



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA E FISILOGIA ANIMAL
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANA BEATRIZ NASCIMENTO DOS SANTOS

RISCOS DO USO DE PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS NO
DESENVOLVIMENTO FETAL: UMA REVISÃO NARRATIVA

Recife
2025

ANA BEATRIZ NASCIMENTO DOS SANTOS

RISCOS DO USO DE PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS NO
DESENVOLVIMENTO FETAL: UMA REVISÃO NARRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para o cumprimento parcial
das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal Rural de
Pernambuco.

Orientador (a): Professor Doutor Pabyton
Gonçalves Cadena

Recife
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecária Suely Manzi – CRB/4 - 809

S237r Santos, Ana Beatriz Nascimento dos
Riscos do uso de pesticidas organofosforados no
desenvolvimento

fetal: uma revisão narrativa / Ana Beatriz Nascimento dos Santos. –
2025.

38 f.

Orientador: Pabyton Gonçalves Cadena.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências
Biológicas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Fisiologia e Morfologia Animal, Recife, BR-PE,
2025.

Inclui bibliografia, anexo(s) e apêndice(s).

1. Biociências – Estudo e ensino 2. Ecotoxicologia
3. Organofosforados 4. Gravidez 5. Fetos 6. Toxicidade 7. Inseticidas
8. Inibidores de colinesterase I. Cadena, Pabyton Gonçalves, orient.
II. Título

CDD 574

ANA BEATRIZ NASCIMENTO DOS SANTOS

RISCOS DO USO DE PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS NO
DESENVOLVIMENTO FETAL: UMA REVISÃO NARRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para o cumprimento parcial
das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal Rural de
Pernambuco.

Aprovado em: 08/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pabyton Gonçalves Cadena (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Samara da Silva Gomes (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Renata Meireles Oliveira Padilha (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família por todo apoio e carinho durante essa jornada. Vocês foram essenciais para eu me tornar a pessoa que eu sou hoje. Obrigada mãe, por me escutar e me apoiar durante todos esses anos. Agradeço aos meus irmãos, Vinícius, Maria Heloisa e Ricardinho, é muito massa ser a irmã de vocês. Por fim, agradeço a minha tia Silene, que me incentivou a ser bióloga, que sempre foi uma presença mais que especial na minha vida, para ela só tenho uma coisa a dizer: Trabalhar de sol a sol com os ratos valeu a pena.

Gostaria de também agradecer ao professor Dr. Pabyton Gonçalves Cadena, que me incentivou e acreditou que eu poderia desenvolver esse trabalho. Obrigada por toda a paciência. A Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio acadêmico e financeiro.

Ao pessoal do LECA, agradeço por todo o companheirismo, vocês conseguiram deixar o LECA um ambiente acolhedor e divertido. Saibam que cada um contribuiu de alguma forma para esse trabalho ser escrito, e por isso, serei sempre grata.

Para as minhas amigas da faculdade, foi incrível passar esses anos com vocês, obrigada por todos os momentos juntas, obrigada por deixarem esses anos mais fáceis. Amo vocês e só tenho orgulho das profissionais que vocês são/serão.

Por último, mas não menos importante, agradeço às minhas amigas Laura Monteiro e Maria Luísa Luna e Maria Luísa Coutinho, esse trabalho inteiro não seria possível sem o apoio e carinho de vocês, obrigada por me apoiarem e acreditarem em mim. Amo vocês.

“Digo a mim mesma: não adianta desesperar, desesperar é mais fácil ainda que trabalhar.”

(CLARICE LISPECTOR, 2024, p 23)

RESUMO

O uso de pesticidas no Brasil, especialmente os pertencentes à classe dos organofosforados, tem se intensificado nas últimas décadas, posicionando o país entre os maiores consumidores globais desses compostos. Esse cenário é consequência de um modelo agrícola baseado na monocultura, o que amplia a exposição tanto ambiental quanto ocupacional da população, sendo gestantes e seus bebês um dos grupos mais vulneráveis. Dentre os pesticidas organofosforados, o malathion é um dos mais utilizados, tanto na agricultura quanto em ações de controle de vetores em saúde pública. Mesmo sendo classificado como de baixa toxicidade, estudos indicaram que a exposição a esse composto, especialmente no período gestacional, pode estar associada a diversos efeitos tóxicos ao desenvolvimento fetal. Diante disso, esta revisão narrativa teve como objetivo analisar os impactos da exposição a pesticidas organofosforados sobre o desenvolvimento fetal e discutir suas implicações para a saúde pública no Brasil. Além disso, foi observado que os efeitos mais significativos deste pesticidas está relacionado à inibição da acetilcolinesterase, o que pode acarretar em efeitos tóxicos que podem comprometer o neurodesenvolvimento e desencadear prejuízos duradouros à saúde do feto, no entanto, ainda existe uma lacuna significativa na literatura quanto aos seus impactos durante a gestação. Com isso, concluiu-se que apesar da lacuna a respeito dos efeitos tóxicos dos organofosforados, incluindo o malathion durante o desenvolvimento fetal, a exposição gestacional a estes pesticidas representa um relevante risco à saúde pública.

Palavras-chave: Organofosforado, malathion, gestação, toxicidade fetal.

ABSTRACT

The use of pesticides in Brazil, particularly those belonging to the organophosphate class, has intensified over recent decades, placing the country among the largest global consumers of these compounds. This scenario stems from an agricultural model based on monoculture, which increases both environmental and occupational exposure among the population, with pregnant women and their unborn children being among the most vulnerable groups. Among organophosphate pesticides, malathion is one of the most widely used, both in agriculture and in public health vector control campaigns. Although classified as having low toxicity, studies have indicated that exposure to this compound, especially during the gestational period, may be associated with various toxic effects on fetal development. In this context, this narrative review aimed to analyze the impacts of exposure to organophosphate pesticides on fetal development and to discuss their implications for public health in Brazil. Furthermore, the most significant effects observed are related to acetylcholinesterase inhibition, which can lead to neurotoxic outcomes potentially compromising neurodevelopment and causing lasting harm to fetal health. However, there remains a significant gap in the literature regarding the specific effects of these compounds during pregnancy. It is therefore concluded that, despite the limited data on the toxic effects of organophosphates, including malathion, on fetal development, gestational exposure to these pesticides poses a considerable public health risk.

Keywords: Organophosphate, malathion, pregnancy, fetal toxicity.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(AChE) – Acetilcolinesterase

(ANVISA) – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(IBAMA) – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

(MAPA) – Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MLT) – Malathion

(MS) – Ministério da Saúde

(OPs) – Pesticidas Organofosforados

(PARA) – Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Uso de pesticidas no Brasil.....	12
2.2 Classificação dos Pesticidas.....	14
2.2.1 Conceito e formas de classificação.....	14
2.2.2 Classificação Química.....	14
2.2.3 Classificação toxicológica pelo modo de exposição.....	16
2.2.4 Classificação toxicológica com base na ação do pesticida.....	17
2.2.5 Classificação toxicológica pela OMS.....	17
2.2.6 Classificação toxicológica no Brasil.....	18
2.3 Efeitos tóxicos no desenvolvimento Fetal.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
5. CAPÍTULO 1 ARTIGO.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
7. CONCLUSÃO.....	36

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Verde, iniciada no século XX, impulsionou o uso de pesticidas no mundo, sendo o Brasil atualmente o país que mais consome esses produtos (Matias et al., 2021). Os pesticidas se consolidaram no Brasil como insumos agrícolas essenciais como parte da modernização da agricultura, imposta primeiramente pela revolução verde dos EUA a partir da década de 1960 (Ollinaho, 2023). Esse processo acabou sendo facilitado pela lei 7.802/89, apelidada de “Lei dos Agrotóxicos”, sendo um marco da regulamentação de pesticidas no país e permanecendo em vigor até os dias atuais (Souza et al., 2023).

O agronegócio é considerado uma das atividades mais relevantes da economia do país. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020), a safra de 2019/2020 atingiu 250,9 milhões de toneladas de grãos, cultivados em 65,5 milhões de hectares. De acordo com os dados mais recentes do Censo Agropecuário, apenas três produtos são responsáveis por 85% da área colhida de culturas anuais: soja, milho e cana-de-açúcar. Apesar das exportações significativas e da alta lucratividade, o foco na produção de commodities agrícolas e agrocombustíveis traz consigo o uso massivo de pesticidas (Panis et al., 2022).

Embora empregados para a produção agrícola e no controle de vetores em áreas urbanas, os pesticidas são potencialmente tóxicos para organismos não-alvo, incluindo os seres humanos. Sua exposição pode ocorrer de forma ambiental, por meio do ar, da água e dos alimentos, ou de forma ocupacional, durante ou após o manuseio e a aplicação, estando ambas associadas a efeitos adversos à saúde (Silva et al., 2023).

Apesar do seu potencial tóxico, o ritmo de liberação de agrotóxicos no Brasil tem aumentado significativamente. Entre 2005 e 2019, 3.151 novos pesticidas foram registrados no país, sendo que a maioria desses registros foi concedida a partir de 2016. Esse fato se torna ainda mais relevante ao observar que apenas

20% do total de produtos formulados em 2019 são de baixa toxicidade (Rodrigues, 2021).

