

**Pesticidas em aves insetívoras: uma análise quantitativa sobre o panorama de
contaminação**

Pesticides in insectivorous birds: a quantitative analysis of the contamination outlook

**Pesticidas en aves insectívoras: un análisis cuantitativo de la perspectiva de
contaminación**

Recebido: 08/07/2020 | Revisado: 04/08/2020 | Aceito: 07/08/2020 | Publicado: 14/08/2020

Milena Santos Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9171-2112>

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

E-mail: milenasantosbatista28@gmail.com

Bruno Ramos Brum

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3645-3074>

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

E-mail: brunoramosbrum@hotmail.com

Thaysa Costa Hurtado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6274-4273>

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

E-mail: thaysa_mt@hotmail.com

Áurea Regina Alves Ignácio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4672-1818>

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

E-mail: aurea@unemat.br

Resumo

Os principais agrotóxicos utilizados são os inseticidas, os herbicidas e os fungicidas. A partir desses substratos, a fauna silvestre fica exposta a esses poluentes. No entanto as aves apresentam maiores graus de sensibilidade, quando comparado a outros vertebrados a exposição de diversos compostos utilizados na agricultura. Sendo assim, por meio de uma abordagem cienciométrica, o objetivo do presente estudo foi verificar e caracterizar o desenvolvimento do conhecimento científico mundial sobre a contaminação de aves insetívoras por agrotóxicos. Na busca realizada com o enfoque em publicações que investigaram pesticidas em aves insetívoras foram identificados um total de 155 artigos no

período de 2014 a 2108. Após o processo de seleção minucioso dos artigos, obtivemos apenas 6 artigos que realizaram estudos de contaminação em aves insetívoras através de algum tipo de pesticida. Estes trabalhos estudaram 52 espécies de aves onde 23 dessas espécies apresentaram tendência populacional classificada como diminuindo. Os resultados demonstraram que estas aves tiveram ao menos um órgão/tecido/estrutura (bolo estomacal, plasma sanguíneo, tecido muscular, itens alimentares) contaminado por um dos 29 tipos de compostos químicos encontrados nos artigos analisados. Embora tenha-se constatado a existência de uma lacuna teórica mundial em relação a pesquisas ecotoxicológicas, demonstrando o impacto dos agrotóxicos no meio ambiente, os estudos com aves insetívoras demonstraram ser ótimos mecanismos de monitoramento ambiental frente às mudanças que ocorrem nos ecossistemas, decorrentes da crescente produção agrícola mundial e podem proporcionar informações relevantes para a tomada de decisões e estabelecimento de políticas públicas no Brasil e no mundo.

Palavras-chaves: Agrotóxico; Avifauna; Cienciometria; Ecotoxicologia; Impacto ambiental.

Abstract

The main pesticides used are insecticides, herbicides and fungicides. From these substrates, wild fauna is exposed to these pollutants. However, birds show greater degrees of sensitivity, when compared to other vertebrates, the exposure of various compounds used in agriculture. Thus, through a scientometric approach, the objective of the present study was to verify and characterize the development of the worldwide scientific knowledge about the contamination of insectivorous birds by pesticides. In the search conducted with a focus on publications that investigated pesticides in insectivorous birds a total of 155 articles were identified for the period from 2014 to 2108. After the thorough selection process of the articles, we obtained only 6 articles that carried out studies of contamination in birds insectivores through some type of pesticide. These studies studied 52 species of birds where 23 of these species showed a population trend classified as decreasing (DE). The results showed that they had at least one organ / tissue / structure (stomach bolus, blood plasma, muscle tissue, food items,) contaminated by one of the 29 types of chemical compounds found in the analyzed articles. Although it has been found that there is a global theoretical gap in relation to ecotoxicological research, demonstrating the impact of pesticides on the environment, studies with insectivorous birds have shown to be excellent mechanisms for environmental monitoring in the face of changes occurring in ecosystems, resulting from production and can provide

relevant information for decision-making and the establishment of public policies in Brazil and worldwide.

Keywords: Pesticides; Birdlife; Scientometrics; Ecotoxicology; Environmental impact.

Resumen

Los principales pesticidas utilizados son los insecticidas, herbicidas y fungicidas. De estos sustratos, la fauna salvaje está expuesta a estos contaminantes. Sin embargo, las aves muestran mayores grados de sensibilidad, en comparación con otros vertebrados, la exposición de varios compuestos utilizados en la agricultura. Por lo tanto, a través de un enfoque cuantitativo, el objetivo del presente estudio fue verificar y caracterizar el desarrollo del conocimiento científico mundial sobre la contaminación de las aves insectívoras por pesticidas. En la búsqueda realizada con un enfoque en publicaciones que investigaron pesticidas en aves insectívoras se identificaron un total de 155 artículos para el período de 2014 a 2108. Después del minucioso proceso de selección de los artículos, obtuvimos solo 6 artículos que llevaron a cabo estudios de contaminación en aves insectívoras a través de algún tipo de pesticida. Estos estudios estudiaron 52 especies de aves donde 23 de estas especies mostraron una tendencia de población clasificada como decreciente (DE). Los resultados mostraron que tenían al menos un órgano / tejido / estructura (bolo estomacal, plasma sanguíneo, tejido muscular, alimentos) contaminados por uno de los 29 tipos de compuestos químicos encontrados en los artículos analizados. Aunque se ha encontrado que existe una brecha teórica global en relación con la investigación ecotoxicológica, que demuestra el impacto de los pesticidas en el medio ambiente, los estudios con aves insectívoras han demostrado ser excelentes mecanismos para el monitoreo ambiental frente a los cambios que ocurren en los ecosistemas, como resultado de la producción y puede proporcionar información relevante para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas públicas en Brasil y en todo el mundo.

Palabras-clave: Pesticidas; Avifauna; Cuantimetría; Ecotoxicología; Impacto ambiental.

1. Introdução

A partir dos anos 50 a agricultura moderna começou a priorizar modelos tecnológicos com base no uso intensivo da mecanização, adubos minerais de alta solubilidade e agrotóxicos, a chamada revolução verde (Kamiyama, et al., 2011), período no qual, a

agricultura se desenvolveu expressivamente causando, via de regra, impactos ao meio ambiente (Barboza, et al., 2012).

Desde então os agrotóxicos vem sendo utilizados para prevenir, combater ou controlar uma praga, podendo ser aplicados em florestas, ambientes aquáticos, urbanos, industriais, na agricultura e pastagens para a pecuária (Silva, 2014).

O processo contínuo da modernização da agricultura gerou por um lado o crescimento econômico e, por outro, riscos potenciais ao meio ambiente. Esses riscos são causados principalmente por práticas inadequadas de manejo do solo e das culturas, desmatamento, desertificação (Foley, et al., 2011), erosão dos solos (Stocking, 2003) e contaminação dos recursos naturais por produtos químicos utilizados no manejo agrícola (Barboza, et al., 2012).

