

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL  
NÚCLEO DE ESTUDOS EM SANEAMENTO AMBIENTAL - NESA

SARA BURSZTEJN

***AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO ATUAL E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
DESENVOLVER PLANOS DE MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRASILEIROS***

PORTO ALEGRE

Dezembro, 2023

SARA BURSZTEJN.

***AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO ATUAL E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
DESENVOLVER PLANOS DE MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRASILEIROS***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de doutora.

Orientador: Antônio Domingues Benetti (IPH/UFRGS)

PORTO ALEGRE

Dezembro, 2023.

## CIP - Catalogação na Publicação

Bursztejn, Sara  
AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO ATUAL E PROPOSIÇÃO DE  
METODOLOGIA PARA DESENVOLVER PLANOS DE MONITORAMENTO  
DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA  
BRASILEIROS / Sara Bursztejn. -- 2023.  
218 f.  
Orientador: Antônio Domingues Benetti.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Monitoramento de agrotóxicos na água. 2. Água  
para consumo humano. 3. Diretivas para agrotóxicos na  
água. 4. Portaria da qualidade da água. 5.  
Abastecimento de água para consumo humano. I. Benetti,  
Antônio Domingues, orient. II. Título.

SARA BURSZTEJN

***AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO ATUAL E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
DESENVOLVER PLANOS DE MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRASILEIROS***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau doutora.

Aprovado em: Porto Alegre, 05 de dezembro de 2023.

---

Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti – PPGRHSA/UFRGS (Orientador)

---

Prof. Dr. Renato Zanella– UFSM (Examinador externo)

---

Dr. Robson Rolland Monticelli Barizon – EMBRAPA (Examinador externo)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina de A. Silva – PPGRHSA/UFRGS (Examinadora interna)

### **Dedicatória**

Aos meus pais Iser e Ida Bursztejn, *in memoriam*, que não mediram esforços para transmitir valores, proporcionar e ensinar a importância do estudo, da cultura e da informação.

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Antônio D. Benetti, pela orientação na formatação desta pesquisa e compreensão quanto à forma de encaminhamento dos trabalhos;

Aos membros das bancas de qualificação e defesa que, gentilmente, aceitaram avaliar e dividir o seu conhecimento para aperfeiçoar o desenvolvimento desta tese;

A todos os professores do IPH/UFRGS que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu crescimento e enriqueceram o meu aprendizado;

A equipe responsável pela secretaria de pós-graduação, Davi e Tiago, sempre prontamente disponíveis e competentes no suporte administrativo;

Ao meu companheiro Flávio Stein pela compreensão e resignação, diante de diversos programas cancelados, para que eu pudesse finalizar esta tese;

Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse concluir mais um projeto de vida, em busca do constante aprendizado.

"A chave está no monitoramento, pois, sem dados, temos apenas uma opinião."

Camilo Hunneus

## RESUMO

O emprego crescente de agrotóxicos em atividades agrícolas gera preocupação quanto à presença desses compostos nos mananciais. Se forem detectados nas captações, possivelmente estarão presentes nos sistemas de distribuição de água tratada. Os processos de tratamento de água da maioria das cidades brasileiras têm limitada capacidade de remover agrotóxicos. Um dos instrumentos para avaliar se há contaminação e promover políticas públicas voltadas à preservação da saúde humana é o monitoramento da qualidade das águas. Contudo, o monitoramento representativo dos agrotóxicos é um desafio. A presença de agrotóxicos nos mananciais é influenciada por diversos fatores, tais como a precipitação, a umidade do solo, as características químicas dos compostos e o grau de antropização da bacia hidrográfica. Outro desafio é estabelecer o período adequado para a coleta das amostras, dada à complexidade do comportamento dos agrotóxicos no meio ambiente. A maioria dos países desenvolvidos controla regularmente os principais agrotóxicos. As diretivas internacionais planejam o monitoramento, avaliando se já houve detecção na água, qual o comportamento ambiental dos ingredientes ativos e quais os riscos para a saúde humana e o meio ambiente. A frequência adotada em função destes critérios não é uniforme para os diferentes compostos. A Portaria n.º 888/2021, que regulamenta a qualidade da água no Brasil, define uma frequência semestral para 40 agrotóxicos, que deve ser aplicada a todos os sistemas de abastecimento de água. Porém, a base de dados do *Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – SISÁGUA* do Ministério da Saúde demonstra que esta exigência não é atendida. Também, observa-se uma baixa frequência de detecção de agrotóxicos na água, considerando o seu elevado consumo no Brasil. Para fundamentar esta avaliação foram identificados os locais que empregam os ingredientes ativos mais comercializados no país. Constataram-se diferenças significativas nas classes e quantidades utilizadas entre os Estados. A partir dessas verificações foi desenvolvido um método de monitoramento escalonado para elaboração de planos de monitoramento de agrotóxicos. A metodologia emprega a análise multicritério para selecionar um conjunto de municípios cujos sistemas de abastecimento de água serão monitorados, conforme uma distribuição mensal escalonada, ao longo dos dois semestres do ano. Dessa maneira, é possível obter 12 amostras por parâmetro neste período. Após as avaliações iniciais, são elaboradas recomendações para dar prioridade aos agrotóxicos que devem permanecer no programa de monitoramento, bem como às frequências das coletas. Além de otimizar custos, essas avaliações anuais permitem que os formuladores de políticas estabeleçam as melhores ações para minimizar a presença de agrotóxicos em águas destinadas ao consumo humano.

**Palavras-chave:** Monitoramento de agrotóxicos na água. Água para consumo humano. Diretivas para agrotóxicos na água. Portaria da qualidade da água. Abastecimento de água para consumo humano.



## ABSTRACT

The increasing use of pesticides in agricultural activities rises concerns about the presence of these compounds in water sources. If they are detected in catchments, they will possibly be present in treated water distribution systems. Water treatment processes that are used in most Brazilian cities have limited capacity to remove pesticides. One of the instruments for evaluating contamination and promoting public policies aimed at preserving public health is monitoring water quality. However, representative monitoring of pesticides is a challenge. The presence of pesticides in water sources is influenced by several factors, such as precipitation, soil moisture, the chemical characteristics of the compounds and the degree of anthropization of the river basin. Another challenge is to establish the appropriate period for collecting samples, given the complexity of the behavior of pesticides in the environment. Most developed countries regularly control major pesticides in water. International guidelines plan monitoring assessing whether there has already been detection in the water, the environmental behavior of the active ingredients and the risks to human health and the environment. The frequency adopted based on these criteria is not uniform for different compounds. Ordinance No. 888/2021, which regulates water quality in Brazil, defines a biannual frequency for 40 pesticides, which must be applied to all water supply systems. However, the database *Surveillance Information System for Drinking Water Quality – SISAGUA* from the Health Minister shows that this requirement is not met. Also, it is observed a low detection level of pesticides in water considering their high consumption in Brazil analyzes present limited results and a low detection rate, given the high consumption of pesticides in Brazil. To support this analysis, the locations that use the most commercialized active ingredients in the country were identified. Significant differences were found in the classes and quantities used between the States. Based on these analyses, a staggered monitoring method was developed to prepare pesticide monitoring plans. The methodology uses multi-criteria analysis to select a set of municipalities whose water supply systems will be monitored according to a staggered monthly distribution, throughout the two semesters of the year. In this way, it is possible to obtain 12 samples per parameter in this period. After initial assessments, recommendations are drawn up to prioritize pesticides that should remain in the monitoring program, as well as collection frequencies. In addition to optimizing costs, these annual assessments allow policymakers to establish the best actions to minimize the presence of pesticides in water intended for human consumption.

**Keywords:** Monitoring for pesticides in water. Water for human consumption. Guidelines for pesticides in water. Water quality ordinance. Water supply for human consumption.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Uma visão esquemática do ciclo dos agrotóxicos em um ecossistema.....	46
<b>Figura 2.</b> Eficiência de remoção de agrotóxicos em diferentes unidades de uma ETA.....	69
<b>Figura 3.</b> Monitoramento como parte de um processo contínuo de gerenciamento do sistema.. .....	78
<b>Figura 4.</b> Evolução dos agrotóxicos regulados na água para consumo humano no Brasil.....	81
<b>Figura 5.</b> Estrutura Básica da Análise Multicritério.....	88
<b>Figura 6.</b> Quantidades e valores totais de exportação e importação de agrotóxicos mundiais.....	97
<b>Figura 7.</b> Uso de agrotóxicos por área de cultivo no mundo e continentes.....	98
<b>Figura 8.</b> Dez maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, em 2021.....	99
<b>Figura 9.</b> Dez maiores consumidores mundiais de agrotóxicos por área agrícola, em 2021.....	99
<b>Figura 10.</b> Consumo médio de agrotóxicos no Brasil no período de 1990-2021 (kg/ha).....	100
<b>Figura 11.</b> Agrotóxicos comercializados por classe de periculosidade ambiental em 2021(ton. IA/ano).....	109
<b>Figura 12.</b> Produção total de grãos no Brasil na safra 2018-2019 (em mil toneladas).....	111
<b>Figura 13.</b> Produção total de grãos no Brasil na safra 2022-2023 (em mil toneladas).....	112
<b>Figura 14.</b> Resultados do 2,4 D.....	183
<b>Figura 15.</b> Resultados do alaclor.....	184
<b>Figura 16.</b> Resultados do aldicarbe.....	185
<b>Figura 17.</b> Resultados do aldrin.....	186
<b>Figura 18.</b> Resultados do atrazina.....	187
<b>Figura 19.</b> Resultados do carbendazin.....	188
<b>Figura 20.</b> Resultados do carbofurano.....	189
<b>Figura 21.</b> Resultados do clordano.....	190
<b>Figura 22.</b> Resultados do clorpirifós.....	191
<b>Figura 23.</b> Resultados do DDT.....	192
<b>Figura 24.</b> Resultados do diuron.....	193
<b>Figura 25.</b> Resultados do endossulfan. ....	194
<b>Figura 26.</b> Resultados do endrin.....	195