No Brasil, diversos estudos apontam para os riscos à saúde associadas a essa exposição como descritos a seguir. Pignati et al. (2017) identificaram uma correlação positiva entre intoxicações agudas, incidência de malformação fetal e mortalidade por câncer infantojuvenil, e o uso de pesticida (Pignati et al., 2017).

Um outro estudo que também relacionou o uso de pesticidas e o risco da sua exposição é o de Dutra e Ferreira (2017) realizaram um estudo transversal com o objetivo de associar o uso de pesticidas a malformações congênitas, no estado de Minas Gerais. Eles constataram que durante os anos de 2004 – 2014 as taxas referentes às malformações congênitas foram estatisticamente significativas, relacionando assim, a exposição materna a pesticidas a maior ocorrência de malformações congênitas (Dutra, 2017).

Entre as diferentes classes, os pesticidas organofosforados (OPs) destacam-se como um dos grupos mais utilizados na agricultura mundial (Bhattu, 2021). No Brasil, ocupam a segunda posição em consumo, com cerca de 79.293 toneladas registradas em 2013 (De Benedicto, 2019). Os OPs possuem elevada toxicidade neurológica, pois inibem a enzima acetilcolinesterase, levando ao acúmulo de acetilcolina e à hiperestimulação de receptores muscarínicos, resultando em síndromes oculares, broncopulmonares, cardiovasculares e gastrointestinais, com manifestações clínicas variadas (Ferreira et al., 2018).

Um dos principais representantes desta classe é o malathion, um pesticida de amplo espectro que vem sendo utilizado com sucesso há mais de 50 anos em diferentes partes do mundo, especialmente na proteção de culturas agrícolas contra uma ampla variedade de pragas (Jensen, 2010).

Entre as populações vulneráveis destacam-se as gestantes e os neonatos, visto que os pesticidas, são considerados disruptores endócrinos, e à medida que modulam a ação hormonal podem afetar o desenvolvimento dos tecidos e órgãos durante o período gestacional (Da Silva et al., 2019). Isso porque, os pesticidas têm a capacidade de atravessar a barreira placentária e alcançar o feto, além de serem também encontrados no leite materno. Como resultado, podem prejudicar o desenvolvimento da criança tanto no período pré-natal quanto pós-natal, sendo as alterações mais frequentes de natureza neurológica, devido à alta vulnerabilidade e suscetibilidade do sistema nervoso central durante seu desenvolvimento (Ouarda et al., 2019).

Assim, embora o uso de pesticidas vise melhorar a economia global aumentando a produtividade agrícola, atualmente, o impacto negativo desses compostos na saúde humana e nos componentes ambientais é amplamente reconhecido e definido (Souza et al., 2023). Portanto, as intoxicações por pesticidas de uso agrícola representam um sério problema de saúde pública nacional (Queiroz et al., 2023).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi realizar uma revisão narrativa analisando os impactos da exposição a pesticidas organofosforados sobre o desenvolvimento fetal, além de discutir suas implicações para a saúde pública no Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso de pesticidas no Brasil

Em meados do século XX, a introdução de novas variedades de culturas alimentares de alto rendimento e a ampla adoção de mecanização, técnicas de irrigação e outras tecnologias agrícolas resultaram em ganhos drásticos na produção de grãos como trigo, milho, soja e outros, particularmente nos países em desenvolvimento. Acredita-se que esse aumento sem precedentes na produtividade das terras agrícolas (“Revolução Verde”) tenha alterado drasticamente a geografia da fome, evitando milhões de mortes por inanição em todo o mundo (Paumgarten, 2020).

No cenário nacional, o agronegócio é considerado o principal setor da economia brasileira, tanto que, nos últimos 20 anos, as exportações do setor resultaram em US\$1,23 trilhão. Somente em 2017, a diferença entre os US\$ 96 bilhões exportados e os US\$14 bilhões em importações do agronegócio rendeu ao país aproximadamente US\$82 bilhões. Ainda, nesse mesmo contexto, destacou-se que a participação das exportações de commodities agrícolas representou quase metade do total dos valores exportados no país entre 2013 e 2017 (Gaboardi, 2023).

Nesse contexto, os pesticidas são utilizados no controle e na prevenção de pragas durante o cultivo e após a colheita, melhorando a produtividade e a qualidade da produção agrícola. No Brasil, os pesticidas são amplamente utilizados, tornando o país o maior consumidor dessas substâncias no mundo, respondendo por 19% do uso global (Weis et al., 2019).

Assim, o uso de pesticidas vem aumentando desde 2016, com aumento exponencial até 2022. Dados divulgados pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) mostraram que, em 2021, o país liderou o uso de pesticidas no mundo em volume total, com 720 mil toneladas, quase 60% a mais que os Estados Unidos, que é o segundo maior usuário do mundo, com 457 mil toneladas (De Barros Rodrigues et al., 2025).

Diante do aumento no manuseio de pesticidas na agricultura brasileira, questões passaram a ser levantadas quanto ao perigo de intoxicação do produtor

rural, aos riscos à saúde humana pela ingestão de alimentos com resquícios do produto e à contaminação do meio ambiente. Em 2001, o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos (PARA) foi criado com o objetivo de cumprir as normas dispostas na Lei nº 7.802/89, no Decreto regulamentador nº 4.074/02 e na Resolução – RDC nº44/00 (Lopes, 2019).

As ações do PARA baseiam-se na avaliação de risco, que determina os limites de exposição considerados seguros para seres humanos, mas apresenta como limitações o fato de avaliar apenas os efeitos agudos e parte pequena das substâncias e dos alimentos produzidos no país (Frota, 2021).

Ainda sobre a regulamentação, a legislação sobre agrotóxicos e similares nº 7.802, de 11 de julho de 1989, estabeleceu que os pesticidas somente poderão ser utilizados no Brasil se possuírem registros nos órgãos federais competentes e em conformidade com as diretrizes e exigências dos órgãos responsáveis pelas áreas de saúde, meio ambiente e agricultura. Entretanto, a legislação brasileira não prevê revisão periódica do registro dos pesticidas, e ainda hoje são utilizados produtos proibidos em vários países (Pereira et al., 2023).

O registro dos pesticidas que permite o seu uso e consumo, comercialização, além de produção, importação e exportação no Brasil é concedido pelo Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), após a autorização de três órgãos reguladores: a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Ministério da Saúde (MS); o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Friedrich et al., 2021).

Os pesticidas podem ser classificados de diferentes maneiras como, por exemplo, de acordo com a ação do ingrediente ativo no alvo do organismo desejado: bactericidas, acaricidas, fungicidas, herbicidas, inseticidas, algicidas, rodenticidas, entre outros. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os pesticidas também podem ser classificados de acordo com os efeitos agudos que o composto é capaz de produzir após uma única exposição (Mello et al., 2019), conforme descrevemos a seguir.

2.2 Classificação dos Pesticidas

2.2.1 Conceito e formas de classificação

Pesticidas são substâncias ou misturas de substâncias utilizadas para prevenir, destruir ou controlar pragas, como insetos, fungos, roedores ou plantas indesejadas que causam prejuízos durante a produção e o armazenamento de alimentos (Abubakar et al., 2020). Em relação a sua classificação, Hassaan (2020) compartilhou em seu trabalho que existem três métodos aceitos de classificação de pesticidas recomendadas por Drum (1980), onde a classe se abrange em relação a (1) estrutura química do pesticida, (2) o modo de exposição e (3) a ação do pesticida nos organismos que eles matam. Os pesticidas vão ser classificados em quatro tipos, dependendo de suas estruturas químicas: carbamatos, organofosforados, organoclorados e piretroides (Hassaan, 2020).

2.2.2 Classificação Química

Pesticidas carbamatos

O grupo dos carbamatos são ésteres do ácido carbâmico ou do ácido N-metil carbâmico. Esse grupo inclui somente os derivados alquila ou arila, não englobando os tiocarbamatos. A classe química dos pesticidas carbamatos subdivide-se em três subclasses principais: (1) carbamatos; (2) tiocarbamatos e (3) ditiocarbamatos (Da Costa Santos, 2023). São usados principalmente em países cujo principal negócio é a agricultura, onde o controle de pragas é muito crucial (Mdeni et al., 2022).

Pesticidas organofosforados

Os organofosforados (OPs) são um grupo de compostos químicos derivados do ácido fosfórico. Assim, estes compostos podem ser tióis, amidas ou até mesmo ésteres de ácidos fosfônicos, fosfínicos ou tiofosfóricos. Ademais, possuem duas cadeias laterais orgânicas adicionais do grupo cianeto, tiocianato ou fenoxi, conhecidos também como colinérgicos de ação indireta ou anticolinesterásicos. Alguns exemplos destes compostos são: bazudina, malathion, tiofos e metafósios (Da Silva, 2021). Os OPs são, em sua maioria, solúveis em água e se disseminam facilmente no meio ambiente por meio da dissolução, abrasão e volatilização (Sidhu,

2019). Entre as várias classes de pesticidas, o grupo dos OPs é a classe mais amplamente utilizada de pesticidas. Estes pesticidas vão ter como alvo o sistema nervoso da praga, geralmente insetos. A maioria dos OPs são inseticidas, embora também haja outros compostos herbicidas e fungicidas relacionados. Além da agricultura, os OPs podem ser usados para pragas domésticas e outras pragas de construção (Kavvalakis, 2012).