Para manter a alta produtividade são utilizados intensivamente insumos químicos, como fertilizantes e agrotóxicos (Pignati, et al., 2017). Dentre eles os mais utilizados são os inseticidas, os herbicidas e os fungicidas. Após a utilização esses compostos dispersam pelo ambiente, atingindo o solo, o ar, a água, a vegetação e os invertebrados. A partir desses substratos, a fauna silvestre fica exposta a esses poluentes (Fava, et al., 1993).

De acordo com (Soares, et al., 2005 & Ibama, 2009). Os efeitos dos agrotóxicos podem ser agudo, subcrônicos e crônicos e podem interferir na fisiologia, no comportamento ou na reprodução dos organismos. A toxicidade está em função do tempo de persistência disponível no meio ambiente, de forma que, os agrotóxicos podem interferir em processos básicos do ecossistema, como a respiração do solo, ciclagem de nutrientes, mortalidade de peixes ou aves, bem como a redução de suas populações, entre outros efeitos (Ibama, 2009).

Um efeito deletério provocado pela contaminação por agrotóxicos é particularmente importante em aves, pois esses indivíduos apresentam maiores graus de sensibilidade, quando comparado a outros vertebrados a exposição desses compostos, (Grue & Shipley, 1984; Parker & Goldstein, 2000). Estes indivíduos possuem baixos níveis de enzimas detoxificantes (Parker & Goldstein, 2000), e sua capacidade de deslocamento e sua alimentação específica, fazem com que, sejam mais sensíveis e apresentem maior susceptibilidade a contaminação por agrotóxicos.

Desde a década de 60 trabalhos científicos alertam para o impacto do uso de compostos químicos utilizados na agricultura sobre a fauna silvestre destacando a importância desta contaminação em aves (Cooke, 1973; Anderson, et al., 1982; Gallo & Lawryk, 1991; Fry, 1995; Blus, 1997; Brown, et al., 1997; Scollon, et al., 2001).

Os efeitos indiretos de diversos pesticidas, que operam através da cadeia alimentar, têm sido propostos como um possível fator causal para o declínio das espécies de aves em terras agrícolas (Boatman, et al., 2004).

Segundo Hall (1994), a contaminação ambiental proveniente do uso indiscriminado de agrotóxicos na agricultura pode desencadear uma série de prejuízos ao ambiente, comprometendo a qualidade e integridade da biodiversidade ameaçando a sobrevivência dos ecossistemas. O que corrobora com Sick (2001), Filho & Silveira, (2012) que apontam a expansão agrícola associada a aplicação de agroquímicos nas lavouras como elo direto ao declínio que a grande biodiversidade de aves vem sofrendo no mundo todo.

O estudo da avifauna é de vital importância para a manutenção e preservação ambiental, pois podem ser facilmente apontadas como bioindicadores de alterações nos ambientes (Amâncio, et al., 2008) e por serem suscetíveis a variações nos ecossistemas, devido ao alto grau de especificidade por espécie, no que diz respeito a território e habitat. Aves insetívoras são mais predispostas a contaminação por agrotóxicos devido o consumo de insetos contaminados provenientes das lavouras onde esses produtos foram aplicados geralmente em maior escala (Gosdstein, 1999).

Em termos funcionais, quando as aves insetívoras são afetadas num determinado ambiente temos um desequilíbrio em relação aos serviços ecossistêmicos exercidos pelas mesmas visto que, são extremamente importantes no controle biológico de pragas. Soares (1989) & Dávila (2012) apontam que a compreensão do conhecimento sobre um tema, em determinado período, é de grande importância para o processo de compreensão da evolução da ciência, contribuindo com um conjunto de informações e resultados produzidos.

Por meio da abordagem cienciométrica, o objetivo deste trabalho foi analisar o desenvolvimento do conhecimento científico mundial atual, a respeito da contaminação em aves insetívoras por compostos químicos utilizados na agricultura.

2. Metodologia

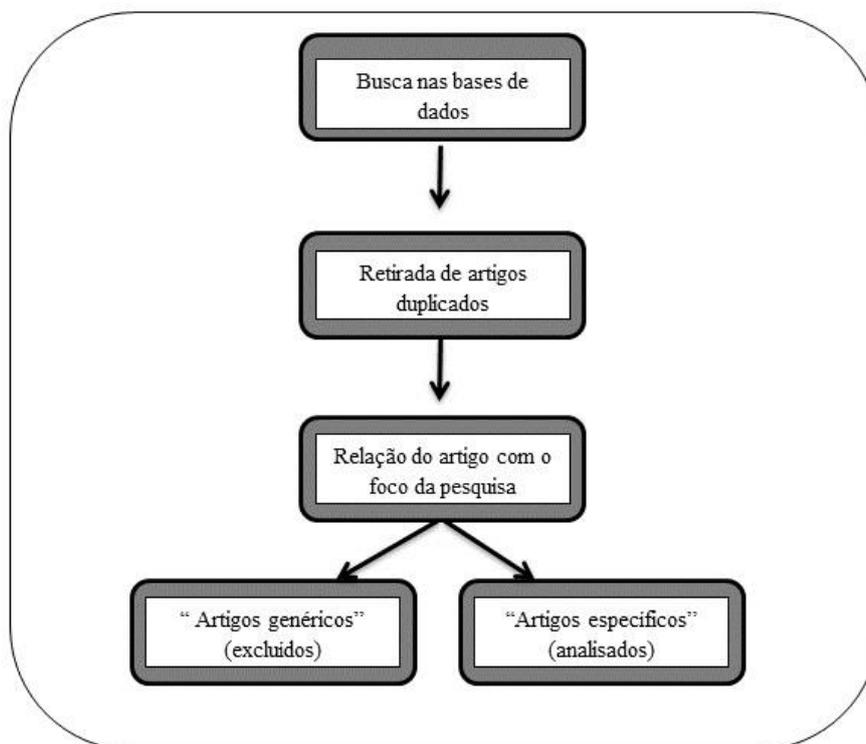
O método utilizado nesta pesquisa foi o cienciométrico, por meio das bases de dados Science Direct e Web of Science.

A abordagem cienciométrica visa o avanço do desenvolvimento da ciência em relação às questões ambientais, sociais e políticas, baseada principalmente na análise quantitativa de publicações científica para entender como um determinado conhecimento ou campo

científico, é estruturado e organizado, gerando conjuntos ou bancos de dados que podem ser analisados (Pereira, et al., 2018, Hurtado, et al., 2020).