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 27.</b> Resultados do glifosato.....	196
<b>Figura 28.</b> Resultados do lindano.....	197
<b>Figura 29.</b> Resultados do mancozebe.....	198
<b>Figura 30.</b> Resultados do metamidofós.....	199
<b>Figura 31.</b> Resultados do metolacloro.....	200
<b>Figura 32.</b> Resultados do molinato.....	201
<b>Figura 33.</b> Resultados do parationa metflica.....	202
<b>Figura 34.</b> Resultados do pendimentalina.....	203
<b>Figura 35.</b> Resultados s do permetrina.....	204
<b>Figura 36.</b> Resultados do profenofós.....	205
<b>Figura 37.</b> Resultados do simazina.....	206
<b>Figura 38.</b> Resultados do tebuconazol.....	207
<b>Figura 39.</b> Resultados do terbufós.....	208
<b>Figura 40.</b> Resultados do trifluralina.....	209
<b>Figura 41.</b> Percentual de atendimento das Diretrizes da Vigilância Nacional.....	117
<b>Figura 42.</b> Situação do Abastecimento de Água no Brasil, ano-base 2021.....	118
<b>Figura 43.</b> Sequência metodológica para desenvolver o Plano de Monitoramento de Agrotóxicos.....	121
<b>Figura 44.</b> Ponderação de critérios para aplicar o monitoramento escalonado.....	127
<b>Figura 45.</b> Bacias e sub-bacias hidrográficas do RS.....	130
<b>Figura 46.</b> Regiões Funcionais do RS.....	131
<b>Figura 47.</b> Paisagem característica da Região Norte do RS.....	132
<b>Figura 48.</b> Mapas de Hipsometria e Unidades Geomorfológicas.....	132
<b>Figura 49.</b> Mapas de Temperatura e Precipitação médias anuais.....	133
<b>Figura 50.</b> Mapas dos Biomas do RS.....	134
<b>Figura 51.</b> Mapas dos tipos de solo do RS.....	135
<b>Figura 52.</b> Mapa do macrozoneamento ambiental do RS.....	136
<b>Figura 53.</b> Mapa do RS com % de estabelecimentos agropecuários.....	137
<b>Figura 54.</b> Produção de arroz e soja no RS.....	138
<b>Figura 55.</b> Produção de milho e trigo no RS.....	139
<b>Figura 56.</b> Produção de feijão e laranja no RS.....	140

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 57.</b> Regiões Funcionais de Planejamento – RF 9.....	141
<b>Figura 58.</b> Sedes dos municípios da Bacia Apuaê Inhandava – Bacia U010.....	143
<b>Figura 59.</b> Sedes dos municípios da Bacia Rio Passo Fundo - Bacia U020.....	144

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Formas de classificar agrotóxicos.....	28
<b>Quadro 2.</b> Características dos organoclorados.....	30
<b>Quadro 3.</b> Características dos organofosforados.....	31
<b>Quadro 4.</b> Características dos carbamatos.....	32
<b>Quadro 5.</b> Características dos piretróides.....	32
<b>Quadro 6.</b> Os efeitos ambientais dos agrotóxicos.....	34
<b>Quadro 7.</b> Classificação dos agrotóxicos quanto ao Potencial de Periculosidade Ambiental.....	36
<b>Quadro 8.</b> Frases de advertência para produtos Classe I - “Este produto é:”.....	37
<b>Quadro 9.</b> Fatores ambientais que afetam a persistência dos agrotóxicos.....	44
<b>Quadro 10.</b> Categoria dos agrotóxicos quanto à persistência. ....	45
<b>Quadro 11.</b> Resumo das propriedades físico-química dos agrotóxicos.....	45
<b>Quadro 12.</b> Fatores químicos e específicos do local que podem afetar o transporte de contaminantes.....	48
<b>Quadro 13.</b> Informações sobre detalhes de amostragem, tempo de armazenamento e condições para alguns agrotóxicos que constam na Portaria nº 888/2021.....	55
<b>Quadro 14.</b> Método de extração de agrotóxicos.....	59
<b>Quadro 15.</b> Métodos de detecção de agrotóxicos.....	61
<b>Quadro 16.</b> Métodos de extração e detecção de agrotóxicos em diferentes matrizes.....	62
<b>Quadro 17.</b> Processos mais utilizados para tratamento de água.....	64
<b>Quadro 18.</b> Critérios adotados no Brasil e pelas diretivas internacionais para o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água.....	95
<b>Quadro 19.</b> Posição dos 10 ingredientes ativos mais comercializados no Brasil, entre 2015 e 2021. ....	101
<b>Quadro 20.</b> Periodicidade semestral do monitoramento para 6 municípios agregados.....	128
<b>Quadro 21.</b> Periodicidade quadrimestral de monitoramento para 4 municípios agregados..	128
<b>Quadro 22.</b> Proposta de distribuição escalonada para o monitoramento dos agrotóxicos na região de estudo.....	152

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação toxicológica dos agrotóxicos segundo a DL <sub>50</sub> .....	29
<b>Tabela 2.</b> Potencial de transporte do agrotóxico dissolvido em água e adsorvido ao sedimento.....	39
<b>Tabela 3.</b> Moléculas classificadas por volatilidade e expressas em logaritmo da pressão de vapor. ....	40
<b>Tabela 4.</b> Classificação dos agrotóxicos pela força de sorção da matéria orgânica (Koc).....	42
<b>Tabela 5.</b> Classificação do índice de GUS.....	42
<b>Tabela 6.</b> Classes de meia-vida .....	43
<b>Tabela 7.</b> Eficiência de remoção de agrotóxicos conforme processo de tratamento.....	66
<b>Tabela 8.</b> Estudos experimentais com diferentes métodos para remoção de agrotóxicos de fontes hídricas.....	68
<b>Tabela 9.</b> Frequência mínima de coleta e análise para verificação de conformidade.....	73
<b>Tabela 10.</b> Grupos de frequência de monitoramento da água em Israel.....	76
<b>Tabela 11.</b> Avaliação da frequência de monitoramento em Israel.....	77
<b>Tabela 12.</b> Padrões de potabilidade para agrotóxicos, comparativo entre as portarias: Anexo XX da PRC n.º 5/2017 e a n.º 888/2021. ....	180
<b>Tabela 13.</b> Parâmetros regulados pela Portaria n.º 888/2021 e principais características.....	82
<b>Tabela 14.</b> Os 10 ingredientes ativos mais vendidos em 2021 (ton. IA/ano).....	101
<b>Tabela 15.</b> Classificação quanto à toxicidade e periculosidade ambiental, grupos químicos e classes agronômicas dos principais agrotóxicos comercializados no Brasil.....	103
<b>Tabela 16.</b> Propriedades físico-químicas dos principais agrotóxicos comercializados no Brasil.....	104
<b>Tabela 17.</b> Ingredientes ativos mais comercializados no Brasil e os maiores consumidores estaduais, em 2021 (ton. de IA.).....	108
<b>Tabela 18.</b> Vendas de agrotóxicos e afins por classe de periculosidade ambiental em 2021.....	110
<b>Tabela 19.</b> Consumo de IA por Estado, no ano 2021, em ton./ano (Anexo III).....	211
<b>Tabela 20.</b> Posição de consumo por Estado por IA, no ano de 2021 (Anexo III).....	215
<b>Tabela 21.</b> Os dez maiores consumidores estaduais por IA, no ano de 2020 (Anexo III).....	216

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 22.</b> Número de análises de agrotóxicos, nº de dados inconsistentes <sup>1</sup> e inconclusivos <sup>2</sup> , entre 2014 a 2022.....	114
<b>Tabela 23.</b> Número de análises de agrotóxicos acima dos valores máximos permitidos pela Portaria n.º 888/2021, por Região, entre 2014 e 2022.....	115
<b>Tabela 24.</b> Situação dos municípios brasileiros quanto à existência de processo de tratamento.....	120
<b>Tabela 25.</b> Escala fundamental de Saaty.....	124
<b>Tabela 26.</b> Peso atribuído ao percentual de detecção de agrotóxicos nas análises disponíveis no SISÁGUA.....	126
<b>Tabela 27.</b> Pontuação do critério declividade média da sub-bacia conforme as faixas de declividade.....	126
<b>Tabela 28.</b> Municípios, principais cultivos, emprego de agrotóxicos (%EA) e de agricultura familiar (%AF) .....	142
<b>Tabela 29.</b> Municípios, suas bacias hidrográficas, meses de coleta de amostras de agrotóxicos, captação e sistema de abastecimento de água, população.....	145
<b>Tabela 30.</b> Municípios que amostraram e seus respectivos meses.....	147
<b>Tabela 31.</b> Ponderação dos critérios aplicada aos municípios.....	149

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AGROFIT:** Banco de Informações do Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário

**AHP:** Processo de hierarquia analítica (*Analytic Hierarchy Process*)

**ANA:** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

**ANP:** Processo de Rede Analítica (*Analytic Network Process*)

**ANVISA:** Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**APPA:** Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental

**ARA:** Análise de Risco Ambiental

**ATSDR:** Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*)

**CETESB:** Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

**COREDES:** Conselho Regional de Desenvolvimento

**CPRM:** Serviço Geológico do Brasil

**DNA:** Ácido desoxirribonucleico

**ELECTRE:** Eliminação e Escolha Refletindo a Realidade (*Elimination et Choix Traduisant la réalité*)

**EMBRAPA:** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**EPA:** Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*Environmental Protection Agency*)

**ETA:** Estação de Tratamento de Água

**EU:** União Europeia

**EUA:** Estados Unidos da América

**FAO:** Organização para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization*)

**FAOSTAT:** Dados alimentares e agrícolas (*Food and Agriculture Data*)

**GUS:** Pontuação de Ubiquidade das Águas Subterrâneas (*Groundwater Ubiquity Score*)

**IA:** Ingredientes Ativos

**IBAMA:** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**MAC:** Concentração Máxima Aceitável (*Maximum Acceptable Concentration*)

**MAUT:** Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multi-Attribute Utility Theory*)

**MS:** Ministério da Saúde

**OHCHR:** Escritório do Alto Comissariado para os Direitos Humanos (*Office of the High Commissioner for Human Rights*)

**OMS:** Organização Mundial da Saúde

**PNUMA:** Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

**POP:** Poluentes Orgânicos Persistentes

**PPA:** Potencial de Periculosidade Ambiental

**PROMETHEE:** Método de Organização de Ranking de Preferências para Enriquecimento de Avaliações (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*).