Pesticidas organoclorados

Os compostos organoclorados (OCs) são altamente estáveis, sua estrutura se baseia em átomos de carbono, hidrogênio e cloro. São substâncias com baixa solubilidade em água e podem sofrer o processo de bioacumulação, ou seja, são absorvidos e se acumulam em organismos de níveis tróficos mais baixos (Da Silva, 2022). Os OCs são projetados para impedir especificamente alguns organismos vivos específicos. Assim como outros pesticidas, eles são diferentes de outros poluentes químicos porque são intencionalmente liberados no meio ambiente. Eles são previsivelmente tóxicos e interrompem a função neural das pragas, levando à sua morte (Ajiboye, 2020). Estruturalmente, os organoclorados se dividem em cinco classes: (1) DDT e seus análogos, incluindo DDT e diclorodifenildicloroetileno; diclorodifenildicloroetano; (2) hexaclorociclohexano, como lindano; (3) ciclodienos, incluindo aldrin, dieldrin, endrin (às vezes chamados de “drins” na literatura), heptacloro, clordano e endosulfan; (4) toxafeno; e (5) mirex e clordecona (Hassaan, 2020).

Pesticidas piretroides

Piretroides são produtos artificiais de piretrinas naturais derivadas da planta *Chrysanthemum cinerariaefolium*. São compostos de ésteres de ácido de crisântemo (etil 2, 2-dimetil-3-(1-isobutenil) ciclopropano-1-carboxilato) e produtos halogenados dos ácidos e álcoois dessas substâncias (Galadima et al., 2021). A capacidade inseticida das piretrinas vem do éster cetoalcoólico do ácido crisântêmico e dos ácidos piretrônicos. Esses ácidos são altamente lipofílicos, o que permite que penetrem facilmente e paralisem o sistema nervoso de muitos insetos. Os compostos naturais extraídos da *Chrysanthemum cinerariaefolium* se decompõem rapidamente quando expostos à luz, e por isso foram substituídos por derivados sintéticos, que anteriormente se acreditava serem seguros para humanos

e animais superiores (Singh et al., 2022). Eles são classificados em dois grupos, denominados classe I e classe II, com base em sua toxicidade e propriedades físicas.

- Os piretroides da classe I possuem uma estrutura básica de éster do ácido ciclopropanocarboxílico. Entre eles estão: alettrina, bifentrina, permetrina, fenotrina, resmetrina, teflutrina e tetrametrina.
- Os piretroides da classe II possuem um grupo ciano (-CN), que causam coreoatetose (movimentos involuntários) e salivação. Incluem: ciflutrina, cialotrina, cipermetrina, deltametrina, fenvalerato, fenpropratrina, flucitrinato, flumetrina, fluvalinato e tralometrina (Gajendiran, 2018).

2.2.3 Classificação toxicológica pelo modo de exposição

As formas pelas quais os pesticidas entram em contato ou penetram no organismo-alvo são chamadas de modos de entrada. Esses modos incluem: (1) sistêmico, (2) contato, (3) venenos estomacais, (4) fumigantes e (5) repelentes (Yadav et al., 2017).

Pesticidas sistêmicos: São aplicados e absorvidos pela planta ou animal e são distribuídos por todos os seus tecidos. Logo após a aplicação, os pesticidas penetram através das folhas, tronco e raízes das plantas, bem como através do sistema digestivo e corrente sanguínea de outros organismos, incluindo humanos (Shekhar et al., 2024).

Pesticidas de contato: Agem em alguns casos externamente para secar o corpo da praga ou para criar uma película hermética que bloqueia a troca gasosa normal, ou em outros casos penetrando através do tegumento para atingir o sistema nervoso (Lushchak et al., 2018).

Venenos estomacais: Os pesticidas de ação estomacal entram no corpo da praga através da boca, alcançando o sistema digestivo e provocando a morte por envenenamento. Esses pesticidas vão eliminar o vetor destruindo o intestino médio ou estômago das larvas (Abubakar et al., 2020).

Fumigantes: São pesticidas que entram no corpo por inalação para afetar a corrente sanguínea, enzimas e sistemas nervosos de organismos vivos (Lushchak et al., 2018).

Repelentes: Os pesticidas repelentes são substâncias que possuem a capacidade de inibir a presença de pragas nas culturas, impedindo que elas se localizem ou se estabeleçam em áreas tratadas, como plantações ou produtos armazenados. No entanto, repelentes não matam as pragas nem afetam diretamente o organismo-alvo, sua função é apenas afastar ou desencorajar a aproximação (Sulaiman, 2019).

2.2.4 Classificação toxicológica com base na ação do pesticida

Esses pesticidas vão ser divididos em grupos de acordo com as funções específicas que desempenham e os organismos que matam (Shekhar et al., 2024). Podemos citar como exemplo a classificação proposta por Ahamad (2023):

- Inseticidas: Matam ou destroem insetos
- Acaricidas: Matam carrapatos e ácaros que causam escabiose
- Rodenticidas: Matam roedores
- Fungicidas: Matam fungos
- Algicidas: Matam algas
- Herbicidas: Matam ervas daninhas
- Bactericidas: Matam bactérias
- Moluscicidas: Matam lesmas ou caracóis
- Nematicidas: Matam nematoides

2.2.5 Classificação toxicológica pela OMS

No âmbito internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS) concentra-se na toxicidade aguda ao categorizar pesticidas. Uma medida chamada dosagem letal (DL_{50}) classifica os pesticidas em dois tipos principais: toxicidade cutânea

aguda (dérmica) e toxicidade oral aguda (mucosite). A categorização de pesticidas é baseada na DL_{50} . A toxicidade aguda é categorizada com base na dose letal (DL_{50}) necessária para matar 50% de uma população de ratos. Para exposição cutânea (dérmica), as substâncias são consideradas extremamente tóxicas se a DL_{50} for inferior a 50 mg/kg, altamente tóxicas entre 50 e 200 mg/kg, moderadamente tóxicas entre 200 e 2.000 mg/kg e ligeiramente tóxicas acima de 2.000 mg/kg. Da mesma forma, para exposição oral, as substâncias são extremamente tóxicas se a DL_{50} for inferior a 5 mg/kg, altamente tóxicas entre 5 e 50 mg/kg, moderadamente tóxicas entre 50 e 2.000 mg/kg e ligeiramente tóxicas acima de 2.000 mg/kg. Essas classificações auxiliam na avaliação dos níveis de risco e segurança de diversos produtos químicos e substâncias (Garud et al., 2024).

2.2.6 Classificação toxicológica no Brasil

Segundo a EMBRAPA (2021) A toxicidade da maioria dos pesticidas é expressa em valores referentes à Dose Média Letal (DL_{50}), por via oral, representada por miligramas do ingrediente ativo do produto por quilograma de peso vivo, necessários para matar 50% da população de ratos ou de outro animal teste. A DL_{50} é usada para estabelecer as medidas de segurança a serem seguidas para reduzir os riscos que o produto pode apresentar à saúde humana. Os pesticidas vão ser agrupados em classes, de acordo com a sua toxicidade (EMBRAPA, 2021).

Classe I – Produto Altamente Perigoso ao Meio Ambiente;

Classe II – Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente;

Classe III – Produto Perigoso ao Meio Ambiente;

Classe IV – Produto Pouco Perigoso ao Meio Ambiente.

2.3 Efeitos tóxicos no desenvolvimento Fetal

Evidências científicas têm demonstrado os impactos adversos da exposição a produtos químicos tóxicos ambientais na reprodução humana (Wang et al., 2016). Mulheres grávidas são expostas a uma miríade de produtos químicos ambientais, muitos dos quais são conhecidos por terem efeitos adversos à saúde (Padula et al., 2020) visto que a gravidez é um período em que ocorrem mudanças fisiológicas e

metabólicas significativas nas gestantes. Essas mudanças aumentam a sensibilidade da gestante aos efeitos negativos de substâncias químicas, medicamentos e outros poluentes ambientais (Sagir, 2019). A maioria dessas exposições maternas a tóxicos no ambiente é sutil e subclínica (Ostrea, 2006).

Entre esses contaminantes, destacam-se os pesticidas, compostos utilizados na agricultura para controlar pragas que afetam produtos agrícolas alimentícios, como frutas, vegetais e verduras (De Barros Rodrigues et al., 2025). Como a maioria dos produtos químicos lipofílicos, esses pesticidas atravessam facilmente as barreiras da membrana, incluindo a placenta e a barreira hematoencefálica (Todd et al., 2020), o que expõe o feto diretamente aos seus efeitos tóxicos.