A Figura 1 demonstra as etapas de seleção dos artigos analisados com foco em contaminação por agrotóxicos em aves insetívoras.

Figura 1 - Fluxograma das etapas entre a obtenção dos artigos potenciais disponíveis nas bases de dados Science Direct e Web of Science e a seleção de artigos que estudaram a contaminação de agrotóxicos em aves insetívoras.



Fonte: Brum, et al., (2020).

Seguindo as etapas do fluxograma acima, para a análise cienciométrica, foi criado um banco de dados a partir das informações obtidas nas duas bases (Disponível em: <http://www.webofscience.com>) e em (Disponível em: <http://www.ScienceDirect>).

Na primeira etapa da pesquisa foi realizada uma busca nas bases de dados para encontrar artigos científicos indexados que continham os termos em inglês *pesticides in insectivorous birds* no título, resumo e/ou nas palavras-chave.

Os artigos científicos encontrados nas duas bases de dados foram contabilizados, e quando uma mesma publicação era constatada em ambas as plataformas, esta era registrada apenas uma vez.

Quando a pesquisa analisada avaliou espécies de aves de guildas diferentes considerou-se para este estudo apenas os resultados de multiresíduos de pesticidas encontrados nas aves insetívoras.

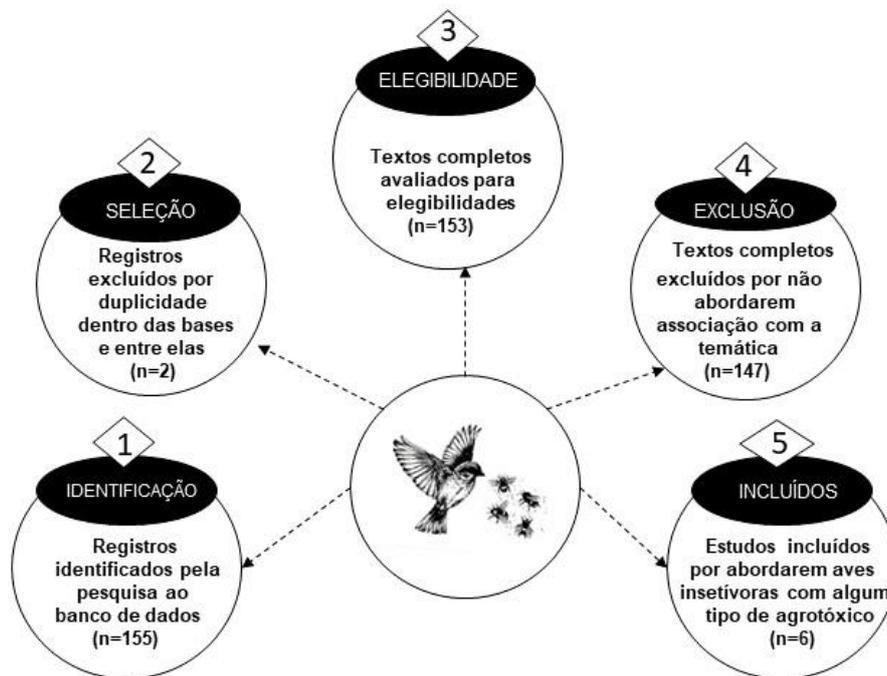
Formaram-se dois grupos de artigos: um grupo “genérico”, composto por artigos que apresentaram um ou mais dos termos pesquisados, mas não continham o foco de interesse principal da pesquisa, sendo eles excluídos da análise, e um grupo “específico” que realizaram estudos voltados para o foco da pesquisa, e foram analisados nesse estudo. Além disso foram considerados para este estudo apenas artigos de pesquisa (*research articles*), e artigos de revisão (*review articles*).

Em seguida, cada registro foi examinado para verificar sua relação com o foco desta pesquisa de forma que, para melhor explorar os artigos compilados, uma série de indicadores cientométricos foram retirados e atribuídos ao conjunto de dados criado: (i) ano de publicação do artigo; (ii) nacionalidade do primeiro autor; (iii) tipo de documento publicado; (iv) quais as espécies de aves insetívoras estudadas e seu *status* populacional; (v) quais os compostos químicos foram estudados nas pesquisas ecotoxicológicas.

3. Resultados

Na busca realizada com o enfoque em publicações que investigaram pesticidas em aves insetívoras foram identificados um total de 155 artigos nas duas bases estudadas, que estavam diretamente relacionados com a temática. Desse quantitativo preliminar, 2 artigos foram retirados por apresentar duplicidades entre as bases, restando 153 artigos. Após uma leitura minuciosa, 147 artigos foram excluídos, destes 11 analisavam aves insetívoras, mas não estavam relacionadas com algum tipo de contaminante, 36 artigos trabalharam com outras guildas (granívora, onívora, piscívora, carnívora) e 100 não apresentaram relação com o tema proposto. Apenas 6 artigos foram incluídos ao final do processo de análise, por estudar aves insetívoras e sua contaminação por algum tipo de agrotóxico, conforme Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma representativo do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos artigos para um banco de dados.



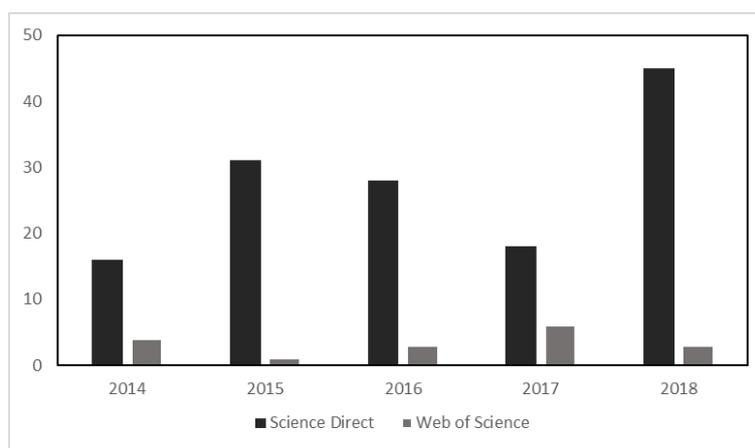
Fonte: Construção dos autores (2020).

A Figura 2 demonstra em cinco etapas o processo de seleção de artigos de interesse para esse estudo. Vale ressaltar que em todas as etapas houve uma análise rigorosa dos termos e artigos encontrados nas plataformas indexadoras para se atender o foco da pesquisa, podendo assim chegar no resultado final, onde foram incluídos 6 artigos para o estudo.

Foram encontradas 138 publicações na base de dados Science Direct para os últimos cinco anos, e 17 artigos na base Web of Science, entre artigos de pesquisa “*Research articles*” e artigos de revisão “*Review articles*”.