**RIMAS:** Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

**SISÁGUA:** Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

**SMART:** Técnica simples de classificação multiatributos (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*)

**SMARTER:** Classificação estendida SMART (*SMART Extended Ranking*)

**USGS:** Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey*)

**VIGIÁGUA:** Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GERAL.....	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
3 HIPÓTESES .....	25
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
4.1 AGROTÓXICOS .....	26
4.1.1 Classificação dos agrotóxicos.....	27
4.1.1.1 Classificação toxicológica .....	29
4.1.1.2 Classificação quanto à natureza química.....	29
4.1.1.3 Classificação quanto aos riscos ao meio ambiente.....	32
4.1.2 Propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos.....	37
4.1.3 Destino dos agrotóxicos no ambiente.....	46
4.1.4 Taxa e método de aplicação dos agrotóxicos .....	51
4.1.5 Poluentes orgânicos persistentes (POPs).....	51
4.2 MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS .....	52
4.2.1 Métodos de coleta e análise de agrotóxicos.....	53
4.2.2 Métodos de extração, detecção e tratamento de agrotóxicos.....	57
4.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	62
4.3.1 Eficiência de processos de tratamento na remoção de agrotóxicos.....	64
4.4 CONTROLE E MONITORAMENTO INTERNACIONAL .....	70
4.4.1 Organização Mundial da Saúde (OMS).....	71
4.4.2 Diretiva da União Europeia (UE) .....	72
4.4.3 Diretiva Americana.....	74
4.4.4 Diretiva Israelense .....	75

4.4.5 Diretiva Australiana.....	78
4.5. CONTROLE E MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL.....	80
4.5.1 Monitoramento nos mananciais superficiais .....	80
4.5.2 Monitoramento nos mananciais subterrâneos.....	80
4.5.3 Monitoramento nos sistemas de abastecimento de água .....	80
4.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	84
4.6.1 Fundamentos da análise multicritério.....	84
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	89
5.1 REVISÃO DA LITERATURA .....	89
5.2 ESTRUTURAÇÃO E DESENVOLVIMENTO .....	90
5.3 DELIMITAÇÃO DA APLICABILIDADE DA PROPOSTA .....	91
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	93
6.1 FATORES RELEVANTES PARA O MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS ...	93
6.2 ANÁLISE COMPARADA ENTRE AS DIRETIVAS INTERNACIONAIS E PORTARIA n.º 888/2021.....	94
6.3 CONSUMO DE AGROTÓXICOS .....	96
6.3.1 Panorama mundial.....	96
6.3.2 Consumo de agrotóxicos no Brasil.....	100
6.3.3 Os agrotóxicos mais empregados no Brasil.....	100
6.3.3.1 Classificação dos agrotóxicos mais empregados no Brasil .....	102
6.3.3.2 Propriedades dos agrotóxicos mais empregados no Brasil.....	104
6.3.4 Maiores consumidores de agrotóxicos no Brasil.....	107
6.3.5 Consumo de agrotóxicos por Unidades da Federação.....	113
6.4 PRESENÇA DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	113
6.4.1 Eficiência das tecnologias empregadas no Brasil para remoção de agrotóxicos...	117
6.5 METODOLOGIA PARA OTIMIZAR O MONITORAMENTO.....	121

6.5.1 Base de dados .....	121
6.5.2 Ferramentas .....	122
6.5.3 Instrumentos .....	122
6.5.4 Variáveis.....	122
6.5.5 Critérios .....	123
6.5.6 Ponderação de critérios.....	124
6.5.7 Método de monitoramento escalonado.....	127
6.6 ESTUDO DE CASO: MONITORAMENTO ESCALONADO DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO RS.....	129
6.6.1 Caracterização da região.....	131
6.6.2 Base de dados .....	140
6.6.3 Variáveis.....	146
6.6.4 Resultados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano - SISÁGUA .....	146
6.6.5 Critérios .....	147
6.6.6 Ponderação de critérios.....	147
6.6.6 Monitoramento escalonado .....	150
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	153
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	157
( <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967319304315">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967319304315</a> ). Acesso em: 20 set. 2023. ....	161
ANEXOS .....	178
ANEXO I - PARÂMETROS DA PORTARIA n.º 888/2021 .....	179
ANEXO II - Dados do SISÁGUA.....	182
ANEXO III - DADOS DO IBAMA DE COMERCIALIZAÇÃO DE AGROTÓXICOS .....	210

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de agrotóxicos na água para consumo humano é uma preocupação crescente no Brasil e no mundo devido aos seus efeitos adversos já identificados em relação à saúde humana e ao meio ambiente (Lopes; Albuquerque, 2018). A deterioração da qualidade da água é um fator importante na crescente escassez hídrica global, já que reduz a quantidade de água segura para consumo. Os agrotóxicos estão entre os compostos cuja presença na água apresenta maior preocupação devido aos seus efeitos potenciais sobre a saúde (Gray, 2008).

Nos Estados Unidos, um ou mais agrotóxicos e seus metabólitos foram detectados em amostras de todos os rios monitorados pelo Serviço Geológico, além da metade das amostras de poços rasos (USGS, 2006). Em águas subterrâneas, a detecção de agrotóxicos pode continuar por várias décadas após sua aplicação na agricultura. Por exemplo, o herbicida atrazina, mesmo após ter sido proibido na União Europeia, em 2004, continuou a ser detectado nas águas subterrâneas de vários países-membros (OHCHR, 2017).

O Brasil é o segundo maior consumidor mundial de agrotóxicos em valores absolutos, com uma taxa de aplicação de 10,90 kg/ha por área de cultivo. Em termos de taxa de aplicação, dados referentes ao ano 2021 (FAO, 2023), o Brasil está abaixo dos 10 primeiros usuários, com taxas que variam entre 28,74 kg/ha (1º lugar, Antilhas Holandesas, no mar do Caribe) e 13,54 kg/ha (10º lugar, Granada no mar do Caribe). Já em relação às taxas de aplicação médias mundiais e das Américas, respectivamente, 2,26 e 4,70 kg/ha, o país está bem acima. O elevado consumo está associado, em parte, a extensão de suas terras aráveis, ao clima que permite mais de uma colheita anual e, algumas vezes, ao próprio desconhecimento sobre as reais necessidades de aplicação por parte dos agricultores (Araújo; Oliveira, 2017).

O emprego de agrotóxicos no Brasil preocupa quanto à amplitude e rumo que poderá tomar em relação ao comprometimento dos mananciais, e conseqüente ameaças à segurança hídrica para abastecimento público. Em um país em que os índices de cobertura de saneamento básico estão muito aquém do desejável acrescenta-se a problemática dos agrotóxicos presentes na água. Conforme a ANA (2012) a segunda maior causa de contaminação dos recursos hídricos no país são os agrotóxicos, após esgotos domésticos.

Os sistemas de abastecimento de água para consumo humano brasileiros são supridos por mananciais superficiais (rios, represas, açudes) ou subterrâneos. Segundo o Atlas Águas (ANA, 2021), 43% das sedes municipais são abastecidas por mananciais superficiais, 40% por subterrâneos e 17% possuem abastecimento misto. Pela dinâmica ambiental, os agrotóxicos

podem estar presentes tanto em águas superficiais como subterrâneas. Nas áreas de atividades agrícolas, a probabilidade de contaminação dos recursos hídricos com resíduos de agrotóxicos é mais pronunciada, todavia a presença destes em mananciais de centros urbanos não deve ser minimizada uma vez que também são usados em atividades domésticas, comerciais e recreativas (Lopes; Albuquerque, 2018).

Considerando a grande aplicação de agrotóxicos no Brasil e a sua mobilidade ambiental, é possível avaliar que existem riscos quanto a sua presença nos locais de captação de água para consumo humano. Um aspecto importante refere-se ao processo de tratamento de água convencional (clarificação química, filtração em areia e desinfecção com cloro), empregado na quase totalidade dos sistemas brasileiros (IBGE, 2017), pois é insuficiente para remover agrotóxicos, mesmo quando encontrados em pequenas concentrações na água (Teodosiu *et al.*, 2018).

Um dos instrumentos para avaliar a efetiva contaminação e promover políticas públicas voltadas à saúde e ao meio ambiente é o monitoramento da qualidade das águas (Gama *et al.*, 2013). Por outro lado, as análises químicas de agrotóxicos requerem métodos analíticos sofisticados, que exigem equipes especializadas, podem ser demoradas e apresentar elevado custo operacional. Dependendo das condições dos locais a monitorar podem tornar-se inviáveis em muitos sistemas de abastecimento de água (Raid, 2017).

Os países utilizam diferentes estratégias para monitorar e controlar a presença de agrotóxicos na água para consumo humano. O Brasil vem criando gradativamente mecanismos de controle e monitoramento desde a década de 80. Recentemente, com a edição da Portaria de Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano n.º 888/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021) foram estabelecidas concentrações máximas permissíveis para 40 agrotóxicos.

Face ao exposto, esta tese visa contribuir para uma discussão sobre o controle dos agrotóxicos na água fornecida para o consumo humano. Para embasar esta análise foram identificados os agrotóxicos mais comercializados, em cada região. Constataram-se variações nos tipos e quantidades utilizadas entre os Estados. Também, foram verificados os resultados do monitoramento em curso, publicados no SISÁGUA, que apresentam um baixo nível de detecção de agrotóxicos.

Com as informações obtidas pode-se argumentar sobre uma estratégia para espacializar o monitoramento, de acordo com seu uso. Para referenciar a discussão proposta foram

verificadas práticas internacionais, quanto às recomendações de suas Diretivas relativas ao monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano. Face a essas constatações foi desenvolvida uma metodologia para elaborar Planos de Monitoramento Escalonado com emprego de análise multicritério. Este método possibilita obter 12 amostras para cada um dos 40 agrotóxicos, mantendo a periodicidade semestral, ou seja, sem alterar os requisitos da Portaria n.º 888/21. Dessa forma, com um número maior de resultados é possível avaliar com mais segurança a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água dos municípios brasileiros e estabelecer ações que visem mitigá-la.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o estágio atual do monitoramento dos agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água dos municípios brasileiros e propor um método para desenvolver Planos de Monitoramento que visem otimizar as práticas em curso.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Conhecer os principais aspectos que envolvem o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água;
- b) Examinar as práticas internacionais e os requisitos brasileiros estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 para o monitoramento de agrotóxicos no controle da qualidade da água de abastecimento humano;
- c) Identificar uma metodologia que seja aplicável aos planos de monitoramento de agrotóxicos.
- d) Caracterizar o panorama de consumo de agrotóxicos no Brasil;
- e) Avaliar a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água brasileiros segundo as informações do SISÁGUA;
- f) Propor uma metodologia para otimizar o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água no Brasil;
- g) Apresentar um estudo de caso para a metodologia proposta.