Isso faz com que o feto seja particularmente suscetível a contaminantes ambientais à medida que se desenvolve no momento da gravidez e, portanto, mais suscetível aos seus efeitos (Rani, 2023). Essa suscetibilidade a exposições ambientais durante a janela inicial de desenvolvimento da vida é aumentada por órgãos imaturos, baixas defesas de desintoxicação antes do nascimento e pelas características fisiológicas e comportamentais exclusivas de bebês e crianças. Nos primeiros dois meses de vida, o metabolismo e a depuração renal de tóxicos são menores em comparação à idade adulta, levando a uma maior bioacumulação de tóxicos (Wager, 2024).

Diante dessa suscetibilidade, já foi demonstrado que feto expostos no período pré-natal a um pesticida organofosforado, o clorpirifós, apresentaram alterações estruturais anormais em áreas do cérebro relacionadas à atenção, linguagem receptiva, cognição social, recompensa, emoção e controle inibitório (Donauer et al., 2016).

Oliveira et al. (2014) realizaram um estudo de caso-controle sobre as malformações congênitas em oito municípios de grande utilização de agrotóxicos em Mato Grosso no Brasil. Na amostra final foi resultado de 219 casos de nascidos vivos com malformações e 2000 controles, mostrando que a exposição materna a pesticidas nos períodos após a fecundação e no período total relacionou-se com as malformações congênitas nos municípios em questão (Oliveira et al., 2014).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão narrativa analisando os impactos da exposição a pesticidas organofosforados sobre o desenvolvimento fetal, além de discutir suas implicações para a saúde pública no Brasil.

3.2 Objetivos Específicos

- Estudar a literatura científica sobre os impactos da exposição a pesticidas organofosforados sobre o desenvolvimento fetal;
- Realizar revisão narrativa sobre os impactos da exposição a pesticidas organofosforados sobre o desenvolvimento fetal.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUBAKAR, Yusuf et al. Pesticidas, história e classificação. Em: Remédios naturais para controle de pragas, doenças e ervas daninhas. **Academic Press**, 2020. p. 29-4.

AHAMAD, Adil; AHAMAD, Javed; JAVED NAIM, Mohd. Current perspective on pesticides: Their classification, behaviour, potential use and toxic effects. **Journal of Angiotherapy**, v. 7, n. 1, 2023.

AJIBOYE, Timothy O.; KUVAREGA, Alex T.; ONWUDIWE, Damian C. Recent strategies for environmental remediation of organochlorine pesticides. **Applied Sciences**, v. 10, n. 18, p. 6286, 2020.

BHATTU, Monika; VERMA, Meenakshi; KATHURIA, Deepika. Recent advancements in the detection of organophosphate pesticides: a review. **Analytical Methods**, v. 13, n. 38, p. 4390-4428, 2021.

DA COSTA SANTOS, Jacielle; SANTOS, Maria Isabel Gomes. Consequências do uso de agrotóxicos na agricultura: Uma revisão bibliográfica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 12, n. 10, pág. e111121043556-e111121043556, 2023.

DA SILVA, Daianny Cristine Pereira; DAS NEVES, Patrick Mondaini; DA SILVA FRAGOSO, Viviane Muniz. Contaminação por pesticidas organoclorados e seus efeitos na Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, Rio de Janeiro: Uma revisão bibliográfica. **Revista Sustinere**, v. 2, pág. 451-477, 2022.

DA SILVA, Leonardo Linhares Miler; GARRIDO, Rodrigo Grazinoli. Organofosforados e organoclorados: toxicologia médica e reflexos ambientais. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 10, pág. e313101018853-e313101018853, 2021.

DA SILVA, Maria Isabel Gonçalves et al. Environmental/Occupational Exposure to Pesticides of Pregnant Women Living in a Countryside Municipality/Exposição Ambiental/Ocupacional aos Agrotóxicos em Gestantes Residentes em um Município Rural. **Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online**, v. 11, n. 5, p. 1319-1325, 2019.

DE BARROS RODRIGUES, Marina et al. Pesticides and human health. **Jornal de Pediatria**, v. 101, p. S70-S76, 2025.

DE BENEDICTO, S. C.; CASTRO, J. P. S.; SUGAHARA, C. R.; SILVA FILHO, C.

F. The Brazilian Agribusiness and the Consequences of the Intensive Use of Agrochemicals. **International journal for innovation education and research**, v. 7, p. 170-186, 2019.

DONAUER, Stephanie et al. An observational study to evaluate associations between low-level gestational exposure to organophosphate pesticides and cognition during early childhood. **American journal of epidemiology**, v. 184, n. 5, p. 410-418, 2016.

DUTRA, Lidiane Silva; FERREIRA, Aldo Pacheco. Malformações congênitas em regiões de monocultivo no estado de Minas Gerais, Brasil. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 50, n. 5, p. 285-296, 2017.

FERREIRA, Verona Borges et al. Estimation of organophosphate pesticide ingestion through intake of fruits and vegetables. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 26, p. 216-221, 2018.

FRIEDRICH, Karen et al. Situação regulatória internacional de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil: potencial de danos sobre a saúde e impactos ambientais. **Cadernos de saúde pública**, v. 37, p. e00061820, 2021.

FROTA, Maria Tereza Borges Araujo; SIQUEIRA, Carlos Eduardo. Agrotóxicos: os venenos ocultos na nossa mesa. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 2, p. 00004321, 2021.

GABOARDI, Shaiane Carla; CANDIOTTO, Luciano Zanetti Pessôa; PANIS, Carolina. Agribusiness in Brazil and its dependence on the use of pesticides. **Hygiene and Environmental Health Advances**, v. 8, p. 100080, 2023.

GAJENDIRAN, Anudurga; ABRAHAM, Jayanthi. An overview of pyrethroid insecticides. **Frontiers in Biology**, v. 13, n. 2, p. 79-90, 2018.

GALADIMA, Musa et al. Toxicity, microbial degradation and analytical detection of pyrethroids: A review. **Environmental Advances**, v. 5, p. 100105, 2021.

GARUD, Aishwarya et al. A scientific review of pesticides: Classification, toxicity, health effects, sustainability, and environmental impact. **Cureus**, v. 16, n. 8, 2024.

HASSAAN, Mohamed A.; EL NEMR, Ahmed. Poluição por pesticidas: classificações, impacto na saúde humana, técnicas de extração e tratamento. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 3, p. 207-220, 2020.

KAVVALAKIS, Matthaïos P.; TSATSAKIS, Aristidis M. The atlas of dialkylphosphates; assessment of cumulative human organophosphorus pesticides' exposure. **Forensic science international**, v. 218, n. 1-3, p. 111-122, 2012.

LISPECTOR, Clarice; SABINO, Fernando Tavares (org.). Cartas perto do coração: correspondência entre Clarice Lispector e Fernando Sabino (1946–1969). 9. ed. Rio de Janeiro: **Record**, 2024.

LOPES, Erica Valente; PADILHA, Norma Suelf. Retrocessos no sistema de comunicação de riscos na rotulagem de agrotóxicos: a classificação da Anvisa. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 5, n. 2, p. 55-76, 2019.

LUSHCHAK, Volodymyr I. et al. Pesticide toxicity: a mechanistic approach. **EXCLI journal**, v. 17, p. 1101, 2018.

MATIAS, Tális Pereira et al. Os agrotóxicos mais vendidos no Brasil: Implicações em meio ambiente e saúde. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 8, pág. e12110817082-e12110817082, 2021.

MDENI, Nonkululeko Landy et al. Analytical evaluation of carbamate and organophosphate pesticides in human and environmental matrices: a review. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 618, 2022.

MELLO, Fabiola Azevedo et al. Agrotóxicos: impactos ao meio ambiente e à saúde humana. In: **Colloquium Vitae**. ISSN: 1984-6436. 2019. p. 37-44.

OLIVEIRA, N.P.; MOI, G.P.; SANTOS, M.A.; SILVA, A.M.C.; PIGNATI, W.A.

Malformações congênitas em municípios de grande utilização de agrotóxicos em Mato Grosso, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 4123-4130, 2014.

OLLINAHO, Ossi I.; PEDLOWSKI, Marcos A.; KRÖGER, Markus. Toxic turn in Brazilian agriculture? The political economy of pesticide legalisation in post-2016 Brazil. **Third World Quarterly**, v. 44, n. 3, p. 612-630, 2023.

OSTREA JR, Enrique M. et al. Maternal hair—an appropriate matrix for detecting maternal exposure to pesticides during pregnancy. **Environmental Research**, v. 101, n. 3, p. 312-322, 2006.

OUARDI, Fatima Zahra et al. Gestational and lactational exposure to malathion affects antioxidant status and neurobehavior in mice pups and offspring. **Journal of Molecular Neuroscience**, v. 69, n. 1, p. 17-27, 2019.

PADULA, Amy M. et al. A review of maternal prenatal exposures to environmental chemicals and psychosocial stressors—implications for research on perinatal outcomes in the ECHO program. **Journal of Perinatology**, v. 40, n. 1, p. 10-24, 2020.

PANIS, Carolina et al. Evidence on human exposure to pesticides and the occurrence of health hazards in the Brazilian population: a systematic review. **Frontiers in public health**, v. 9, p. 787438, 2022.