O ano em que mais ocorreu publicação para a base de dados Science Direct foi o ano de 2018, já para a base de dados web of Science foi o ano de 2017 (Figura 3).

Figura 3 – Números de trabalhos publicados no período de 2014 a 2018 com o termo *pesticides in insectivorous birds*.



Fonte: Construção dos autores (2020).

A Figura 3 demonstra os números de publicações por anos nas duas bases de dados estudadas, de modo que é importante observar que houve uma queda acentuada nas publicações para o ano de 2015 na base Web of Science, porém no ano de 2017 ocorreu um aumento no número de publicações. Já para base Science Direct o ano em que se registrou menor quantidade de publicações foi em 2014, variando até o ano de 2018 onde houve uma crescente nos trabalhos publicados.

Dentre os 6 trabalhos elegíveis, que abordavam estudos ecotoxicológicos relacionados a pesticidas agrícolas em aves insetívoras, os anos de 2014 a 2018, contabilizamos 2 publicações, para os anos 2014, 2015 e 2018 respectivamente, o país que mais publicou sobre o assunto foi o Canadá com dois trabalhos, seguido da Holanda, Estados Unidos, Chile e China com 1 publicação. Nenhum dos autores publicou mais de um trabalho sobre a temática, Tabela 1.

Tabela 1 - Publicações que analisaram a presença de agrotóxicos no organismo de aves insetívoras entre os anos de 2014 a 2018.

Principais Autores	Ano da publicação	País
Hallmann et .al.	2014	Holanda
Custer et. al.	2014	Estados Unidos
Narvaez et. al.	2015	Chile
Haroune et. al.	2015	Canadá
Ling Mo et. al.	2018	China
Stanton et. al.	2018	Canadá

Fonte: Construção dos autores (2020)

A Tabela 1 demonstra os principais autores, ano de publicação e país dos 6 trabalhos que foram analisados na pesquisa, sendo importante destacar que para o período analisado somente em três anos houve publicações relacionadas com esse tema, 2014, 2015 e 2018.

Os 6 trabalhos analisados, buscaram diagnosticar se a composição química encontrada nas formulações dos agrotóxicos tinha potencial de bioacumulação e biomagnificação, através da cadeia trófica sobre a população de aves insetívoras que habitam diferentes ambientes.

Analisando os ambientes estudados, não tivemos apenas áreas agrícolas, mas também locais como baía urbana e área de reciclagem de lixo eletrônico. Os principais grupos químicos e seus metabólitos estudados nas pesquisas encontradas quanto à contaminação em aves insetívoras foram: Neonicotinoide, carbanato, hidroxila, organofosforado, trazina, tiadiazina, carboxamina, benzimidazol, uréia, triazina, organofosfato, arylurea, fenipirrol, triazinona, imidazolinona, dicarboximida, estrobilurina, cloroacetanilida, dinitronialinapiretroide, estrobilurina, anilnipirimidina, espinosinas, organoclorados e organobromados. Esses agentes químicos foram usados como Inseticidas, herbicidas e fungicidas, utilizados contra fungos, ervas daninhas, insetos, larvas e formigas, como demonstra na Tabela 2.

Tabela 2 - Ambientes estudados nas pesquisas sobre contaminação de aves insetívoras por pesticidas, classe, grupo químico e alvo biológico dos compostos investigados.

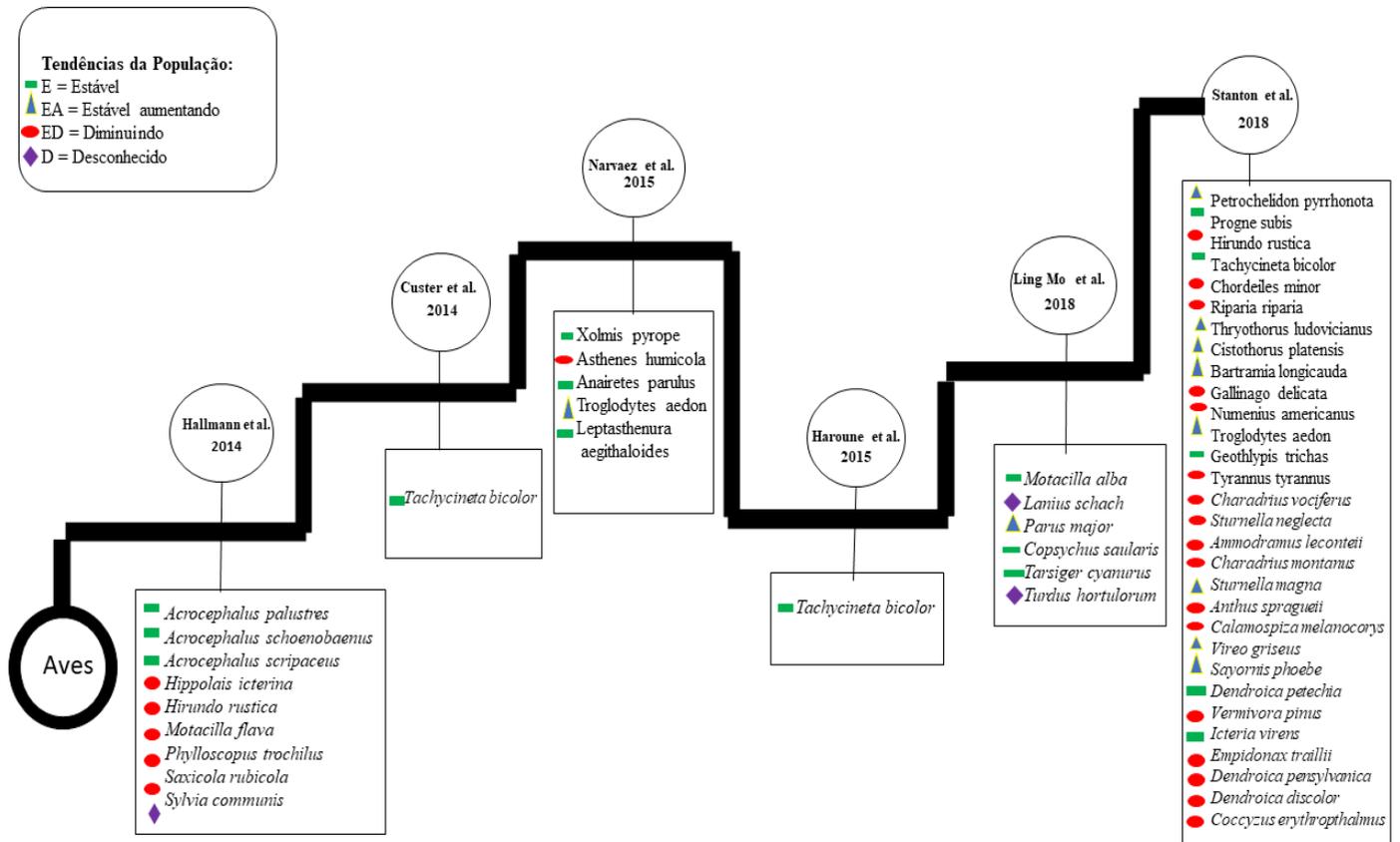
Ambiente estudado	Grupo químico pesquisado	Finalidade de uso	Alvo biológico
Terras agrícolas	Neonicotinoides	Inseticida	Inseto, larvas e formigas
Baía urbana	Organoclorados	Produção de papel	-
Áreas agrícolas	Organofosforados	Inseticida	Inseto, larvas e formigas
Áreas agrícolas	Neonicotinoide, carbamato, hidroxila, organofosforado, traziana, tiadiazina, carboxamida, benzimidazol, uréia, triazina, organofosfato, arylurea, fenilpirrol, triazinona, imidazolinona, dicarboximida, estrobilurina, cloroacetanilida, dinitroanilina piretroides, estrobilurina, anilinopirimidina, espinosinas	Fungicidas, herbicidas e inseticidas	Inseto, larvas e formigas
Terras agrícolas	Organofosforados e Neonicotinoides	Inseticida, herbicida e fungicida	Inseto, larvas e formigas
Área de reciclagem de lixo eletrônico	Organoclorados e organobromados	Inseticida	Insetos, larvas e formigas