### 3 HIPÓTESES

De acordo com o que está estabelecido na Portaria n.º 888/2021 do Ministério da Saúde, que determina o monitoramento semestral dos 40 agrotóxicos em todos os sistemas de abastecimento de água dos 5.570 municípios brasileiros, foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

**1ª Hipótese:** O monitoramento de agrotóxicos realizado pelos operadores e a fiscalização pela vigilância da qualidade da água para consumo humano não atende aos requisitos estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 do Ministério da Saúde. Sendo assim, existem dificuldades para o cumprimento das determinações da Portaria;

**2ª Hipótese:** Mesmo que houvesse atendimento à Portaria n.º 888/2021, duas amostras anuais não permitem concluir de forma consistente sobre a presença de agrotóxicos na água;

**3ª Hipótese:** O consumo e as classes de agrotóxicos comercializados podem variar entre as regiões do Brasil, o que deve ser considerado no plano de monitoramento;

**4ª Hipótese:** Priorizar a amostragem de agrotóxicos nos locais de maior consumo permite diminuir o número de análises, otimizar recursos e ampliar a frequência possibilitando obter uma série histórica mais abrangente;

**5ª Hipótese:** Dada a complexidade do monitoramento dos agrotóxicos, torna-se necessário desenvolver uma metodologia que auxilie os Estados e Municípios na elaboração de seus planos de monitoramento do controle e vigilância.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 AGROTÓXICOS

O termo agrotóxico refere-se a inseticidas, óleos minerais, herbicidas, bactericidas, fungicidas, reguladores de crescimento de plantas, rodenticidas e qualquer outra substância ou mistura de substâncias destinadas a prevenir, destruir ou controlar qualquer praga. Nestas estão incluídos vetores de doenças humanas ou animais, espécies indesejadas de plantas ou animais que causem danos ou interfiram na produção, processamento, armazenamento, transporte ou comercialização de alimentos, produtos agrícolas, madeira ou alimentos para animais. Agrotóxicos incluem substâncias utilizadas como reguladores do crescimento das plantas, desfolhantes, dessecantes ou agentes para prevenir a queda prematura dos frutos. Podem ser aplicados às culturas antes ou depois da colheita para proteger os produtos da deterioração durante o armazenamento e transporte (FAO, 2021).

Na antiguidade, já era comum o uso de agrotóxicos por meio de elementos presentes na natureza. Isso não significa que estavam isentos de efeitos tóxicos aos humanos e ao ambiente. Com a evolução do conhecimento científico e o crescimento populacional demandando maior produção de alimentos, surgiram os agrotóxicos químicos. Os resultados proporcionaram um aumento na produtividade das culturas agrícolas. Os agrotóxicos também foram utilizados para o combate a doenças endêmicas, como a malária. No entanto, esses produtos da primeira geração eram extremamente tóxicos para o meio ambiente e os ingredientes ativos apresentavam uma longa permanência no meio ambiente (Caldas; Souza, 2000).

No atual estágio da produção agrícola, a variedade de meios químicos e biológicos de proteção vegetal está em constante mudança. As substâncias que causam danos ambientais a longo prazo são geralmente substituídas por outras, com novos mecanismos de ação em formas medicamentosas mais seguras. A produção e o uso de agrotóxicos com baixa taxa de aplicação por unidade de área serão gradualmente ampliados com o emprego da agricultura de precisão, reduzindo a quantidade física de agrotóxicos consumidos sem reduzir a área cultivada (Bernardi; Inamasu, 2014). Nos últimos anos, substâncias potencialmente tóxicas e persistentes, tais como mercúrio, clororgânico e muitos fosfororgânicos, foram excluídas da lista de agrotóxicos usados na agricultura (CETESB, 2015).

As formas de apresentação dos agrotóxicos também estão sofrendo alterações. A quantidade de drogas em pó e concentradas em emulsão foi reduzida. Novas formas estão sendo desenvolvidas, tais como concentrados de suspensão, pastas de fluxo, pelotas solúveis em água, suspensões de fluxo seco e microcapsulados. Conseqüentemente, as formas de apresentação dos agrotóxicos tornam o seu manuseio mais seguro, mas isso não significa que seus ingredientes ativos ofereçam menores riscos (Ganiev; Nedorezkov, 2006).

Existem vários tipos de agrotóxicos, incluindo substâncias químicas, além de algumas biológicas, que podem ser classificadas conforme o tipo de praga que controlam, com a composição química dos ingredientes ativos (IA) e com os efeitos à saúde humana e ao meio ambiente. Os agrotóxicos contêm ingredientes “ativos” e “inertes”.

*Ingredientes ativos* correspondem à substância, o produto ou o agente resultante de processos químicos, físicos ou biológicos utilizados para assegurar eficácia aos agrotóxicos.

*Ingredientes inertes* são produtos químicos, compostos e outras substâncias, como *commodities* alimentares comuns (por exemplo, certos óleos comestíveis, especiarias, ervas) e alguns materiais naturais (por exemplo, cera de abelha, celulose). O termo “inerte” não significa não tóxico. Os ingredientes inertes têm um papel crucial na eficácia dos agrotóxicos e no desempenho do produto. Algumas das funções dos inertes são: 1º) atuar como um solvente para facilitar a penetração do (IA) na superfície da folha da planta; 2º) facilitar a aplicação, evitando a formação de espuma; 3º) prolongar a vida útil do produto; 4º) melhorar a segurança do aplicador; 5º) proteger o IA da degradação devido à exposição à luz solar (AGROFIT, 1998; EPA, 2021).

#### **4.1.1 Classificação dos agrotóxicos**

Há diversas maneiras de classificar os agrotóxicos, dentre elas: finalidade, modo de ação, persistência, deslocamento, duração do efeito do tratamento, toxicidade, origem e grupo químico. O Quadro 1 apresenta uma descrição detalhada sobre essas formas.

*Quadro 1 - Formas de classificar agrotóxicos*

Finalidade	Modo de ação	Persistência	Deslocamento	Duração do efeito de tratamento
<b>Acaricida:</b> combater ácaros (incluem os carrapaticidas)	<b>Contato</b> Após absorção pelo tegumento do organismo alvo em borrições residuais ou espaciais;	São classificados segundo a <b>meia-vida:</b> tempo necessário, depois de aplicado, para suas concentrações reduzirem à metade. Consideram-se persistências:	O deslocamento no ambiente durante sua meia vida pode ser:	<b>Efeito residual:</b> o ingrediente ativo aplicado em determinado local permanece com dosagens letais para um organismo alvo por tempo prolongado (algumas semanas ou meses);
<b>Escorpionicidas:</b> combater escorpiões				
<b>Inseticida:</b> combate insetos	<b>Ingestão</b> O agrotóxico age e penetra no organismo alvo através da via oral;			
<b>Moluscocida:</b> combater moluscos				
<b>Nematicida:</b> combater nematóides	<b>Fumegante</b> Alcança o organismo alvo na forma de vapor, por suas vias respiratórias. Alguns agrotóxicos possuem múltiplos mecanismos de ação.	<b>Curta:</b> até 90 dias	<b>Pequeno:</b> até 20 cm	<b>Efeito instantâneo (knockdown):</b> logo que aplicado, o efeito é imediato sobre o organismo a combater.
<b>Rodenticida:</b> combater roedores		<b>Média:</b> de 91 a 180 dias	<b>Médio:</b> de 21 a 60 cm	
<b>Vampiricida:</b> combater morcegos		<b>Longa:</b> maior que 180 dias	<b>Grande:</b> maior que 60 cm	
<b>Herbicida:</b> combater ervas daninhas				
<b>Fungicida:</b> Combater fungos, bactérias e algas.	Possui múltiplos mecanismos de ação: Sintetizam os ácidos nucléicos; aminoácidos. Atuam na divisão celular e na mitose; na respiração; mitocondrial; na transdução de sinais. Inibem a síntese de lipídeos e esteróis em membranas, entre outros.			

**Fonte:** da Autora, 2023. Dados: Savoy, 2011; FAOSTAT, 2023.

#### 4.1.1.1 Classificação toxicológica

A ANVISA coordena as ações relacionadas à toxicologia no âmbito do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, para regulamentar, analisar, controlar e fiscalizar produtos e serviços que apresentem riscos à saúde, tais como agrotóxicos, componentes e afins e outras substâncias químicas de interesse toxicológico. Assim, a Agência analisa a toxicologia para fins de registro dos agrotóxicos, avalia moléculas já registradas e cria regulamentos técnicos e monografias dos ingredientes ativos dos agrotóxicos (ANVISA, 2019).

A classificação da toxicidade é baseada em resultados de testes ou estudos realizados em laboratório. É fundamentada na toxicidade para o rato, em particular na determinação da dose letal média ( $DL_{50}$ ) do agrotóxico. Esta dose considera a quantidade necessária de substância tóxica para causar uma mortalidade de 50% em condições controladas em 24 horas.

Esses testes são compostos pela exposição oral, dérmica e inalatória para determinar a concentração de produto tóxico por quilo de peso corporal necessário para matar 50% dos ratos. Em função da Dose Letal Média ( $DL_{50}$ ) os agrotóxicos são divididos em classes, descritas na Tabela 1 (OMS, 2019).

A classificação segundo a toxicidade aguda dos agrotóxicos, afins e preservativos de madeira deve ser estabelecida e identificada com os respectivos nomes das categorias e cores nas faixas do rótulo dos produtos, conforme estabelecido na Tabela 1:

**Tabela 1.** Classificação toxicológica dos agrotóxicos segundo a  $DL_{50}$

Produto / Classe Toxicidade	Cor indicada na embalagem	<sup>(1)</sup> $DL_{50}$ oral (produtos sólidos) (mg/kg de peso do rato)
1. Extremamente tóxico	Faixa vermelha	$DL_{50} \leq 5$
2. Altamente tóxico	Faixa vermelha	$DL_{50} > 5$ a 50
3. Moderadamente tóxico	Faixa amarela	$DL_{50} > 50$ a 500
4. Pouco tóxico	Faixa azul	$DL_{50} > 500$ a 5000
5. Improvável de causar dano agudo	Faixa azul	> 5000
6. Não Classificado	Faixa verde	-

**Nota:** <sup>(1)</sup> $DL_{50}$ : dose letal mediana – **Fonte:** ANVISA, 2019.

#### 4.1.1.2 Classificação quanto à natureza química

Os agrotóxicos, quimicamente, são classificados como compostos inorgânicos ou orgânicos:

**A. Inorgânicos:** Os gregos, romanos e chineses utilizavam o arsênico e enxofre como agrotóxicos muitos séculos antes da nossa era. O uso moderno de inseticidas, data de 1867, quando um produto chamado verde-paris foi preparado e usado contra diversas pragas. Após esse período, surgiram outros produtos inorgânicos, como os a base de bário, boro, flúor, antimônio, tálio, chumbo, cádmio e mercúrio, além da calda sulfocálcica e dos óleos minerais. Como desvantagens, destacam-se a sua acumulação nos tecidos orgânicos, a estabilidade e a longa persistência no ambiente por serem compostos por metais. Apresentam alta toxicidade e não possuem antídotos. A importância dos agrotóxicos inorgânicos teve um declínio com o surgimento dos agrotóxicos orgânicos, que, atualmente, não totalizam 10% dos produtos em uso (Lara; Batista, 1992).

