidade. Megadiversidade*, Belo Horizonte. 2009. 5.
23. Niebuhr BBS, Wosniack ME, Santos MC, Raposo EP, Viswanathan GM, Da Luz MGE, Pie MR. Survival in patchy landscapes: the interplay between dispersal, habitat loss and fragmentation. *Scientific Reports*. 2015. 5:11898. <http://dx.doi.org/10.1038/srep11898>
24. Almeida JR, Oliveira SG, Panno M. *Perícia Ambiental*. Thex Ed. Rio de Janeiro. 2000. 41p.
25. Correia PAS. *Perícias Ambientais*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba. 2003. 8p.
26. Hanski I. Carrion fly community dynamics: patchiness, seasonality and coexistence. *Ecol.Entomol*. 1987. 12: 257-266. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2311.1987.tb01004.x>
27. Marchenko MI. The use of temperature parameters of fly growth in medico-legal practice. *General trends .Proc. Int. Conf. Med. Vet. Dipterol. Ceske Budejovica*. 1988. 254-57.

28. Carvalho LML, Linhares AX. Seasonality of insects succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in southeastern Brazil. *J. Forensic Sci.* 2001. 46 (3): 604-608.
29. Moura MO, Carvalho CJB, Monteiro-Filho ELA. A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, state of Paraná. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz.* 1997. 92: 269-274. <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02761997000200023>
30. McGeoch MA. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biology Review.* 1998. 73: 181-201. <http://dx.doi.org/10.1017/S000632319700515X>
31. Catts EP. Problems in estimating the postmortem interval in death investigations. *J. Agric. Entomol.* 1992. 9 (4): 245-255.
32. da Silva França JM, Miranda LM, Leite MV, Moreira EA. Entomofauna bioindicadora da qualidade ambiental e suas respostas a sazonalidade e atratividade. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde.* 2014. 12(1): 3-16. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v12i1.0316>
33. Niemi GJ, McDonald ME. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics.* 2004. 35: 89-111. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132>
34. Wink C, Guedes JVC, Fagundes CK, Rovedder AP. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages* 2005. 4(1): 60-71.
35. Allaby M. *The concise Oxford Dictionary of Zoology.* Oxford: Oxford University Press, 1992.
36. Leivas FWT, Carneiro E. Utilizando os hexápodes (Arthropoda, Hexapoda) como bioindicadores na Biologia da Conservação: Avanços e perspectivas. *Estud. Biol., Ambiente Divers.* 2012. 34(83): 203-213.
37. Leivas FWT, Fischer ML. Avaliação da composição de invertebrados terrestres em uma área rural localizada no município de Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil. *Biotemas.* 2008. 21(1): 65-73. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n1p65>
38. Azevedo FR, Moura MD, Arrais MSB, Nere DR. Composição da entomofauna da Floresta Nacional do Araripe em diferentes vegetações e estações do ano. *Revista Ceres, Viçosa.* 2011. 58(6).
39. Rosenberg DM, Danks HV, Lehmkuhl DM. Importance of insects in environmental impact assessment. *Environmental Management.* 1986. 10(6): 773-783. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01867730>
40. Benson WW, Harada AY. Local diversity of tropical and temperate ant faunas (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Amazônica.* 1988. 18: 275-289. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921988183289>
41. Brown Jr KS. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. *The conservation of insects and their habitats.* 1991. 349, 404.

42. Clark TE, Samways MJ. Dragonflies (Odonata) as indicators of biotope quality in the Krüger National Park, South Africa. *Journal of Applied Ecology*. 1996. 33: 1001-1012. <http://dx.doi.org/10.2307/2404681>
43. New TR. Are Lepidoptera an effective 'umbrella group' for biodiversity conservation? *Journal of Insect Conservation*. 1997. 1: 5-12. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018433406701>
44. Brown Jr KS, Freitas AVL. Atlantic Forest Butterflies: Indicators for Landscape Conservation. *Biotropica*. 2000. 32(4b): 934–956. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00631.x>
45. Thomanzini MJ, Thomanzini APBW. Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano. Rio Branco: Embrapa Acre, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35) 2002. 41p.
46. Freitas AVL, Francini RB, Brown Jr KS. Insetos como indicadores ambientais. Capítulo 10 in Cullen, L. R.; R. Rudran & C. Valladares-Pádua (eds.). *Manual Brasileiro em Biologia da Conservação*. Smithsonian Institution Press. 2003.
47. Andersen MN. The evolution of marine insects: phylogenetic, ecological and geographical aspects of species diversity in marine water striders. *Ecography*. 1999. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb00458.x>
48. Losey JE, Vaughan M. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, Washingto. 2006. 56(4): 311-323.
49. Gomes L. *Entomologia Forense: novas tendências e tecnologias nas ciências criminais*. Technical Books Editora. 2010.
50. Brown KS. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: Martos HL & Maia NB. *Indicadores ambientais*. 1º ed. Sorocaba. 1997. 143-151.
51. Silveira Neto S, Monteiro RC, Zucchi RA, Moraes R.C.B. Uso Da Análise Faunística de Insetos na Avaliação do Impacto Ambiental. *Sci. Agric. Piracicaba*. 1995. 52(1): 9-15. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161995000100003>
52. McGeoch MA, Rensburg BJV, Botes A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *J Appl Ecol*. 2002. 39: 661-672. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00743.x>
53. Spector S. Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal táxon for biodiversity research and conservation. *Coleopt Bull*. 2006 5: 71-83. [http://dx.doi.org/10.1649/0010-065X\(2006\)60\[71:SDBCSS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1649/0010-065X(2006)60[71:SDBCSS]2.0.CO;2)
54. Gardner TA, Hernández MIM, Barlow J, Peres CA. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology*. Journal compilation – British Ecological Society. 2008.