Fonte: Adaptado de OPAS, 1996 e Peres, et al. (2003).

Entre os artigos analisados, 4 realizaram pesquisas em áreas agrícolas, onde houve um grande número de grupos químicos utilizados com a finalidade de atingir alvos como: insetos, larvas e formigas. Esses recursos biológicos fazem parte da dieta alimentar de várias espécies de aves insetívoras, a eliminação ou contaminação desses itens alimentares pode afetar diretamente as aves levando ao potencial declínio.

Dentre os trabalhos encontrados, foram estudadas 52 espécies de aves insetívoras, que apresentaram tendência populacional variando de estável (E), estável aumentando (EA), diminuindo (ED) e desconhecido (D), com 16, 10, 23 e 3 representantes respectivamente (Figura 4).

Figura 4 - Espécies de aves insetívoras estudadas quanto a contaminação por pesticida nos trabalhos analisados, no mundo, entre 2014 e 2018.



Fonte: Construção dos autores (2020)

Em relação a tendência populacional das espécies de aves insetívoras estudadas por cada autor, é bastante preocupante o status desses animais, uma vez que, 23 dessas espécies estão diminuindo, e apenas 16 possui população estável.

Essas espécies foram escolhidas pelos autores dos estudos ecotoxicológicos por utilizarem locais que recebem aplicações diretas de algum tipo de agrotóxico em locais de forrageamento ou reprodução em alguma época do ano, ou habitam ambientes potencialmente contaminados por áreas adjacentes que apresentam de baixo a alto grau de poluição, por compostos químicos que foram ou ainda são utilizados na agricultura.

4. Discussão

Em um cenário que traz os agrotóxicos como parte integrante de um pacote, que não surgiu de um dia para o outro, pois tem sua origem no processo de industrialização do ocidente, que se iniciou desde o começo do século XIX, e que se baseia no modelo da Revolução Verde, há a utilização do uso combinado de variedades de sementes de alto rendimento, de adubos, agrotóxicos e da irrigação intensiva, o que facilitou o crescimento da grande propriedade e o uso de maquinário pesado, tornando-se uma peça importante do capitalismo globalizado no tocante aos aspectos econômico e político (Brum, et al., 2020).

Fica então evidente, que a pressão para aumentar a produção de alimentos, representa um desafio para a conservação da biodiversidade em paisagens agrícolas, uma vez que o consumo de agrotóxicos cresce de forma correspondente ao avanço do agronegócio, um modelo de produção que concentra a terra, e utiliza quantidades crescentes de venenos para garantir a produção em escala industrial.

Neste sentido, os resultados encontrados na pesquisa não deixam dúvidas, quanto à relevância de artigos indexados em bases de dados, como é o caso das plataformas *Web of Science* e *Science Direct*, umas das mais importantes bases existentes atualmente, pois seus artigos têm abrangência internacional, levando o conhecimento científico a ultrapassar fronteiras.

Dessa forma, foi possível conhecer o cenário científico a respeito do assunto tratado, demonstrando a importância que as pesquisas relacionadas à contaminação por agrotóxicos em aves e no meio ambiente em geral, precisam de mais atenção da comunidade científica. O uso de agrotóxicos tem se difundido na agricultura, no entanto, países como os Estados Unidos, um dos maiores consumidores desses produtos xenobióticos, possuem pouquíssima produção científica voltada para a investigação dos impactos que a utilização desses produtos pode vir a causar, inclusive sobre medidas mitigadoras para tais impactos.

Além disso, outro dado alarmante é o caso do Brasil, que também se encontra entre os maiores consumidores de agrotóxicos do mundo, com um processo produtivo agrícola cada vez mais dependente destes compostos e fertilizantes químicos, sendo os herbicidas e os inseticidas os responsáveis por 60% dos produtos comercializados no país (Rebelo, et al., 2010, Anvisa, 2013). Porém, até 2019, nas duas bases investigadas, não existe no Brasil trabalhos científicos que envolvam o estudo de efeitos toxicológicos dos agrotóxicos sobre as aves insetívoras.

A larga utilização de agrotóxicos no processo de produção agropecuária, entre outras aplicações, tem trazido uma série de transtornos e modificações para o ambiente, seja pela contaminação das comunidades de seres vivos que o compõem, seja pela sua acumulação nos segmentos bióticos e abióticos dos ecossistemas (biota, água, ar, solo, sedimentos etc.). Um dos efeitos ambientais indesejáveis dos agrotóxicos, é a contaminação de espécies que não interferem no processo de produção que se tenta controlar (espécies não-alvos), como é o caso de aves insetívoras, pois o alvo das pulverizações são os insetos, que servem de alimento para as mesmas, e nesse processo estas são contaminadas de forma indireta.

De acordo com Pimentel (1995), a quantidade de agrotóxico que realmente atinge a praga ou patógeno é extremamente pequena; menos que 1 %, o que significa que 99% ou mais vão para o ambiente. Sendo assim, o uso intensivo de agrotóxicos tem um alto potencial de impacto negativo, tanto dentro quanto fora do agrossistema. Os seus efeitos podem se manifestar de diferentes formas e intensidades, intoxicando e eliminando espécies terrestres e aquáticas e, com isso, interferindo nos diferentes níveis tróficos, simplificando sistemas biológicos complexos e equilibrados.