**B. Orgânicos:** Os agrotóxicos orgânicos constituem o grupo de maior importância. Contém átomos de carbono na sua composição e são divididos em sintéticos e naturais. A utilização de compostos orgânicos naturais é remota. Os piretros muito utilizados na antiguidade eram obtidos a partir do macerado de flores de *Chrysantemum*, com ação nervosa paralisante reversível. Além dos compostos de origem vegetal, existem outros de origem animal e os derivados do petróleo (Mackay *et al.*, 2006).

Com a descoberta dos compostos orgânicos sintéticos foi possível criar uma vasta gama de novos produtos, tais como organoclorados, clorofosforados, organofosforados, carbamatos, piretróides, compostos dinitro, cloronitrofenol, entre outros. As principais características dos agrotóxicos orgânicos estão indicadas nos Quadros 2, 3, 4 e 5.

**Quadro 2.** Características dos organoclorados

Organoclorados	Estrutura molecular	Persistência/degradação	Modo de ação
*Pioneiro dos agrotóxicos sintéticos; *Amplio uso agrícola e domiciliar; *Função: -proteção contra malária, tifo exantemático e outras enfermidades transmitidas por insetos; -controle de espécies prejudiciais à lavoura.	*Hidrocarbonetos clorados *Contém cloro, e alguns, oxigênio. *Derivados do clorobenzeno, ciclohexano ou do ciclodieno.	*Longa persistência no ambiente (até 30 anos no solo); *Acumulação nas cadeias alimentares. *Pela alta resistência aos microrganismos e alta estabilidade da maioria dos organoclorados à luz solar e temperatura ambiente, não são degradados facilmente, causando a contaminação do meio e a quebra do equilíbrio biológico.	*Por ingestão e contato, bloqueiam a transmissão dos impulsos nervosos.

Fonte: da Autora, 2023. Dados: Sparling, 2016.

**Quadro 3. Características dos organofosforados**

Organofosforados	Estrutura molecular	Persistência/degradação	Modo de ação
<p>* Desenvolvidos na década de 40 para substituir os organoclorados;</p> <p>* Possuem ampla variação de toxicidade desde os extremamente tóxicos até os de baixa toxicidade;</p>	<p>* São ésteres, amidas ou derivados tiol dos ácidos de fósforo (ácido fosfórico, ácido tiosfosfórico, ácido ditiosfosfórico e outros);</p> <p>* Contém várias combinações de carbono, hidrogênio, oxigênio, fósforo, enxofre e nitrogênio.</p> <p>* Possuem vários grupos segundo sua estrutura, estando entre os mais numerosos os fosfatos (diclorvos), fosforotioatos (fenitrothion, temephos) e fosforoditioatos (malathion, dimetoato).</p>	<p>* São biodegradáveis, com persistência curta no solo, 1 a 3 meses.</p> <p>* A hidrólise é o principal processo de degradação, sob condições de baixa alcalinidade;</p> <p>* A maioria dos inseticidas organofosforados são instáveis em pH inferior a 2, sendo a maioria mais estável na faixa de pH 3-6.</p> <p>* Os compostos devem ser estáveis em pH neutro, devido suas formulações em óleos concentrados, solventes miscíveis em água, grânulos inertes, para aplicação direta ou após dispersão em água.</p> <p>* Na oxidação de fosforotioatos, que são mais voláteis e tóxicos, podem se transformar em fosfatos, que pode resultar em compostos potencialmente perigosos, quando armazenados sob altas temperaturas.</p> <p>* A isomerização está associada a riscos tóxicos, como é demonstrado pelo armazenamento de algumas formulações de malationa sob condições climáticas quentes e úmidas, o que a torna significativamente mais perigosa.</p>	<p>* Ação por contato e ingestão.</p> <p>* Agem como inibidores das enzimas colinesterases causam o aumento dos impulsos nervosos, podendo ocasionar a morte.</p>

Fonte: da Autora, 2023. Dados: Karasali *et al.*, 2016.

**Quadro 4 - Características dos carbamatos**

Carbamatos	Estrutura molecular	Persistência/degradação	Modo de ação
<p>*Os primeiros carbamatos no mercado datam de 1950.</p> <p>*Apresentam pequeno espectro de atividade inseticida</p>	<p>*São orgânicos derivados do ácido carbâmico.</p> <p>*Possuem 3 classes: - inseticidas (e nematocidas); - herbicidas; e - fungicidas.</p> <p>Os inseticidas (e nematocidas) são derivados do éster de ácido carbâmico.</p>	<p>*São compostos instáveis.</p> <p>*Fatores influenciam a degradação dos carbamatos: umidade, temperatura, luz, volatilidade.</p> <p>*São metabolizados por microrganismos, plantas e animais ou degradados na água e no solo, especialmente em meio alcalino.</p> <p>*Ocorre decomposição com a formação de amônia, amina, dióxido de carbono, fenol e álcoois.</p>	<p>*Ação de contato e ingestão.</p> <p>*São inibidores das enzimas colinesterases, embora por mecanismo diferente dos organofosforados</p>

Fonte: da Autora, 2023. Dados: Mdeni *et al.*, 2022.

**Quadro 5. Características dos piretróides**

Piretróides	Estrutura molecular	Persistência/degradação	Modo de ação
<p>*Introduzidos no mercado em 1976.</p> <p>*Possuem alta eficiência, em doses menores de produto ativo, resultando em menor contaminação nas aplicações.</p> <p>*Admitem a potencialização pela adição de um sinergista, dando lugar a um aumento da eficácia.</p> <p>*Geralmente seguros para mamíferos, algumas substâncias têm alto <i>knockdown</i>, com boa mortalidade.</p>	<p>*Compostos sintéticos análogos aos componentes obtidos a partir dos piretros, extraídos do crisântemo.</p>	<p>*Os piretróides sintéticos têm boa estabilidade sob luz e temperatura ambiente.</p> <p>*Degradam-se por hidrólise e oxidação.</p> <p>*Caracterizados pela rápida degradação por microrganismos do ambiente, não se registra acumulação de resíduos ou esta alcança níveis não detectáveis.</p>	<p>*São compostos de rápida ação na interferência da transmissão de impulsos nervosos.</p> <p>*Podem possuir efeito repelente, espantando os insetos ao invés de eliminá-los.</p>

Fonte: da Autora, 2023. Dados: Aznar *et al.*, 2020.

#### 4.1.1.3 Classificação quanto aos riscos ao meio ambiente

Os agrotóxicos atingem corpos hídricos superficiais e subterrâneos por meio de fontes de contaminação difusa e pontual. A contaminação difusa por agrotóxicos é responsável pela detecção de concentrações baixas, enquanto as fontes pontuais resultam na detecção de concentrações mais elevadas (Vryzas, 2018).



Os agrotóxicos aplicados às culturas podem ser transportados para os corpos hídricos superficiais e subterrâneos através do escoamento, da percolação ou agregados aos sedimentos. O deslocamento da água sobre a superfície os transporta para os rios e lagos, enquanto o movimento vertical através das zonas não saturadas os conduz ao lençol freático. A aplicação de agrotóxicos junto a zonas de recarga pode causar a contaminação de aquíferos confinados. Os agrotóxicos também podem alcançar os mananciais agregando-se a partículas de solo erodidas (Lewis *et al.*, 2016). Muitos são estáveis temporalmente e podem contaminar, inclusive, áreas distantes dos locais de aplicação através do fenômeno conhecido como deriva (Lofrano *et al.*, 2020).

Os estudos demonstram que 55% dos agrotóxicos utilizados na agricultura atingem alvos não visados, percolando pelo solo, águas superficiais e subterrâneas, além do fenômeno da deriva pelo ar (Rebelo; Caldas, 2014). É comum que ocorra casos de deriva durante a aplicação, mesmo a partir de equipamentos terrestres (Yadav *et al.*, 2015). Os agrotóxicos em contato com o solo seguem diferentes rotas, podem ser volatilizados, lixiviados, adsorvidos, degradados ou ainda atingir organismos não-alvo.

O Quadro 6 apresenta um resumo dos principais impactos provocados pelos agrotóxicos no compartimento ambiental.

**Quadro 6. Os efeitos ambientais dos agrotóxicos**

Efeito	Descrição
<b>Toxicidade</b>	<p>*Normalmente, a LD<sub>50</sub> é definida como “Dose Letal” de agrotóxicos que matará metade dos organismos testados durante um período delimitado. Quanto menor o LD<sub>50</sub>, maior a toxicidade. Valores inferiores a 10 são extremamente tóxicos.</p> <p>*<b>Resposta tóxica:</b> pode ser aguda (morte) ou crônica (o efeito que não causa morte durante o experimento, mas pode causar danos visíveis nos organismos testados, como tumores e cânceres, efeitos teratogênicos, inibição do crescimento, falha reprodutiva, etc.).</p> <p>*As diretrizes alimentares e de água potável são avaliadas por meio de uma análise de risco. Em geral, Risco = Exposição (quantidade e/ou duração) × Toxicidade.</p>
<b>Persistência</b>	<p>*Definido como meia-vida (tempo necessário para a concentração diminuir 50%).</p> <p>*A persistência é medida por processos de degradação abiótica (fotólise, hidrólise e oxidação) e biótica (biodegradação).</p> <p>*Os agrotóxicos atuais tendem a ter tempos de meia-vida curtos.</p>
<b>Degradação</b>	<p>*A decomposição do agrotóxico pode resultar em produtos que podem ter toxicidade menor, equivalente ou superior à do agrotóxico original.</p> <p>Por exemplo, na transformação do DDT geram compostos como o DDD e o DDE.</p>
<b>Destino ambiental</b>	<p>*O destino ou o comportamento ambiental de um agrotóxico é influenciado pela afinidade natural do produto químico com um dos 4 compartimentos ambientais: <i>biota</i>, <i>líquido</i> (solubilidade em águas superficiais e do solo), <i>estado sólido</i> (carbono orgânico particulado e matéria mineral) e <i>forma gasosa</i> (volatilização).</p> <p>*Este comportamento é conhecido como “particionamento” e compreende, basicamente, a medição da solubilidade; da Constante de Henry (H); do coeficiente de partição n-octanol/água (K<sub>OW</sub>) e do coeficiente de sorção do solo (K<sub>OC</sub>).</p> <p>Esses fatores são amplamente reconhecidos para agrotóxicos e são utilizados para a previsão do destino ambiental de cada agrotóxico.</p>

Fonte: Primel *et al*, 2005.