PAUMGARTTEN, Francisco JR. Agrotóxicos e saúde pública no Brasil. **Opinião atual em toxicologia**, v. 22, p. 7-11, 2020.

PEREIRA, A. K. DOS S. et al. The Socio-Environmental and Human Health Problems Related to the Use of Pesticides and the Use of Advanced Oxidative Processes for Their Degradation: Brazil. **Water**, v. 15, n. 8, p. 1608, 20 abr. 2023.

PIGNATI, Wanderlei Antonio et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

QUEIROZ, Paulo Roberto et al. Intoxicações humanas por agrotóxicos de uso agrícola no Brasil: uma análise a partir da produtividade agrícola. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 5, p. 1794-1816, 2023.

RANI, Prerna; DHOK, Archana. Effects of pollution on pregnancy and infants. **Cureus**, v. 15, n. 1, 2023.

RODRIGUES, Loredany Consule Crespo; FÉRES, José Gustavo. A relação entre intensificação no uso de agrotóxicos e intoxicações nos estabelecimentos agropecuários do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, p. e244491, 2021.

SAGIR, Dilek. Protective effects of curcumin on liver damage in rats treated with chlorpyrifos during pregnancy. **Medicine**, v. 8, n. 3, p. 586-591, 2019.

SHEKHAR, Chander et al. A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. **Toxicology Reports**, p. 101840, 2024.

SIDHU, Gurpreet Kaur et al. Toxicity, monitoring and biodegradation of organophosphate pesticides: a review. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 49, n. 13, p. 1135-1187, 2019.

SILVA, Thayná Champe da et al. Exposure to pesticides in pregnant women: an **integrative review**. 2023

SINGH, Ashutosh et al. Insecticidal activity, toxicity, resistance and metabolism of pyrethroids: A review. **Science and Technology Indonesia**, v. 7, n. 2, p. 238-250, 2022.

SOUZA, Marília Cristina Oliveira et al. Tendências recentes em pesticidas em lavouras: Uma revisão crítica da dualidade riscos-benefícios e a questão da legislação brasileira. **Pesquisa Ambiental**, v. 228, p. 115811, 2023.

SULAIMAN, Nurul Shaeera; ROVINA, Kobun; JOSEPH, Vonnie Merillyn. Classificação, extração e abordagens analíticas atuais para detecção de pesticidas em diversos produtos alimentícios. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 14, n. 3, p. 209-221, 2019.

SUWANNAKUL, Boonsita et al. Organophosphate pesticide exposures in early and late pregnancy influence different aspects of infant developmental performance. **Toxics**, v. 9, n. 5, p. 99, 2021.

TODD, Spencer W. et al. Exposições gestacionais a inseticidas organofosforados: do envenenamento agudo à neurotoxicidade do desenvolvimento.

Neuropharmacology, v. 180, p. 108271, 2020.

Uso de agrotóxicos – Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/uso-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

WAGER, Jessica L.; THOMPSON, Jennifer A. Development and child health in a world of synthetic chemicals. **Pediatric Research**, p. 1-7, 2024.

WANG, Aolin et al. Environmental influences on reproductive health: the importance of chemical exposures. **Fertility and sterility**, v. 106, n. 4, p. 905-929, 2016.

WEIS, Grazielle Castagna Cezimbra et al. Pesticidas: classificações, exposição e riscos à saúde humana. **Arquivos em Biociências e Saúde**, v. 1, n. 1, p. 29-44, 2019.

YADAV, Ishwar Chandra et al. Pesticides classification and its impact on human and environment. **Environmental science and engineering**, v. 6, n. 7, p. 140-158, 2017.

Exposição gestacional a pesticidas organofosforados: Uma Revisão Narrativa

RESUMO

Objetivo: Associar os impactos da exposição a pesticidas organofosforados, com destaque no malathion, sobre o desenvolvimento fetal. **Revisão Narrativa:** O Brasil hoje é considerado um dos países que mais consomem pesticidas no mundo e as implicações causadas por esse consumo se tornam um problema sério de saúde pública. O uso crescente de pesticidas tem provocado diversas consequências para a saúde humana, especialmente entre os grupos mais vulneráveis, como gestantes e crianças. Dentre os pesticidas extensamente utilizados, o Malathion se sobressai, estando associado a uma série de efeitos tóxicos, incluindo alterações neurológicas, genéticas e comprometimentos no desenvolvimento fetal. **Considerações finais:** Os pesticidas organofosforados têm sido relacionados a efeitos neurotóxicos, sobretudo em crianças e gestantes. O malathion é um dos pesticidas mais utilizados para o controle de pragas e apesar de estar associado a diversos efeitos tóxicos ainda existe uma lacuna sobre os efeitos causados após a exposição gestacional. Portanto, são necessários mais estudos que avaliem o impacto dos organofosforados, como o malathion, no desenvolvimento fetal.

Palavras-chave: Pesticidas, exposição fetal, malathion

ABSTRACT

Objective: To associate the impacts of exposure to organophosphate pesticides, with emphasis on malathion, on fetal development. **Narrative Review:** Brazil is currently considered one of the leading consumers of pesticides worldwide, and the implications of this high consumption have become a serious public health concern. The increasing use of pesticides has led to numerous adverse health effects, particularly among vulnerable populations such as pregnant women and children. Among the widely used pesticides, malathion stands out due to its association with various toxic effects, including neurological alterations, genetic damage, and impairments in fetal development. **Final Considerations:** Organophosphate pesticides have been linked to neurotoxic effects, especially in children and pregnant women. Malathion is one of the most commonly used pesticides for pest control and, despite being associated with several toxic outcomes, there remains a significant gap in the understanding of its effects following gestational exposure. Therefore, further studies are needed to assess the impact of organophosphates, such as malathion, on fetal development.

Keywords: Pesticides, fetal exposure, malathion

RESUMEN

Objetivo: Asociar los impactos de la exposición a pesticidas organofosforados, con énfasis en el malatión, sobre el desarrollo fetal. **Revisión narrativa:** Actualmente, Brasil es considerado uno de los países con mayor consumo de pesticidas a nivel mundial, y las implicaciones derivadas de este elevado consumo se han convertido en un grave problema de salud pública. El uso creciente de pesticidas ha provocado diversas consecuencias para la salud humana, especialmente entre los grupos más vulnerables, como las mujeres embarazadas y los niños. Entre los pesticidas de uso más extendido, el malatión destaca por su asociación con diversos efectos tóxicos, incluyendo alteraciones neurológicas, daños genéticos y trastornos en el desarrollo fetal. **Consideraciones finales:** Los pesticidas organofosforados han sido relacionados con efectos neurotóxicos, particularmente en niños y mujeres embarazadas. El malatión es

uno de los pesticidas más utilizados en el control de plagas y, a pesar de estar vinculado a numerosos efectos tóxicos, aún existe una importante laguna en el conocimiento sobre los efectos de la exposición gestacional. Por lo tanto, se requieren más estudios que evalúen el impacto de los organofosforados, como el malatión, en el desarrollo fetal.

Palabras clave: Pesticidas, exposición fetal, malatión

INTRODUÇÃO

Apesar do aumento constante de casos de envenenamento agudo em humanos — cerca de 740 mil por ano em 2020 — e dos danos ambientais associados, as vendas globais de pesticidas continuam crescendo. Esse aumento se deve à importância desses compostos na proteção de plantas contra pragas, ervas daninhas e doenças, além de sua aplicação no controle de vetores que transmitem doenças aos seres humanos (Khatib I, 2023).

O Brasil é considerado um dos países que mais utilizam pesticidas no mundo por decorrência do desenvolvimento do agronegócio no setor econômico, entre as décadas de 70 a 90, a venda do ingrediente ativo, principal substância química de um pesticida, cresceu em 4,3 vezes, passando de 28.043 toneladas para 121.100 toneladas/ano (Da SILVA, 2021). Para atender à crescente demanda por commodities, os produtores brasileiros empregam um grande número de pesticidas, estimados em 549.280 toneladas em 2018. De acordo com uma investigação da Uearthed, mais de 1.200 pesticidas e herbicidas, incluindo 193 contendo produtos químicos proibidos na UE, foram registrados no Brasil entre 2016 e 2019. Quase metade de todos os produtos aprovados contêm ingredientes ativos listados na lista de pesticidas altamente perigosos da *Pesticide Action Network*, indicando que, além de sérios danos ambientais, eles estão relacionados a efeitos tóxicos na saúde humana (LOPES-FERREIRA, et al., 2022).

Dentre os pesticidas mais utilizados, estão os organofosforados agem principalmente inibindo a ação de enzimas. Os principais alvos são a acetilcolinesterase (AChE), localizada nas membranas dos axônios e eritrócitos, e a butirilcolinesterase, que se encontra no plasma. A inibição da enzima acetilcolinesterase pode causar estimulação excessiva dos neurônios, resultando em danos neurológicos significativos e duradouros, além disso, estes pesticidas organofosforados têm sido relacionados a efeitos neurotóxicos, sobretudo em crianças e gestantes (SCKROTK,2024). O estudo de Mostafalou (2018) correlaciona a exposição a organofosforados com doenças que comprometem o neurodesenvolvimento, como o TDAH e autismo, além de problemas cognitivos e diminuição do QI (MOSTAFALOU, 2018). Demonstrando assim, que a exposição a esses pesticidas pode se transformar em um problema de saúde pública.