Os artigos encontrados nesta pesquisa apresentaram uma variabilidade de compostos químicos utilizados na agricultura que podem vir causar efeitos deletérios em aves insetívoras, tais como: Neonicotinoide, carbanato, hidroxila, organofosforado, trazina, tiadiazina, carboxamina, benzimidazol, uréia, triazina, organofosfato, arylurea, fenipirrol, triazinona, imidazolinona, dicarboximida, estrobilurina, cloroacetanilida, dinitronialinapiretroide, estrobilurina, anilipirimidina, espinosinas, organoclorados e organobromados. Esses agentes químicos foram usados como inseticidas, herbicidas e fungicidas, utilizados contra fungos, ervas daninhas, insetos, larvas e formigas (Tabela 2).

Os efeitos desses agrotóxicos podem ser agudo, subcrônicos e crônicos e podem interferir na fisiologia, no comportamento ou na reprodução dos organismos. Aves insetívoras são mais predispostas a contaminação por agrotóxicos devido o consumo de insetos contaminados provenientes das lavouras onde esses produtos foram aplicados geralmente em maior escala (Gosdstein, 1999).

As publicações produzidas no período de 2014 a 2018 sobre o impacto dos agrotóxicos em aves insetívoras, encontradas neste estudo, evidenciam contaminações por compostos organoclorados, que embora tenham sido proibidos desde a década de 60 em muitos países da Europa, ainda podem causar danos ao meio ambiente, devido à persistência de seus metabólitos nos ecossistemas.

Haroune, et al., (2015) aborda a determinação de pesticidas em amostras de insetos retirados do estômago das aves, analisando 881 bolos estomacais, onde se observaram a concentração de multiresíduos de peptídeos penetrantes nas células, (PPCs) detectando 25 dos 54 elementos químicos que compõem este grupo no bolo estomacal dos pássaros. Esse índice de elementos químicos encontrados nesses bolos estomacais, associam-se ao crescente uso de pesticidas nas lavouras agrícolas. Apresentar em sua dieta alimentos contaminados por pesticidas ocasiona em aves a redução do embrião, reduz o desempenho dos filhotes, aumenta a produção de ovos estéreis e pode até mesmo induzir adultos a mortalidade.

Neste contexto estudos avaliando detalhes da dieta provaram também ser valiosos, para identificar a transferência de contaminantes em vertebrados insetívoros. Hallmann, et al., (2014) investigaram se o inseticida neonicotinóide imidaclopride impacta negativamente populações de aves insetívoras na Holanda. Os autores descobriram que as tendências da população local de aves foram significativamente negativas em áreas com maior concentração do inseticida na água. De forma que, em concentrações de imidaclopride maiores que 20ng/l, as populações de aves tendem a diminuir anualmente em 3,5%, em média, contribuindo com a erosão da biodiversidade.

Análises adicionais revelaram que esse padrão espacial de declínio apareceu somente após a introdução imidaclopride, em meados dos anos 90. Os autores alertam que os riscos potenciais dos neonicotinóides, sugeridos para as aves, focam nos efeitos tóxicos agudos causados pelo consumo direto destes (Goulson, 2013); porém, os resultados encontrados por eles sugerem uma outra possibilidade para intoxicação e declínio dessas aves; ou seja, que a diminuição dos recursos alimentares destas (insetos) tenha causado as relações observadas. Neste contexto devemos considerar outras possíveis causas que incluem o acúmulo trófico desse neonicotinóides através do consumo de invertebrados contaminados e seus efeitos subletais ou letais (Goulson, 2013).

As pesquisas desenvolvidas por Custer, et al., (2014) com tecido muscular mostraram que as quantidades de poluentes no rio Lower Fox, o principal afluente de Green Bay, Wisconsin, EUA, diminuiu desde o início dos anos 90. Os autores detectaram quantidades de PCBs 66% inferiores aos relatados 15 anos atrás. Já as concentrações de DDE foram 43%, menores. Fator bastante importante e relevante para as questões relacionadas à contaminação e comprometimento dos componentes ambientais. Além disso, reforça a importância da utilização de aves como sentinelas ambientais provando que tecido muscular apresenta bons resultados na detecção de compostos organoclorados.

Segundo Chaiyarata, et al., (2014), a exposição persistentes de poluentes como o pesticidas organoclorados (OCPs), tem sido associada com declínios nas populações de aves, afetando na reprodução, diminuindo o tamanho dos embriões, causando deformidades e indução da feminização masculina.

Outros fatores também podem estar associados ao declínio de aves insetívoras, o uso de inseticidas neonicotinóides, sendo o mais utilizado imidaclopride, por exemplo, elemento que possui uma longa durabilidade e são solúveis tendo um potencial de se acumular no solo. Pode afetar os invertebrados não-alvos e os invertebrados fazem parte da dieta de muitas espécies de aves insetívoras. Declínios em densidade desses invertebrados por nicotinóides podem causar privação alimentar para aves insetívoras (Hallmann, et al., 2014).

Stanton, et al., (2018) avaliaram o declínio de aves insetívoras em terras agrícolas, relatando que vários fatores podem influenciar no parâmetro da população de aves insetívoras em áreas agrícolas, como reprodução e sobrevivência através de vias diretas e indiretas. Nesse estudo eles analisaram a importância relativa de dois fatores: efeitos únicos e combinados de pesticidas (geralmente inseticidas) e perda de habitat. Dos 122 estudos, dentro de cada espécie específica ao seu grupo de habitat (aérea, pradaria e matagal) os insetívoros aéreos e as espécies arbustivas foram mais comumente afetadas por pesticidas.

Os insetívoros aéreos são afetados mais rapidamente por razões pouco compreendidas, mas que podem ser relacionada à presa modificada de insetos voadores através do aumento da tensão, perda de margens de campo, aumento do uso e toxicidade de inseticidas e drenagem ou degradação das águas superficiais (Nebel, et al., 2010; Hallmann, et al., 2014).

Buscando examinar a inibição das atividades de esterase no trato digestivo de aves insetívoras por decorrente da exposição a pesticidas organofosforados, Narvaez, et al. (2015) encontraram efeitos positivos correlacionando a dieta e a atividade de butirilcolinesterase (BChE), que de acordo com (Sogorb & Vilanova, 2002; Wheelock, et al., 2008; Masson & Lockridge, 2010) atua como um eficiente mecanismo não catalítico e estequiométrico de desintoxicação. Porém encontraram uma associação positiva e significativa entre a porcentagem de nitrogênio na dieta e atividade lipase sugerindo que o teor de nitrogênio na dieta pode estar diretamente correlacionado com a porcentagem de insetos consumidos, pois segundo Ramirez-Otarola, et al. (2011), altos níveis de nitrogênio pode estar atrelado a porcentagem de insetos consumidos.