O objetivo da avaliação ambiental dos agrotóxicos é compreender os efeitos tóxicos e as formas de entrada e transporte de agentes químicos e físicos nos organismos vivos, bem como sua interação com o ambiente.

A avaliação ambiental de agrotóxicos no Brasil é realizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e compreende duas etapas: a avaliação do potencial de periculosidade ambiental (APPA ou PPA) e a avaliação do risco ambiental (ARA). O potencial de periculosidade ambiental (PPA) avalia os IA quanto à bioacumulação, persistência, transporte, toxicidade e potenciais mutagênicos, teratogênicos e carcinogênicos.

A adoção sistemática da ARA, desde 2011, para análise de novos produtos é o melhor método

para avaliar o impacto ambiental em relação ao PPA, uma vez que permite orientar, de forma mais realista, a utilização racional e segura dos agrotóxicos, com o objetivo de preservar a qualidade dos recursos naturais.

O risco é calculado estimando a exposição de um organismo não-alvo a um agente com ação ecotoxicológica. A avaliação de risco ambiental restringe-se aos IA ainda não registrados no Brasil. Os IA podem ser produtos técnicos obtidos diretamente das matérias-primas por meio de processos químicos, físicos ou biológicos. Estes produtos são destinados à obtenção de outras formulações ou de pré-misturas que contenham um nível definido de IA e impurezas. Possível interação entre diferentes IA não são avaliadas. Quando um produto formulado possuir mais de um IA, a avaliação de risco é feita com apenas um deles, podendo ser com a molécula nova ou com a que está em reavaliação (IBAMA, 2019).

A avaliação ambiental dos agrotóxicos estabelece a classificação em relação ao potencial de periculosidade ambiental. Para esta avaliação são realizados diversos estudos sobre os efeitos dos agrotóxicos em aves, peixes, mamíferos, abelhas, e outros organismos e microrganismos não-alvo. Além disso, são realizados estudos de solubilidade em água, biodegradação em solos e volatilidade, entre outros, para obter a classificação de potencial de risco ambiental.

A classificação desenvolvida pelo IBAMA para o PPA tem como objetivo avaliar e comparar ambientalmente tanto os produtos registrados sem avaliação ambiental antes da publicação da Lei dos Agrotóxicos, quanto os novos pedidos de avaliação e registro. A presente proposta utiliza uma Planilha para a classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA), dividida em três etapas sequenciais:

Na primeira etapa, após a análise e a validação de estudos físico-químicos e ecotoxicológicos pré-definidos, os resultados dos testes/estudos agudos são divididos em fatores de 1 a 4, conforme tabelas específicas para cada parâmetro.

Na segunda etapa, os resultados dos testes e estudos agudos, são agrupados em parâmetros como “transporte”, “persistência”, “bioconcentração”, “organismos do solo”, “organismos aquáticos”, “aves/abelhas”, “mamíferos” e, novamente, em fatores de 1 a 4, com uma classificação parcial, conforme as tabelas específicas para cada parâmetro.

Na terceira etapa, somam-se os valores das classificações parciais e obtém-se a classificação final do produto quanto ao PPA, conforme Quadro 7 (IBAMA, 1996).

**Quadro 7.** *Classificação dos agrotóxicos quanto ao Potencial de Periculosidade Ambiental*

<b>Classe</b>	<b>Potencial Periculosidade Ambiental (PPA)</b>
I	Altamente Perigoso
II	Muito Perigoso
III	Perigoso
IV	Pouco Perigoso

**Fonte:** da autora, Dados: IBAMA, 1996.

A importância de propriedades inerentes ao IA atribui maior peso para os parâmetros parciais de persistência e bioconcentração, de modo a atribuir uma classificação mais restritiva para substâncias que apresentem características semelhantes às dos Poluentes Orgânicos Persistentes – POP.

Para fins de ordenamento, são consideradas as classificações parciais obtidas para os resultados dos estudos de solubilidade em água, mobilidade e adsorção/dessorção em solos, todos com o mesmo peso na classificação do parâmetro.

Para o parâmetro de persistência, utilizam-se os resultados dos estudos de hidrólise e fotólise em água, com peso 1, e biodegradabilidade aeróbia em solo, com peso 2.

Quando solicitado, o estudo que determina o Fator de Bioconcentração (peso 2), vinculado ao estudo de *Log Kow*, compõe o parâmetro Bioconcentração. No caso da dispensa do estudo, que pode ocorrer devido à elevada solubilidade e baixa persistência em água do produto, o parâmetro é enquadrado na Classe IV – Pouco Bioconcentrável.

A classificação quanto ao PPA também permite que sejam inseridas frases de advertência nos rótulos e bulas de produtos com classificação mais restritiva (Classe I) para os parâmetros individuais, tais como toxicidade aos organismos não-alvo específica, bem como para o transporte, persistência e bioconcentração. A classificação final de um produto e a utilização de frases de advertência auxilia na racionalização do uso dos produtos e visam orientar a utilização segura (IBAMA, 2019). O Quadro 8 mostra as frases de advertência para os agrotóxicos classificados como Classe I.

**Quadro 8.** Frases de advertência para produtos Classe I - “Este produto é:”

Produto	Característica
ALTAMENTE MÓVEL	Apresenta alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir principalmente águas subterrâneas.
ALTAMENTE PERSISTENTE	No meio ambiente
ALTAMENTE BIOCONCENTRÁVEL	Em peixes
ALTAMENTE TÓXICO	Para organismos do solo
	Para organismos aquáticos (microcrustáceos e/ou algas e/ou peixes)
	Para aves
	Para abelhas, podendo atingir outros insetos benéficos. Não aplique o produto no período de maior visitação de abelhas
	Quando ingerido por mamíferos
	Para plantas que se deseje preservar. Não aplique o produto próximo a áreas de preservação ou onde possa ocorrer o escoamento superficial para essas áreas ou atingir corpos hídricos

Fonte: da Autora, 2023; Dados: IBAMA, 1996.

#### 4.1.2 Propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos

A partir das características físico-químicas dos agrotóxicos é possível determinar o seu meio de transporte e transformação mais comum no ambiente. Aqueles que têm pressões de vapor elevadas volatilizam para a atmosfera, enquanto outros, com elevada sorção às partículas do solo, serão removidos através da erosão. A persistência no ambiente é avaliada pelo tempo de meia-vida, que é o tempo necessário para a reduzirem 50% a concentração inicial (Hanson *et al.*, 2015).

Diversos fatores interferem na persistência, na mobilidade e na estabilidade dos agrotóxicos no meio ambiente. A persistência e a mobilidade estão diretamente relacionadas à matriz ambiental na qual o agrotóxico está inserido, bem como às características químicas e físicas do produto (Valarini *et al.*, 2003).

A pesquisa e a previsão do comportamento e destino ambiental de agrotóxicos têm sido objeto de diversos métodos, que vão desde o uso de parâmetros pré-estabelecidos até modelos

matemáticos. Parâmetros são valores para propriedades físico-químicas e de comportamento ambiental, tais como: a solubilidade em água, a pressão de vapor, o coeficientes de distribuição entre compartimentos e o tempo de meia-vida da degradação ou dissipação (Gomes *et al.*, 2021).

Os mecanismos de transporte demonstram como cada contaminante considerado relevante, devido às suas características físicas e químicas, bem como às condições ambientais existentes do local de risco, pode se propagar desde as fontes de emissão e poluir os compartimentos ambientais até o homem. A seguir apresentam-se alguns dos principais fatores químicos, com suas propriedades físico-químicas e como interferem no destino e transporte dos compostos através das interfaces e dos meios ambientais.

#### *Solubilidade em água ( $S_w$ )*

É a quantidade de um produto químico, por unidade de volume na fase aquosa, que está em equilíbrio com o composto puro (sólido, líquido ou gasoso), a temperatura e pressão específica (normalmente 25 °C e 1 atm.). É expressa em unidades de massa por volume, por exemplo: miligramas por litro (mg/L). Ambientalmente, quanto maior a solubilidade de um agrotóxico em água, menor a sua capacidade de volatilização e menor a sua capacidade de adsorção em relação ao solo e à matéria orgânica. Além disso, reduz a possibilidade de ser absorvido por microorganismos. Assim, um produto altamente solúvel apresenta grande potencial de lixiviação aos aquíferos ou escoamento dissolvido no escoamento superficial (Gebler; Spadotto, 2008).

A Tabela 2 apresenta os potenciais de transporte do agrotóxico quando dissolvido em água e adsorvido a sedimentos.

**Tabela 2.** Potencial de transporte do agrotóxico dissolvido em água e adsorvido ao sedimento

Transporte do agrotóxico	Alto	Baixo
Dissolvido em água	DT <sub>50</sub> no solo > 35 dias	Koc ≥ 100.000 mL g <sup>-1</sup>
	Koc < 100.000 mL g <sup>-1</sup>	Koc ≥ 100.000 mL g <sup>-1</sup> e DT <sub>50</sub> ≤ 1
	Sw ≥ 1 mg L <sup>-1</sup>	Sw < 0,5 mg L <sup>-1</sup> e DT <sub>50</sub> ≤ 35
Adsorvido a sedimentos	DT <sub>50</sub> no solo > 40 dias Koc ≥ 1000 mL g <sup>-1</sup>	DT <sub>50</sub> no solo ≤ 1 dia
		DT <sub>50</sub> no solo ≤ 2 dias Koc ≤ 500 mL g <sup>-1</sup>
		DT <sub>50</sub> no solo ≤ 4 dias; Koc ≤ 900 mL g <sup>-1</sup> ; Sw ≥ 0,5 mg L <sup>-1</sup>
	DT <sub>50</sub> no solo ≥ 40 dias; Koc ≥ 500 m.Lg <sup>-1</sup> ; Sw ≥ 0,5 mg L <sup>-1</sup>	DT <sub>50</sub> no solo ≤ 40 dias; Koc ≤ 500 mL g <sup>-1</sup> ; Sw ≥ 0,5 mg L <sup>-1</sup>
		DT <sub>50</sub> no solo ≤ 40 dias; Koc ≤ 900 mL g <sup>-1</sup> ; Sw ≥ 2 mg L <sup>-1</sup>

Fonte: Silva *et al.*, 2017.