Dentre os pesticidas organofosforados de amplo espectro, o malathion (MLT) é aplicado para fins agrícolas, domésticos e de saúde pública. Devido à sua natureza ligeiramente menos tóxica, é extensivamente e às vezes imprudentemente usado em várias partes do mundo. Sua via de exposição pode ser ocupacional (agricultores), doméstica ou através do consumo de alimentos contaminados (NARASIMHAMURTHY, et al., 2024).

A exposição materna a pesticidas pode ocorrer por ingestão de alimentos ou água contaminados, inalação de ar poluído ou absorção pela pele. Entretanto, o maior risco reside na transferência placentária dessas substâncias, que permite sua entrada no organismo fetal (SALCEDO-ARTEAGA, 2022). O período embrionário é crucial no desenvolvimento de órgãos vitais, por isso qualquer distúrbio nesta fase pode ser um fator de risco para o embrião, causando modificações fenotípicas e trazendo problemas futuros para a vida (DA SILVA, et al., 2023).

Portanto, esse trabalho teve como objetivo analisar como a exposição gestacional a pesticidas organofosforados, com destaque ao malathion, afeta o desenvolvimento fetal. Isso porque, apesar dos riscos de contaminação de pesticidas organofosforados serem documentados, ainda existe uma lacuna entre os efeitos durante a gestação e o neurodesenvolvimento do feto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Implicações para a saúde pública do uso de pesticidas

A aplicação de pesticidas é uma prática comum na agricultura moderna, com o objetivo de proteger as lavouras contra pragas e doenças, além de aumentar a produtividade agrícola. No entanto, é essencial reconhecer que as consequências do uso de pesticidas vão muito além do manejo das culturas e impactam significativamente a saúde humana (LENG, 2023).

A maioria dos pesticidas não atuam exclusivamente sobre a praga-alvo e, durante sua aplicação, plantas e animais não-alvo também são afetados. A aplicação repetida leva à perda de biodiversidade. Muitos pesticidas não se degradam facilmente, permanecem no solo, infiltrando-se nos lençóis freáticos e contaminando amplamente o ambiente. Dependendo de suas propriedades químicas, eles podem entrar nos organismos vivos, bioacumular-se nas cadeias alimentares e, conseqüentemente, impactar o ecossistema como um todo (SHARMA, 2022).

Bebês e crianças são especialmente vulneráveis aos seus efeitos adversos devido ao desenvolvimento de seus corpos e ao potencial de consequências agudas e crônicas da exposição. Estima-se que cerca de 385 milhões de casos de intoxicação aguda não intencional por pesticidas ocorram anualmente em todo o mundo, incluindo cerca de 11.000 mortes. Com base na população agrícola mundial, cerca de 44% dos agricultores são intoxicados por pesticidas todos os anos (ZHOU, 2025). A exposição a baixas doses é motivo de preocupação, especialmente durante os períodos pré-natal e infantil. Estudos de biomonitoramento relataram a presença de metabólitos organofosforados na placenta, no sangue do cordão umbilical e nas matrizes de mecônio, sugerindo a capacidade dos pesticidas organofosforados de atravessar a barreira placentária (BINTER, et al., 2020).

Desde 2008, o Brasil é considerado o maior consumidor de pesticidas do mundo, com consequências para a saúde das populações humanas, principalmente em áreas rurais, onde a ocorrência de doenças raramente observadas no passado tem se intensificado (NUNES, et al., 2021). As implicações para a saúde decorrentes de exposições não agudas, relativamente baixas, mas frequentemente repetitivas de mulheres grávidas e seus filhos a xenobióticos continuam sendo um foco constante de preocupação e investigação por parte de cientistas e órgãos reguladores (MAGNARELLI, et al., 2020).

Pesticidas organofosforados

Os pesticidas organofosforados (OPs) foram desenvolvidos nas décadas de 1930 e 1940, mas sua primeira síntese é datada de 1800. O primeiro a compor que compostos organofosforados poderiam ser potencialmente usados foi Gerhard Schrader (RICHARDSON, et al., 2019). Os OPs são compostos químicos formados por uma estrutura contendo ésteres de ácido fosfórico. Eles são usados na agricultura, medicina veterinária e residências para o controle de pragas (FARKHONDEH, et al., 2020).

Em relação ao seu efeito tóxico os OPs decorrem por inativação irreversível da enzima AChE, que é essencial para a função nervosa em humanos, insetos e muitos outros animais (JAYARAJ, 2016).

OPs em relação à inibição da atividade da AChE é facilitado através da interação covalente entre o grupo fosfato do pesticida e o grupo OH da serina presente no sítio catalítico da AChE. Após a sinalização neural a acetilcolina é degradada pela AChE em acetato e colina. Todavia, quando tal atividade é inibida, gera-se o quadro designado como efeito colinérgico excessivo, uma vez que não há a finalização da transmissão dos impulsos nervosos, pelo acúmulo de acetilcolina nas fendas sinápticas (DA SILVA, 2021). Assim, estes pesticidas perturbam o equilíbrio do íon Na^+ / K^+ nas fibras nervosas, fazendo com que elas transmitam constantemente, o que leva ao desenvolvimento de doenças (GUPTA, et al., 2023).

A maioria dos OPs podem produzir metabólitos específicos e metabólitos não específicos, como fosfatos de dialquila, através de enzimas de desintoxicação. Os metabólitos mais comumente específicos dos OPs são seus óxidos, que possuem o potencial de trazer maiores riscos ambientais do que os de seus precursores (CUI, et al., 2023). Um exemplo para ser citado é em relação aos metabólitos produzidos pela oxidação do malathion (MLT), que são considerados a principal fonte de sua toxicidade, o malaoxon foi identificado como sendo 40 vezes mais tóxico do que o MLT (BADR, 2020).

Consequentemente, o uso excessivo de OPs têm levantado preocupações relacionadas aos efeitos tóxicos que eles geram no meio ambiente e na saúde humana devido à exposição crônica e aguda (GONÇALVES, 2022).

Efeitos tóxicos dos organofosforados durante a gestação

A população em geral é exposta principalmente aos pesticidas organofosforados (OPs) por meio da ingestão de alimentos contaminados. A fase inicial da vida representa um período de susceptibilidade aumentada à exposição aos OPs, os quais podem atravessar a placenta e foram associados a desfechos adversos no crescimento fetal, incluindo baixo peso ao nascer e reduções em índices fetais por ultrassonografia (STEVENS, et al., 2024). O risco de exposição a pesticidas OPs em ambiente doméstico ou agrícola continua sendo um perigo real, sendo crianças que foram expostas ainda no útero ou em idade precoce particularmente suscetíveis aos seus efeitos (KOENIG, et al., 2016).

A exposição durante a gestação a pesticidas tem o potencial de desencadear inflamação e induzir estresse oxidativo (LIN, et al., 2023), resultando em alterações na atividade enzimática, na função do canal iônico e na dinâmica do receptor, como também alterações morfológicas nas mitocôndrias e acúmulo subsequente de danos genômicos (KALYABINA, et al., 2021). Estudos sugerem que exposições repetidas durante a gestação podem causar fetotoxicidade e alterações neuroquímicas significativas (ALP, et al., 2012).

Os OPs têm sido estudados ao longo das décadas como fatores que contribuem para distúrbios do desenvolvimento neurológico na infância (Wang et al., 2025). Um dos fatores que contribui para os recém-nascidos serem mais sensíveis a OPs é que uma das principais enzimas desintoxicantes de organofosforados, a paraoxonase 1/arilesterase (PON1), apresenta níveis três a quatro vezes menores em neonatos do que em adultos (FURLONG, et al., 2006), tornando a metabolização de OPs menos eficaz (SUWANNAKUL, et al., 2021).

Segundo Neylon, et al. (2022), a exposição pré-natal a OPs é particularmente preocupante, pois os bebês em desenvolvimento são altamente suscetíveis a lesões por produtos químicos. Essa exposição tem sido associada a períodos gestacionais mais curtos, peso e comprimento ao nascer reduzidos, bem como reflexos prejudicados e efeitos neurocomportamentais (NEYLON, et al., 2022). A exposição pré-natal a pesticidas OPs também está associada à redução do perímetro cefálico, do peso ao nascer e do comprimento corporal de recém-nascidos, além de afetar negativamente o desenvolvimento neurológico. O feto adquire OPs através do sangue materno, e resíduos desses pesticidas podem ser encontrados no sangue, cabelo, mecônio, soro e urina do recém-nascido (ONCHO, I et al., 2020).