Esses resultados demonstram que embora possa ocorrer diferença interespecífica nas atividades de esterase e lipase intestinais entre indivíduos devido à composição da dieta, a análise de esterase desintoxicante de pesticidas organofosforados em aves insetívoras pode ser

usada como biomarcador no monitoramento ecotoxicológico da vida selvagem, sobretudo para aves insetívoras.

Os poluentes orgânicos persistentes (POPs), os bifenilos policlorados (PCBs), os éteres difenil polibromados (PBDEs) e o diclorodifeniltricloroetano (DDT) têm sido uma preocupação crescente por várias décadas em todo o mundo devido à sua persistência, bioacumulação, toxicidade e longo alcance.

Ling Mo, et al., (2018) buscaram avaliar a bioacumulação desses poluentes no tecido muscular de 42 aves, que foram coletadas próximo a um dos maiores locais de reciclagem de lixo eletrônico na China, o Qingyuan County, os resultados demonstraram que as concentrações de POP foram maiores nos pássaros insetívoros residentes do que nos pássaros insetívoros migrantes.

As várias fontes alimentares, comportamento de migração e possível biotransformação podem ser responsáveis pelos diferentes perfis de POPs em diferentes espécies de aves. Os níveis tróficos influenciaram significativamente a bioacumulação de POPs. As aves insetívoras residentes tiveram níveis relativamente altos e exposição prolongada a contaminação local por POPs, sugerindo que as aves insetívoras residentes são biosentinelas promissoras na detecção de POPs em ambiente terrestre em torno de locais de tratamento de resíduos.

Nossos resultados demonstram que todas as técnicas de detecção de agrotóxicos e seus metabólitos no organismo de aves insetívoras apresentaram eficácia e que as 52 espécies de aves insetívoras estudadas nas pesquisas tiveram ao menos um órgão/tecido/estrutura (tecido muscular, bolo estomacal, plasma sanguíneo, itens alimentares) contaminado por um dos 29 tipos de compostos químicos e seus metabólitos.

Dentre essas 52 espécies de aves insetívoras, 23 espécies apresentaram tendência populacional classificada pela IUCN como diminuindo (ED), sendo elas: *Hippolais icterina*, *Hirundo rustica*, *Motacilla flava*, *Phylloscopus trochilus*, *Saxicola rubicola*, *Asthenes humicola*, *Hirundo rustica*, *Chordeiles minor*, *Riparia riparia*, *Gallinago delicata*, *Numenius americanus*, *Tyrannus tyrannus*, *Charadrius vociferus*, *Sturnella neglecta*, *Ammodramus leconteii*, *Charadrius montanus*, *Anthus spragueii*, *Calamospiza melanocorys*, *Vermivora pinus*, *Empidonax traillii*, *Dendroica pensylvanica*, *Dendroica discolor*, *Coccyzus erythrophthalmus* (figura 4). A lista vermelha da IUCN visa classificar espécies com alto risco de extinção global, sendo assim essas aves insetívoras que apresentaram classificação como diminuindo (ED), estão com um alto risco de extinção, podendo causar perda na biodiversidade.

5. Considerações Finais

Os resultados encontrados nesta pesquisa não deixam dúvidas à relevância de artigos indexados em bases de dados, como é o caso da Science Direct e Web of Science. Do total de trabalhos analisados, foi possível ter uma ideia muito clara do cenário científico a respeito de estudos relacionados a contaminação e declínio de aves insetívoras relacionadas ao uso indiscriminado de agrotóxicos, visto que todos os estudos apresentaram resultados positivos em relação a contaminação no organismo dos animais expostos, demonstrando a importância que as pesquisas relacionadas à contaminação por esses produtos em aves e no meio ambiente em geral precisam de mais atenção da comunidade científica, uma vez que, o uso de agrotóxicos tem sido altamente difundido na agricultura mundial

Dessa forma o desafio dos gestores é avaliar o nível e extensão da contaminação devido a larga utilização de agrotóxicos nos ecossistemas, buscando avaliar os transtornos e modificações para o ambiente, seja pela contaminação das comunidades de seres vivos que o compõem, seja pela sua acumulação nos segmentos bióticos e abióticos dos ecossistemas (biota, água, ar, solo, sedimentos etc.). Isto proporcionará informações relevantes para a tomada de decisões e estabelecimento de políticas públicas.

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que há um risco potencial de declínio de aves insetívoras, por uso indiscriminado de agrotóxicos, demonstrando que estudos relacionados a esse tema são de suma importância para tomada de decisões relacionadas a conservação da biodiversidade.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo auxílio financeiro através da concessão de bolsa de iniciação científica, mestrado e doutorado.

Referências

Amâncio, S., Souza, V. B., & Melo, C. (2008). *Columba livia* e *Pitangus sulphuratus* como indicadoras de qualidade ambiental em área urbana. *Revista Brasileira de Ornitologia*. 16(1), 32-7.

Anderson, D. W., et al. (1982). Residues of op-DDT in southern California coastal sediments in 1971. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, 29(1), 429-33.

Barboza, L. G. A., Thomé, H. V., Ratz, R. J., & Moraes, A. J. (2012). Para além do discurso ambientalista: percepções, práticas e perspectivas da agricultura agroecológica. *Ambiência*, Guarapuava, 8(2), 389 – 401.

Blus, L. J., Wiemeyer, S. N., & Bunck, C. M. (1997). Clarification of effects of DDE on shell thickness, size, mass, and shape of avian eggs. *Environmental Pollution*, London, 95(1), 67-74.

Boatman, N. D., Brickle, N. W., Hart, J. D., Milsom, T. P., Morris, A. J., Murray, A. W. A., Murray, K. A. & Robertson, P. A. (2004). Evidence for the indirect effects of pesticides on farmland birds. *Ibis*, 146(2), 131–143.

Brown, K. S. (1997). Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: Martos, H. L., & Maia, N. B. (Ed.). *Indicadores ambientais*. Sorocaba, 143-151.

Brum, B. R., D'Ávila R. S., Sguarezi, S. B., Santos-Filho, M., & Ignácio, A. R. A. (2020). Temporal analysis of the use of birds, as environmental sentinels in the monitoring of contamination by pesticides. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-26, e752974807.

Chaiyarata, R., Sookjama, C., Eiam-Ampaib, K., & Damrongpho, P. (2014). Bioacumulação de pesticida organoclorados no fígado de pássaros do Pantanal de Broraphet, Tailândia. *ScienceAsia* 40.

Custer, T. W., Dummer, P. M., Custer, C. M., Franson, C. J., & Jones, M. (2014). Contaminant Exposure of Birds Nesting in Green Bay, Wisconsin, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(8), 1832–1839.