**Notas:**

Sw = solubilidade em água; DT<sub>50</sub> = tempo de meia vida do pesticida no solo; Koc = constante de adsorção à matéria orgânica do solo.

*Pressão de vapor (PV)*

A pressão de vapor é o estado de vapor de um composto em equilíbrio com sua fase condensada, seja ela líquida ou sólida. Avaliadas quimicamente, a pressão de vapor e a solubilidade em água do produto são úteis para estimar a tendência relativa da partição ar-água e a constante de Henry (Mackay *et al.*, 1997). Essa função é crucial para indicar a taxa de volatilização do agrotóxico para a atmosfera. A pressão de vapor é geralmente expressa em Pascal (Pa), mm Hg ou atmosferas (atm.). A temperatura tem uma grande influência, podendo alterar de forma exponencial a pressão de vapor de uma substância. Em termos práticos, quanto maior o valor, mais volátil é o produto, enquanto valores baixos indicam uma tendência ao produto ser mais estável e solúvel em água. A Tabela 3 apresenta os graus de

volatilidade em função dos logaritmos das pressões de vapores.

**Tabela 3.** Moléculas classificadas por volatilidade e expressas em logaritmo da pressão de vapor

Volatilidade	Log da pressão de vapor
Muito alto	-3
Alto	-4 a -3
Moderado	-5 a -4
Baixo	-6 a -5
Muito baixo	-7 a -6
Extremamente baixo	-7

Fonte: Silva; Fay, 2004.

*Coefficientes de distribuição entre compartimentos solo, ar e água.*

A seguir, são apresentados alguns parâmetros utilizados para estimar a partição dos agrotóxicos entre ar, água e solo:

(1) a constante da Lei de Henry ( $K_H$ )

Descreve a partição entre ar e água de um gás ou composto volátil. A probabilidade de um agrotóxico se volatilizar é determinada tanto pela sua pressão de vapor quanto pela sua solubilidade. Esta função é expressa pela constante da Lei de Henry.

Um agrotóxico com alto  $K_H$  (M/atm.) é volátil e, portanto, tende principalmente a residir e ser transportado por via aérea. Dessa forma, esses compostos são raramente retidos por longos períodos em corpos d'água ou solo. No entanto, se atingirem as águas subterrâneas, estes podem permanecer por longos períodos, uma vez que há pouca exposição à atmosfera (USGS, 2006).

(2) Coeficiente de partição solo-água ( $K_d$ )

Corresponde a concentração do produto químico adsorvido em partícula dividida pela concentração total do produto químico na água. A desvantagem de utilizar o  $K_d$  para prever a lixiviação de agrotóxicos é que ele é altamente dependente das características do solo. A matéria orgânica é o constituinte mais relevante do solo na determinação da retenção de agrotóxicos.



(3) *Coefficiente de partição de carbono orgânico solo-água (Koc)*

O valor de Kd pode ser ajustado de acordo com a porcentagem de carbono orgânico presente no solo, resultando em outro coeficiente, Koc, que é relativamente independente do tipo de solo (Equação 1).

$$Koc = Kd / \% \text{ carbono orgânico no solo} \quad (1)$$

O coeficiente de partição de carbono orgânico do solo-água (Koc) descreve a partição entre a água e a matéria orgânica no solo ou sedimento. Esta propriedade refere-se à intensidade da adesão do agrotóxico às partículas orgânicas presentes no solo. Um número mais elevado indica uma maior tendência do agrotóxico se ligar à matéria orgânica e, conseqüentemente, significa uma menor tendência de lixiviar com a água do solo.

Diversos fatores de solo e agrotóxicos podem influenciar a absorção efetiva de um agrotóxico no solo. Por se associarem mais fortemente à matéria orgânica do que à água, os agrotóxicos com altos valores de Koc são denominados de hidrofóbicos. Os compostos com baixos valores de Koc (que tendem a favorecer a água em relação à matéria orgânica) são chamados de hidrofílicos.

Como resultado de sua afinidade pela matéria orgânica, os agrotóxicos hidrofóbicos mais persistentes tendem a se acumular não apenas em solos e sedimentos, mas também em peixes, pássaros, mamíferos e outras biotas. Os agrotóxicos com altos valores de Koc, em geral, não são muito solúveis em água e preferencialmente aderem ao solo. Isso significa que é improvável que os agrotóxicos desta classe sejam detectados como compostos dissolvidos, mas sim, em partículas de sedimento (Nowell *et al.*, 1999). O DDT, por exemplo, apresenta Koc de 100.000, aderindo fortemente ao solo. Já o *diazinon* tem Koc de 1.580 e pode ser facilmente transportado como uma substância livre dissolvida em água.

O *Departamento de Regulamentação de Agrotóxicos da Califórnia* estabeleceu que os agrotóxicos com Koc inferior a 1.900 têm o potencial de contaminar as águas subterrâneas.

Na Tabela 4 é possível verificar a classificação dos agrotóxicos quanto à força de sorção da matéria orgânica.

**Tabela 4.** Classificação dos agrotóxicos pela força de sorção da matéria orgânica (Koc)

Sorção	Força de sorção
Muito forte	> 5000
Forte	600 - 4900
Moderado	100 - 599
Fraco	0,5 - 99

Fonte: Gebler; Spadotto, 2004.

#### (4) Groundwater Ubiquity Score (GUS)

O índice GUS é calculado a partir dos valores de persistência (meia-vida) do composto no solo e do coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (Koc), sem levar em conta outras propriedades, como a solubilidade em água. O GUS pode ser usado para classificar os agrotóxicos pelo seu potencial de movimentação em direção às águas subterrâneas. A classificação do movimento do agrotóxico é derivada do GUS (Equação 2).

$$GUS = \log_{10}(\text{meia-vida}) \times [4 - \log_{10}(\text{Koc})] \quad (2)$$

A Tabela 5 apresenta os potenciais de movimentação de compostos em direção às águas subterrâneas em função de seus valores de GUS.

**Tabela 5.** Classificação do índice de GUS

Valor GUS	Potencial de movimento em direção às águas subterrâneas
Abaixo de 0	Extremamente baixo
0 – 1,8	Baixo
1,8 – 2,8	Moderado
Acima de 2,8	Alto

Fonte: Goss; Wauchope, 1992.

#### Persistência ( $T_{50}$ ):

A persistência geralmente é medida em termos de meia-vida ( $t_{50}$ ). Representa o tempo para que metade da substância seja degradada, seja em horas, dias, meses ou até mesmo anos. Indica a tendência de uma substância de permanecer no ambiente pela resistência à degradação química e biológica. A Convenção de Estocolmo e sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) estabeleceu que um contaminante fosse persistente em água se a sua

meia-vida exceder a dois meses; em sedimento e solo, se for superior a seis meses; e no ar for acima de dois dias (CETESB, 2023).

Os agrotóxicos são degradados, sobretudo, pela luz solar, micróbios e produtos químicos no solo. A combinação desses fatores determina a persistência, ou seja, quanto tempo o agrotóxico permanece no solo. Quanto maior a persistência de um agrotóxico, maior a probabilidade de lixiviar para as águas subterrâneas (Spadotto *et al.*, 2010).

A Tabela 6 mostra as classes de compostos químicos em função de seus tempos de meia-vida.

**Tabela 6.** Classes de meia-vida

Classe	Média $t_{1/2}$	Tempo Máximo (horas)
1	5 < 10 horas	-
2	17 (1 dia)	10-30
3	55 (2 dias)	30-100
4	170 (1 semana)	100-300
5	550 (3 semanas)	300-1000
6	1700 (2 meses)	1000-3000
7	5500 (8 meses)	3000-10000
8	17.000 (2 anos)	10.000-30.000
9	55.000 (6 anos)	30.000-100.000
10	> 11 anos	> 100.000

**Fonte:** Mackay *et al.*, 2006.

No Quadro 9 é apresentado um conjunto de fatores ambientais que contribuem para a degradação química dos agrotóxicos e afetam sua persistência nos compartimentos ambientais.

**Quadro 9.** Fatores ambientais que afetam a persistência dos agrotóxicos

Fatores Ambientais	Papel na degradação química
<b>Luz solar</b>	A radiação solar quebra certas ligações químicas, criando produtos de decomposição.
<b>Micróbios</b>	Bactérias e fungos podem decompor produtos químicos, criando produtos de biodegradação.
<b>Metabolismo Vegetal/Animal</b>	As plantas e animais são capazes de transformar produtos químicos em formas que se dissolvem de forma mais eficiente na água (metabólitos). Isso facilita a remoção do corpo.
<b>Água</b>	A água separa os produtos químicos para formar fragmentos que se dissolvem melhor na água (hidrólise). Normalmente, esse é um processo muito lento.
<b>Dissociação</b>	Os produtos químicos podem ser quebrados em frações menores (produtos de dissociação).
<b>Sorção</b>	Os produtos químicos que aderem firmemente às partículas podem tornar-se inacessíveis e/ou afastar-se com essas partículas.
<b>Bioacumulação</b>	Alguns produtos químicos podem ser absorvidos pelas plantas/animais através do solo, da água, dos alimentos e do ar. Quando a planta/animal é exposta novamente antes de ser possível remover o produto químico, pode ocorrer à acumulação.

**Fonte:** Valarini *et al.*, 2003.

A meia-vida pode ajudar a determinar se um agrotóxico tende ou não a se acumular no meio ambiente. As meias-vidas dos agrotóxicos podem ser agrupadas conforme a sua persistência. Os agrotóxicos com meias-vidas mais curtas tendem a acumular menos porque têm pouca probabilidade de persistir no ambiente. Em contraste, os agrotóxicos com meias-vidas mais prolongadas têm uma maior probabilidade de acumular após aplicações repetidas. Isso pode aumentar o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, bem como das plantas e animais próximos.