55. Galdean N, Callisto M, Barbosa FAR, Rocha LA. 2000. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative of classification based on the benthic macroinvertebrate community. *J. Aquatic Ecos. Health Manag.* 2000. 3: 545-552. [http://dx.doi.org/10.1016/s1463-4988\(00\)00044-0](http://dx.doi.org/10.1016/s1463-4988(00)00044-0)
56. Laroça S, Mielke OHH. Ensaios sobre ecologia de comunidade em Sphingidae na Serra do Mar, Paraná, Brasil (Lepidoptera). *Revista Brasileira de Biologia*, Rio de Janeiro. 1975. 35: 1-19.
57. Lutinski JA, Garcia FRM. Análise faunística de Formicidae (Hymenoptera: Apocrita) em ecossistema degradado no município de Chapecó, Santa Catarina. *Biotemas.* 2005. 18(2): 73 - 86.
58. De Oliveira MA, Gomes CFF, Pires EM, Marinho CGS, Della Lucia TMC. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres.* 2015. 61(7): 800-807.
59. Foster WA, Snaddon JL, Turner EC, Fayle TM, Cockerill TD, Ellwood MDF, et al. Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. *Philos. Trans. R. Soc.* 2011. 266: 3277–3291. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2011.0041>
60. Wang WY, Foster WA. The effects of forest conversion to oil palm on ground-foraging ant communities depend on beta diversity and sampling grain. *Ecology and evolution.* 2015. 5(15): 3159-3170. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.1592>
61. Davis ALV, Van Aarde RJ, Scholtz CH, Delpont JH. Increasing representation of localized dung beetles across a chronosequence of regenerating vegetation and natural dune forest in South Africa. *Global Ecology and Biogeography*, Oxford. 2002 11(3): 191-209.
62. De Almeida SDS, Louzada, J. N. Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do Cerrado e sua importância para a conservação. *Neotrop. Entomol.* 2009. 38(1): 32-43. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2009000100003>
63. Favila ME, Halffter G. The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zoológica Mexicana.* 1997. 72: 1-25.
64. Louzada JNC, Lopes FSA. A comunidade de Scarabaeidae copro–necrófagos (Coleoptera) de um fragmento de Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Entomologia.* 1997. 41: 117–121.
65. Nichols E, Larsen T, Spector S, Davis AL, Escobar F, Favila M, Vulinec K, The Scarabaeinae Research Network. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation.* 2007. 137: 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>
66. Clarke KC. *Advances in geographic information systems, computers, environment and urban systems.* 1986. 10: 175-184.

67. Botteon VW. Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais. *Revista Brasileira de Criminalística*. 2016. 5(1): 7-13. <http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v5i1.110>
68. Keeling M. Spatial models of interacting populations. In: McGlade, J (Ed.). *Advanced ecological theory*. Oxford: Blackwell Science.m 1999. 368p. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444311501.ch3>
69. Ferreira ENL. Diversidade de insetos e distribuição espacial em reflorestamentos e regeneração natural. 2014. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
70. Gurney WSC, Nisbet RM. *Ecological dynamics*. New York: Oxford University Press. 1998. 352p.
71. Ramirez JM, Thomann EA, Waymire EC. Advection-dispersion across interfaces. *Statistical Science*, Hayward. 2013. 28(4): 487-509. <http://dx.doi.org/10.1214/13-STS442>
72. Marinho CGS, Soares SM, Dellalucia TMC. Diversidade de invertebrados terrestres edáficos em áreas de eucalipto e mata secundária. *Acta Biologica Leopoldensia*. 1997. 19(2): 157-164.
73. Alonso LE & Agosti D. Biodiversity studies, monitoring, and ants: An overview. In: Agosti E, Majer JD, Alonso LE & Schultz TR (Eds.) *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Washington, Smithsonian Institution Press. 18p. 2000.
74. Magurran AE. Measuring biological diversity. *African Journal of Aquatic Science*. 2004. 29(2): 285-286. <http://dx.doi.org/10.2989/16085910409503825>
75. Krebs CJ. *Ecological methodology*. Harper & Row, New York. 1999. 624p.
76. Sokal RR, Rohlf JF. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 2nd ed., W. H. Freeman and Company, San Francisco 1981. 859p.
77. Spellerberg IF, Fedor PJ. A tribute to Claude Shannon 1916-2001 and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon-Wiener' index. *Global Ecology and Biogeography*, Oxford 2003. 12(3): 177-179. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00015.x>
78. Ludwig JA, Reynolds JF. *Statistical ecology*. New York: John Wiley. 1988. 337p.
79. Tilman D. Functional diversity. In *Encyclopedia of Biodiversity* (S.A. Levin, ed.). Academic Press, San Diego. 2001. 109-120. <http://dx.doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00132-2>
80. Petchey OL, Gaston KJ. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecol. Lett.* 2006. 9(6): 741-758. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
81. Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotrop.* 2009. 9(3). <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>

82. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. 4(1): 1-9. <http://palaeo-electronica.org/2001-1/past/issue1-01.htm>
83. Moraes RCB, Haddad ML, Silveira Neto S, Reyes AEL. 2003. Software para análise faunística - AnaFau. In: Simpósio de Controle Biológico, 2003, São Pedro, SP. Resumos - 8º Siconbiol. São Pedro. 195p.
84. Schulze ED, Mooney H. Biodiversity and Ecosystem Function. *Ecological Studies* no. 99. Heidelberg: Springer-Verlag. 1993. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-58001-7>
85. Tews J, Brose U, Grimm V, Tielborger K, Wichmann MC, Schwager M, Jeltsch F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*. 2004. 31: 79-92. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x>