Cooke, A. S. (1973). Shell thinning in avian eggs by environmental pollutants. *Environmental Pollution*, London, 4, 85-152.

Dávila, E. S. (2012). Análise das Dissertações e Teses dos PPGs da Área do Ensino de ciências e matemática do RS – 2000 a 2011. Dissertação (Mestrado) – UFSM, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Fava, J., Kendall, R. J., & Lacher, J. T. E. (1993). Wildlife toxicology and population modeling – integrated studies of agroecosystems. *Boca Raton: CRC Press*, 555-567.

Fry, M. (1995). Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals. *Environmental Health Perspectives*, Research Triangle Park, 103(7), 165-171.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O’Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, Londres, 478, 337-342.

Gallo, M. A., & Lawryk, N. J. (1991). Organic phosphorous pesticides. In: Hayes Junior, W. J. & Laws Junior, E. R. (Ed.). *Handbook of pesticide toxicology*. California: Academic Press, 2, 917-1123.

Goldstein, M. L. (1999). Monitoring and assessment of swainson’s hawk in Argentina following restrictions on monocrotophos use, 1996-97. *Ecotoxicology*, Dordrecht, 8(3), 215-224.

Goulson, D. (2013). An Overview of the Environmental Risks Posed by Neonicotinoid Insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50, 977–987.

Grue, C. E., & Shipley, B. K. (1984). Sensitivity of nesting and adult starlings to dicrotophos, na organophosphate pesticide. *Environmental Research*, New York, 35(2), 454 - 465.

Hall, G. B. (1994). Biology of freshwater pollution. *Journal of Environmental Quality*, 23(2), 387-388.

Hallmann, C. A., Foppen, R. P., van Turnhout, C. A., de Kroon, H., & Jongejans, E. (2014). Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 341–343.

Haroune, L., Cassoulet, R., Lafontaine, M. P., Bélisle, M., Garant, D., Pelletier, F., Cabana, H., & Bellenger J. P. (2015). Liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination for multiclass pesticides from insect samples by microwave-assisted solvent extraction followed by a salt-out effect and micro-dispersion purification. *Anal. Chim Acta* 891,160–170.

Hurtado, T. C., Brum, B. R., Batista, M. S., D'Ávila, R. S., & Ignácio Áurea, R. A. (2020). Estudo temporal quantitativo da contaminação de aves aquáticas por metais. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento* , 9 (8), e993986710.

Ibama (2009). Produtos Agrotóxicos e Afins Comercializados em 2009 no Brasil. Recuperado de <http://www.ibama.gov.br/qualidade-ambiental/wpcontent/files/Produtos_agrotoxicos_Comercializados_Brasil_2009.pdf>.

Iucn (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1. Recuperado de:<<https://www.iucnredlist.org/>>

Kamiyama, A., Maria, I. C., Souza, D. C. C., & Silveira, A. P. D. (2011). Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. *Bragantia*, Campinas, 70(1), 176-184.

Mason, P., & Lockridge, O. (2010). Butyrylcholinesterase for protection from organophosphorus poisons: Catalytic complexities and hysteric behavior. *Arch. Biochem. Biophys.* 494, 107–120.

Mo, L., Zheng, X., Sim, Y., Yu, L., Luo, X., Cu, X., Qin, X., Gao, Y., & Mai, B. (2018). Selection of passerine birds as bio-sentinel of persistent organic pollutants in terrestrial environment. *Science of the Total Environment.* 1237- 1244.

Narvaeza, C., Ramirez-Otarolaa, N., Bozinovicb, F., Juan, C., & Sanchez-Hernandezc, P.S. (2015). Comparative intestinal esterases amongst passerine species: Assessing vulnerability to toxic chemicals in a phylogenetically explicit context. *Chemosphere*. 75-82

Nebel, S., Mills, A., McCracken, J., & Taylor, P. (2010). Declines of aerial insectivores in North America follow ageographic gradient. *Avian Conservation and Ecology*. 5(2) 1.

Opas (1996). Organização Pan-Americana de Saúde, OMS - Organização Mundial de Saúde representação do Brasil. Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos. Brasília.

Parker, M. L., & Goldstein, M. I. (2000). Differential toxicities of organophosphate and carbamate insecticides in the nestling Eutopean starling (*Sturnus vulgaris*). *Archives of environmental contamination and toxicology*, New York, 39(2), 233-242.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Peres, F., Moreira, J. C., & Dubois, G. S. (2003). Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. In: Peres, F. & Moreira, J.C. *É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Ed. *Fiocruz*, 21 – 41.

Pignati, W. A., Lima, S. N. A. F., Lara, S. S., Correa, M. L. M., Barbosa, R. J., Leão, C. H. L. & Pignatti, G. M. (2017). Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*. 22(10), 3281-3293.

Ramirez-Otarola, N., Narvaez, C., & Sabat, P. (2011). Membrane-bound intestinal enzymes of passerine birds: dietary and phylogenetic correlates. *J. Comp. Physiol.* 181,817–827.

Scollon, E. J., et al. (2001). Chemical and biochemical evaluation of Swainson's hawk mortalities in Argentina. In: Johnston, J.J. (Ed.). *Pesticides and wildlife*. Washington, DC: *American Chemical Society*. 771(21), 294-308.

Sick, H. (2001). *Ornitologia Brasileira*. Edição revista e ampliada por José Fernando Pacheco. Editora *Nova Fronteira*, Rio de Janeiro.862.

Silva, S. A. (2014). O agronegócio e as intoxicações agudas por agrotóxicos em Mato Grosso. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva. Universidade Federal de Mato Grosso Instituto de Saúde Coletiva. Cuiabá.

Soares, W. L.. & Porto, M. F. (2007). Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. *Ciência & Saúde Coletiva*, São Paulo, 12(1),131-143.

Soares, M. B. (1989). Alfabetização no Brasil: o estado do conhecimento. Brasília: Inep; *Reduc*, 157.

Sogorb, M. A., & Vilanova, E. (2002). Enzymes involved in the detoxification of organophosphorus, carbamate and pyrethroid insecticides through hydrolysis. *Toxicol.* 128, 215–228.

Stocking, M. A. (2003) Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, Nova York, 302(1356), 1355-1359.

Stanton, R. L., Morrissey, C. A., & Clark, R. G., (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 244-254.

Wheelock, C. E., Phillips, B. M., Anderson, B. S., Miller, J. L., Miller, M. J., & Hammock, B. D. (2008). Applications of carboxylesterase activity in environmental monitoring and toxicity identification evaluations (TIEs). *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 195, 117–178.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Milena Santos Batista 35 %

Bruno Ramos Brum – 25 %

Thaysa Costa Hurtado –15 %

Áurea Regina Alves Ignácio – 25 %