Visto que a exposição em baixa dose pode ainda começar durante a gestação, o cérebro fetal ou infantil é particularmente vulnerável aos efeitos dos OPs devido ao rápido desenvolvimento morfológico que ocorre nessa fase; a toxicidade por OPs pode interromper diversos processos como: divisão celular, migração, diferenciação e formação de sinapses e redes neuronais e, portanto, alterar o curso normal do desenvolvimento do sistema nervoso (COMFORT, 2017).

Li, et al. (2023) avaliou alterações no transcriptoma placentário associadas à exposição pré-natal a OPs. Os resultados sugeriram que a exposição a OPs pode alterar as redes genéticas da placenta de maneira dependente do tempo. Tais efeitos no transcriptoma podem levar a alterações subsequentes na função placentária, que, por fim, podem afetar o feto (LI, et al., 2023).

O estudo de Ferguson, et al. (2019) observou, a partir de uma coorte prospectiva, a associação entre exposição materna a OPs na gravidez e o crescimento fetal. Foram utilizados metabólitos de OPs como proxies de exposição, coletados a partir da urina em três momentos da gestação. Os OPs foram associados à diminuição do peso e do comprimento fetal quando medidos durante a metade da gestação, mas não no parto (FERGUSON, et al., 2019).

Ainda sobre os efeitos graves da exposição a OPs, os defeitos do tubo neural (DTNs) são um tipo de anormalidades congênitas severas do sistema nervoso central que surgem durante a embriogênese devido a falhas no processo de fechamento do tubo neural. Estes defeitos incluem condições como anencefalia,

espinha bífida e hidrocefalia. Em embriões humanos, o fechamento do tubo neural ocorre durante a neurulação, entre os dias 17 e 28 após a fertilização. Quando o fechamento não ocorre adequadamente, o tecido neural é exposto ao ambiente, o que pode resultar em degeneração e déficits neurológicos. A gravidade e o tipo de DTN variam dependendo de qual região da coluna foi afetada. Por exemplo, se houver falha no fechamento da formação do cérebro, isso resulta em anencefalia; enquanto se o problema for na medula espinhal, pode causar espinha bífida (FELISBINO, et al., 2024).

Portanto, as mulheres gestantes estão entre os grupos que mais correm riscos com a exposição aos pesticidas OPs. Compreender os riscos da exposição a pesticidas durante a gestação é de alta relevância, para que assim, se desenvolvam possíveis intervenções protetoras.

Efeitos tóxicos do malathion durante a gestação

O MLT é um inseticida organofosforado amplamente utilizado em agricultura, ambientes domésticos e jardins, o que pode expor o público geral por meio da inalação ou contato dérmico. Após a ingestão, é rapidamente absorvido pelo organismo (REED, 2014). Adicionalmente, por ser usado em ambientes urbanos, podem expor as gestantes das cidades aos efeitos tóxicos vistos em ambientes rurais. A exposição aguda ou crônica ao MLT pode afetar a saúde e causar distúrbios metabólicos, estresse oxidativo, imunotoxicidade, inflamação e hepatotoxicidade (KHALIFA,2020).

A toxicidade de MLT está fortemente relacionada à formação de metabólitos ativos e pode ser influenciada por diversos fatores, como a pureza do produto, uma vez que contaminantes podem aumentar sua toxicidade, a via de exposição, condições nutricionais, fatores genéticos e sexo (BADR, 2020).

No ambiente e em mamíferos, o MLT consegue se transformar em vários metabólitos, como o ácido monocarboxílico do malathion/malaoxon e o ácido dicarboxílico do malathion/malaoxon, além dos metabólitos não específicos, como o dimetiltiofosfato, dimetiltiofosfato e dimetiltiofosfato. A biotransformação do MLT em mamíferos é relativamente complexa. MLT pode ser rapidamente hidrolisado a ácido monocarboxílico e ácido dicarboxílico por esterases, glutatona e enzimas citocromo P450, ou gerar malaoxon, sendo então hidrolisado enzimaticamente ou espontaneamente em metabólitos não específicos (CUI, et al., 2023), um exemplo, é o dimetiltiofosfato que por meio da ação catalítica das enzimas do citocromo P450 tem o potencial de induzir efeitos genotóxicos (HERNÁNDEZ-TOLEDANO DS, et al., 2020). Ainda, no trabalho de Hernández-Toledano (2020) foram citados outros estudos sobre os efeitos genotóxicos. Um dos estudos citados demonstrou um ensaio de eletroforese em gel de célula única (cometa) em células hepáticas humanas, foram relatados danos ao DNA por dietiltiofosfato e dietiltiofosfato; os autores propuseram que os metabólitos não específicos etilados são genotóxicos apenas após o metabolismo, visto que a inibição da atividade do citocromo P450 pelo nitrato de sulconazol reduziu os danos. Outros relatórios descreveram correlações entre a genotoxicidade dos OPs e polimorfismos em enzimas implicadas no metabolismo dos OPs, como paraoxonase-1 (PON1).

O principal metabólito tóxico do MLT, o malaoxon, é formado no fígado por sulfuração oxidativa, catalisada pela enzima citocromo P450. O malaoxon se liga à AChE inibindo a sua atividade, provocando o acúmulo de acetilcolina nas sinapses, o que leva à superestimulação do sistema nervoso (TCHOUNWOU, 2015).

A exposição ao MLT aumenta o estresse oxidativo, resultando no aumento de radicais livres no organismo, e altera a atividade das enzimas antioxidantes como glutatona peroxidase, glutatona redutase, superóxido dismutase, catalase, além de danos no DNA. O MLT também é capaz de induzir alterações neurocomportamentais como ansiedade, prejuízo na memória aversiva e comportamento tipo depressivo. Entretanto, é importante ressaltar que a literatura sobre os mecanismos envolvidos na toxicidade induzida por MLT ainda é escassa (DA SILVA, 2021).

Apesar do déficit na literatura sobre os mecanismos envolvidos na sua toxicidade, estudos experimentais e estudos de casos controles envolvendo os efeitos do MLT já foram relatados.

O estudo de Yu, et al., (2013) relatou diversos danos na saúde reprodutiva da prole de ratos com a exposição do MLT e outros OPs. A exposição pré-natal e materna à mistura de pesticidas causou danos de

curto prazo ao endométrio materno e prejuízos de longo prazo às funções reprodutivas da primeira geração, com maior gravidade do que quando os OPs são administrados individualmente. Também foi concluído que os OPs podem atravessar a barreira placentária, se depositar no feto e causar diversas toxicidades, incluindo disfunções reprodutivas na geração seguinte (YU, et al., 2013).

Lumsden, et al. (2020) também avaliou exposições pré-natais do MLT. O estudo avaliou os níveis de MLT abaixo do limiar para inibição da AChE associados ao aumento do risco de distúrbios do neurodesenvolvimento, incluindo transtorno do espectro autista com comorbidade de deficiência intelectual. Para testar essa hipótese, os colaboradores utilizaram porquinhos da Índia grávidas, expondo ao MLT durante o período gestacional. A exposição não afetou significativamente o crescimento pós-natal da prole, contudo, a prole apresentou déficits significativos de aprendizagem espacial dependente do sexo, além de deficiência na memória (LUMSDEN, et al., 2020), demonstrando que o MLT causa efeitos neurotóxicos. Podemos citar como outro exemplo, o estudo feito por Von Ehrenstein, et al. (2019) que também identificou significativas associações entre exposições pré-natais e pós-natal a doses baixas de MLT e riscos moderadamente aumentados de transtorno do espectro autista com comorbidade de deficiência intelectual (VON EHRENSTEIN, et al., 2019).

Como exemplo adicional, Ouradi, et al. (2019) demonstrou que a exposição contínua ao pesticida MLT, mesmo em baixa dose, durante os períodos gestacional e pós gestacional, provocou efeitos sutis, porém significativos no desenvolvimento neurológico de ratos. Apesar de não terem sido observados sinais evidentes de toxicidade materna ou malformações na prole, os animais expostos apresentaram redução no peso corporal e alterações bioquímicas importantes no cérebro, especialmente relacionadas ao estresse oxidativo (OUARDI, et al., 2019).

Swartz, et al. (2022) sugeriu a associação a exposição do MLT durante o período pré-natal ao risco de tumores de células germinativas testiculares (TGCT) em adolescentes (SWARTZ, et al., 2022).

Apesar da escassa literatura sobre como o MLT afeta uma gestação, esses estudos são indicativos que a exposição pré-natal e pós-natal à OPs, como o MLT, pode afetar o desenvolvimento neurológico inicial, com possíveis complicações à saúde a longo prazo. Portanto, são necessários mais estudos que mostrem como o MLT afeta o sistema nervoso em desenvolvimento, além de estudos epidemiológicos transversalmente maiores que determinem a exposição do pesticida e o período gestacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão destacou que a exposição gestacional a pesticidas organofosforados, com ênfase no malathion, representa um fator de risco relevante para o desenvolvimento fetal, especialmente em relação ao neurodesenvolvimento e à indução de estresse oxidativo. O potencial desses compostos de atravessarem a barreira placentária e interferirem em processos biológicos fundamentais indica um potencial tóxico ainda subestimado em humanos. Além disso, o uso indiscriminado de pesticidas pode afetar organismos não-alvo, o que reduz a biodiversidade e compromete não só a qualidade da água, como também do solo. Ademais, apesar da ampla utilização do pesticida malathion, ainda há uma lacuna significativa na literatura quanto aos seus impactos durante a gestação em humanos. Diante disso, destaca-se a necessidade urgente de promover ações que fortaleçam o monitoramento e controle do uso de pesticidas, além de ampliar políticas públicas mais eficazes que conscientizem sobre os efeitos nocivos do seu uso massivo. Portanto, é inegável que estudos sobre os efeitos dos pesticidas continuem sendo realizados, para uma melhor compreensão.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Agradecemos a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), por permitir o desenvolvimento desse projeto.

REFERÊNCIAS

1. ALP H, et al. Effects of Malathion in fetal kidney tissues in pregnant rats: Teratogenic effects induced by different doses. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2012; 18(2).
2. BADR AM. Organophosphate toxicity: Updates of malathion potential toxic effects in mammals and potential treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020; 27(21): 26036-26057.
3. BINTER AC, et al. Exposure of pregnant women to organophosphate insecticides and child motor inhibition at the age of 10–12 years evaluated by fMRI. *Environmental Research*, 2020; 188: 109859.
4. COMFORT N e RE DB. Sex-specific neurotoxic effects of organophosphate pesticides across the life course. *Current Environmental Health Reports*, 2017; 4(4): 392-404.
5. CUI J, et al. Bioaccumulation, metabolism and toxicological effects of chiral insecticide malathion and its metabolites in zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 2023; 318: 137898.
6. DA SILVA LOT e DE CARLI BP. Efeitos do malathion no sistema nervoso central: uma revisão breve, 2021.
7. FARKHONDEH T, et al. Oxidative stress and mitochondrial dysfunction in organophosphate pesticide-induced neurotoxicity and its amelioration: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020; 27(20): 24799-24814.
8. FELISBINO K, et al. Exposição a pesticidas durante a gravidez e o risco de defeitos do tubo neural: uma revisão sistemática. *Science of The Total Environment*, 2024; 913: 169317.
9. FERGUSON KK, et al. Organophosphate pesticide exposure in pregnancy in association with ultrasound and delivery measures of fetal growth. *Environmental Health Perspectives*, 2019; 127(8): 087005.
10. FURLONG CE, et al. PON1 status of farmworker mothers and children as a predictor of organophosphate sensitivity. *Pharmacogenetics and Genomics*, 2006; 16(3): 183-190.
11. GONÇALVES CR e DA SILVA DELABONA P. Strategies for bioremediation of pesticides: challenges and perspectives of the Brazilian scenario for global application—A review. *Environmental Advances*, 2022; 8: 100220.
12. GUPTA VK, et al. Efeito antioxidante da Aloe vera contra a resposta neurotóxica induzida por malatião em ratos Wistar. *Arabian Journal of Chemistry*, 2023; 16(10): 105169.
13. HERNÁNDEZ-TOLEDANO DS, ESTRADA-MUÑIZ E e VEGA L. Genotoxicity of the organophosphate pesticide malathion and its metabolite dimethylthiophosphate in human cells in vitro. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2020; 856: 503233.
14. JAYARAJ R, MEGHA P e SREEDEV P. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, 2016; 9(3-4): 90.
15. KALYABINA VP, et al. Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health—a review. *Toxicology Reports*, 2021; 8: 1179-1192.
16. KHALIFA FK e ALKHALAF MI. Effects of black seed and thyme leaves dietary supplements against malathion insecticide-induced toxicity in experimental rat model. *Journal of King Saud University-Science*, 2020; 32(1): 914-919.
17. KHATIB I, et al. Molecular and biochemical evidence of the toxic effects of terbuthylazine and malathion in zebrafish. *Animals*, 2023; 13(6): 1029.

18. KOENIG JA, et al. Zebrafish as a model for acetylcholinesterase-inhibiting organophosphorus agent exposure and oxime reactivation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2016; 1374(1): 68-77.
19. LENG B. Impact of pesticides on food quality and human health. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2023; 74(26): 1285-1289.
20. LI Q, et al. Associations between prenatal organophosphate pesticide exposure and placental gene networks. *Environmental Research*, 2023; 224: 115490.
21. LIN S, et al. Maternal pesticide exposure and risk of preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 2023; 178: 108043.
22. LOPES-FERREIRA M, et al. Impacto dos agrotóxicos na saúde humana nos últimos seis anos no Brasil. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 2022; 19(6): 3198.
23. LUMSDEN EW, et al. Learning and memory retention deficits in prepubertal guinea pigs prenatally exposed to low levels of the organophosphorus insecticide malathion. *Neurotoxicology and Teratology*, 2020; 81: 106914.
24. MAGNARELLI G, et al. Evaluation of endocrine disruption and gestational disorders in women residing in areas with intensive pesticide application: An exploratory study. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2020; 73: 103280.
25. MOSTAFALOU S e ABDOLLAHI M. A relação de pesticidas organofosforados com doenças neurodegenerativas e do neurodesenvolvimento com base em evidências e mecanismos. *Toxicologia*, 2018; 409: 44-52.
26. NARASIMHAMURTHY RK, et al. Low-dose exposure to malathion and radiation results in the dysregulation of multiple neuronal processes, inducing neurotoxicity and neurodegeneration in mouse. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024; 31(1): 1403-1418.
27. NEYLON J, et al. Organophosphate insecticide toxicity in neural development, cognition, behaviour and degeneration: insights from zebrafish. *Journal of Developmental Biology*, 2022; 10(4): 49.
28. NUNES A, et al. The use of pesticides in Brazil and the risks linked to human health. *Brazilian Journal of Development*, 2021; 7(4): 37885-37904.
29. ONCHOI C, et al. Organophosphates in meconium of newborn babies whose mothers resided in agricultural areas of Thailand. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 2020; 51(1): 77.
30. OUARTI FZ, et al. Gestational and lactational exposure to malathion affects antioxidant status and neurobehavior in mice pups and offspring. *Journal of Molecular Neuroscience*, 2019; 69(1): 17-27.
31. REED NR e RUBIN AL. *Malathion*, 2014.
32. RICHARDSON JR, et al. Neurotoxicidade de pesticidas. *Acta Neuropathologica*, 2019; 138: 343-362.
33. SALCEDO-ARTEAGA S e SCHULER-FACCINI L. Revisão: exposição pré-natal e pesticidas. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 2022; 54.
34. SCKROTK R, et al. Efeito dos organofosforados na saúde humana: um estudo de revisão. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 2024; 6(10): 2750-2770.
35. SHARMA AK, KUMAR S e SINGH M. Pesticides overburden in agriculture and its consequences - A review, 2022.
36. SILVA JF, et al. Modelo de zebrafish (*Danio rerio*) para intoxicação fetal por deltametrina. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 2023; 23(4): e12357.
37. STEVENS DR, et al. Gestational organophosphate pesticide exposure and childhood cardiovascular outcomes. *Environment International*, 2024; 193: 109082.

38. SUWANNAKUL B, et al. Organophosphate pesticide exposures in early and late pregnancy influence different aspects of infant developmental performance. *Toxics*, 2021; 9(5): 99.
39. SWARTZ SJ, et al. Proximity to endocrine-disrupting pesticides and risk of testicular germ cell tumors (TGCT) among adolescents: A population-based case-control study in California. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2022; 239: 113881.
40. TCHOUNWOU PB, et al. Exposição ambiental e efeitos à saúde associados à toxicidade do malatião. *Toxicidade e Periculosidade dos Agroquímicos*, 2015; 51: 2145-2149.
41. VON EHRENSTEIN OS, et al. Prenatal and infant exposure to ambient pesticides and autism spectrum disorder in children: population based case-control study. *BMJ*, 2019; 364.
42. WANG H, et al. Prenatal exposure to a mixture of organophosphate ester and organophosphorus pesticides in relation to child neurodevelopment in the Shanghai Birth Cohort. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2025; 290: 117618.
43. YU Y, et al. Maternal exposure to the mixture of organophosphorus pesticides induces reproductive dysfunction in the offspring. *Environmental Toxicology*, 2013; 28(9): 507-515.
44. ZHOU W, LI M e ACHAL V. A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 2025; 11(1): 100410.

CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho de conclusão de curso através de uma revisão narrativa foi possível concluir que:

- Os pesticidas representam sérios perigos à saúde humana e ambiental, grupos vulneráveis como gestantes, crianças e trabalhadores rurais são os mais vulneráveis.
- O Malathion, apesar de amplamente utilizado, está associado a efeitos tóxicos, embora ainda faltem estudos mais conclusivos sobre os efeitos após a exposição gestacional.
- É de suma importância implementar ações de monitoramento e controle do uso de pesticidas, além do estímulo de práticas agrícolas sustentáveis.
- Políticas públicas eficazes e campanhas de conscientização são essenciais para diminuir os efeitos negativos dos pesticidas, para assim, proteger a saúde das populações mais expostas.
- Incentivar pesquisas científicas sobre os impactos dos pesticidas são essenciais para fundamentar decisões e promover mudanças mais efetivas.