Contudo, os agrotóxicos com meias-vidas muito curtas podem ter as suas desvantagens. Por exemplo, pode haver necessidade de várias aplicações de agrotóxicos com tempos de meia-vida curtos para combater uma determinada praga. Isto pode aumentar o risco de exposição a pessoas, animais não-alvo e plantas (Scorza Júnior, 2010). O Quadro 10 apresenta a classificação dos agrotóxicos quanto à sua persistência no meio ambiente.

**Quadro 10.** Categoria dos agrotóxicos quanto à persistência

Classes	Categoria dos agrotóxicos	Tempo de meia-vida
1 e 2	Não persistentes	Degradam em menos de 30 dias
3	Moderadamente persistentes	Degradam entre 30 a 100 dias
4 a 10	Persistente	Leva mais de 100 dias para degradar

Fonte: da Autora, 2023. Dados: Mackay *et al.*, 2006.

Uma estimativa de “meia-vida típica do solo” é uma aproximação e pode variar significativamente, já que a persistência é afetada por variações no local, solo e clima.

O Quadro 11 apresenta um resumo com as principais características físico-químicas dos agrotóxicos.

**Quadro 11.** Resumo das propriedades físico-química dos agrotóxicos

Propriedade Físico-química	Valores Altos	Valores Baixos
Solubilidade em água (Sw)	Alta solubilidade em água	Baixa solubilidade em água
Pressão de Vapor (PV)	Maior tendência a evaporar	Menor tendência a evaporar
Constante da Lei de Henry ( $K_H$ )	Maior evaporação	Menor evaporação
Coefficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ )	Maior afinidade por solventes orgânicos	Menor afinidade por solventes orgânicos
Coefficiente de partição linear ( $K_d$ )	Tende a ser adsorvido pela fase sólida do solo.	Tende a permanecer na solução do solo.
Coefficiente de partição C(org)-água ( $K_{oc}$ )	Menor movimentação no solo, maior retenção pela matéria orgânica.	Maior movimentação no solo, menor retenção pela matéria orgânica.
Tempo de meia vida (T50)	Maior persistência dos resíduos no solo	Menor persistência dos resíduos no solo
Groundwater Ubiquity Score (GUS)	Maior probabilidade de contaminação do lençol freático	Menor probabilidade de contaminação do lençol freático
Coefficiente de dissociação eletrolítica (pKa)	Ácido: menor ionização Base: maior dissociação	Ácido: maior ionização Base: menor dissociação

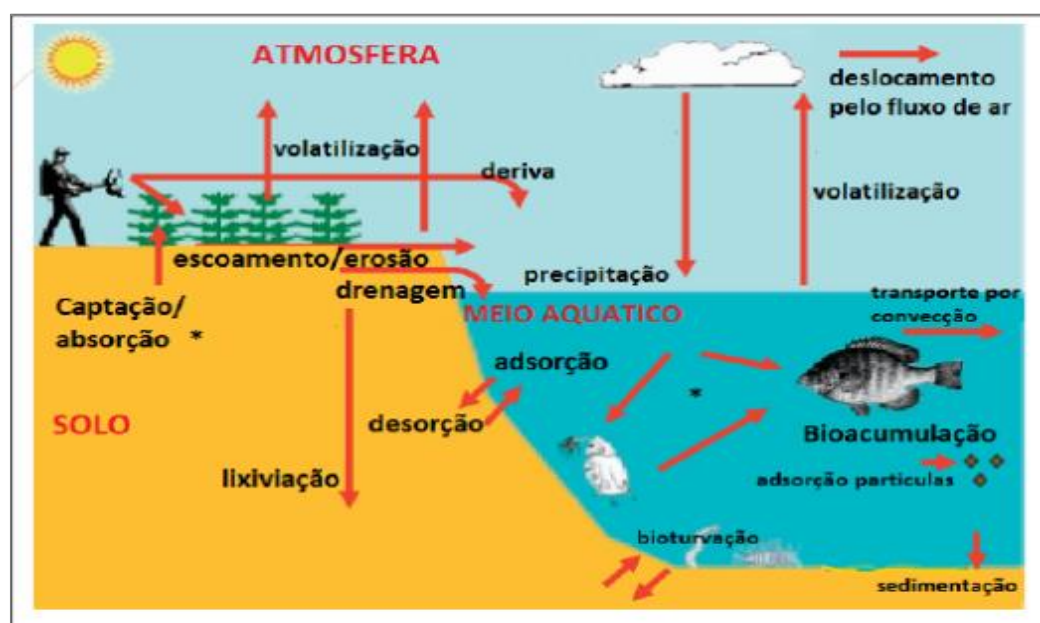
Fonte: Gonçalves, 2019.

### 4.1.3 Destino dos agrotóxicos no ambiente

Os impactos ambientais dos agrotóxicos variam e estão inter-relacionados. Diversos agrotóxicos têm efeitos perceptíveis variados nos ecossistemas aquáticos, o que dificulta uma compreensão mais ampla desse problema. Muitos desses efeitos são crônicos e, muitas vezes, não são detectados por observadores regulares, mas causam preocupação em toda a cadeia alimentar. Alguns dos efeitos fisiológicos são a insuficiência ou inibição reprodutiva; a perturbação do sistema endócrino (hormonal); a morte; a supressão do sistema imunológico; tumores, cânceres e lesões em animais e peixes; os efeitos teratogênicos; os efeitos intergeracionais; DNA; os danos celulares e ao DNA e morte (Hwang *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2016).

Na Figura 1, é possível observar o comportamento dos agrotóxicos no compartimento ambiental.

**Figura 1.** Uma visão esquemática do ciclo dos agrotóxicos em um ecossistema



Fonte: Adaptado de Pirsaeheb; Moradihamadani, 2020.

A bioacumulação é o processo pelo qual uma substância química atinge uma concentração maior nos tecidos de um organismo do que no ambiente (água, sedimento, solo e ar), principalmente através das vias respiratórias e da dieta. A magnitude da bioacumulação é influenciada pela insolubilidade da substância química em água, o que interfere na eliminação corporal do contaminante por meio da excreção ou biotransformação. Em algumas regiões, é

possível notar a presença de POPs (independentemente de haver produção ou uso local), o que significa que essas substâncias entram nas cadeias alimentares e se acumulam em peixes, aves, mamíferos marinhos e no próprio homem. Um exemplo disso é o caso das mulheres da tribo dos inuítes (esquimós), na Groenlândia, que apresentam uma concentração de PCBs (bifenilas policloradas) no leite materno, muitas vezes superior à das mulheres que vivem em países industrializados (CETESB, 2023).

Além dos processos fotoquímicos e químicos, existem dois mecanismos biológicos principais responsáveis pela degradação dos agrotóxicos. O primeiro são as reações microbiológicas na água e no solo, enquanto o segundo é o metabolismo dos agrotóxicos que os organismos consomem como parte da absorção de nutrientes. Apesar de ambos os mecanismos serem benéficos no que diz respeito à diminuição da toxicidade dos agrotóxicos, os processos metabólicos podem causar efeitos indesejáveis. A energia necessária para o metabolismo de agrotóxicos e outros organismos estranhos não é suficiente para outras funções básicas do corpo, e pode afetar gravemente a reprodução e o crescimento de organismos, como, por exemplo, peixes (Khan; Pathak, 2020).

**Biomagnificação:** O termo indica a taxa crescente de conversão de um produto químico na cadeia alimentar. Ao ascender na cadeia alimentar, um número menor de organismos vivos é consumido por organismos maiores. Dessa forma, o nível de agrotóxicos e outros produtos químicos aumentam gradualmente nos tecidos e outros órgãos. É possível observar um nível elevado em predadores superiores, incluindo humanos (Guan *et al.*, 2020).

**Bioconcentração:** É a transferência de uma substância química para um organismo através da interação com o meio ambiente que o cerca. É sabido que o tecido adiposo (“lipídios”) é o principal receptor de muitos inseticidas, o que significa que esses agrotóxicos se acumulam nas gorduras. Um exemplo é o DDT, composto “lipofílico” solúvel em gordura (Jia *et al.*, 2020).

Vários agrotóxicos degradam-se rapidamente no solo por mineralização, convertendo-os em compostos menores, como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ . A principal via de mineralização é geralmente o metabolismo microbiano, embora a fotólise e a hidrólise também contribuam. Dependendo de sua composição os agrotóxicos podem se degradar rapidamente, como o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D); ou lentamente, como o ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-

T); (Chen *et al.*, 2019).

O metabolismo dos agrotóxicos em animais é um processo vital que protege os organismos vivos dos efeitos tóxicos de produtos químicos estranhos á sua cadeia alimentar. No organismo, o produto químico é convertido em uma forma menos tóxica e excretado ou retido. Vários órgãos podem ser afetados, sobretudo o fígado, dependendo da substância química (Aloizou *et al.*, 2020).

O Quadro 12 mostra os diferentes fatores químicos e específicos do local que podem interferir no transporte de substâncias contaminantes dos agrotóxicos, nos compartimentos ambientais: lençol freático, solo, águas superficiais e ar.

**Quadro 12.** Fatores químicos e específicos do local que podem afetar o transporte de contaminantes

Mecanismo de Transporte	Fatores que afetam o transporte	
	Considerações específicas de produtos químicos	Considerações específicas do site
	<b>Lençol freático</b>	
Movimento interior e através dos aquíferos para as águas superficiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Densidade (mais ou menos densa que a água)</li> <li>*Solubilidade em água</li> <li>*K<sub>oc</sub> (coeficiente de partição de carbono orgânico)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Hidrogeologia do local</li> <li>*Precipitação</li> <li>*Taxa de infiltração</li> <li>*Porosidade</li> <li>* Condutividade hidráulica</li> <li>*Direção do fluxo das águas subterrâneas</li> <li>*Profundidade do aquífero</li> <li>*Zonas de recarga e descarga de águas subterrâneas /superficiais</li> <li>*Presença de outros compostos</li> <li>*Tipo de solo</li> <li>*Geoquímica de solos e aquíferos locais</li> <li>*Presença e condição dos poços (localização, profundidade e uso do poço; material de revestimento e construção; taxa de bombeamento)</li> <li>*Conduítes, esgotos</li> </ul>
Volatilização (para gases do solo, ar ambiente e ar interno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Solubilidade em água</li> <li>*Pressão de vapor</li> <li>*Constante da Lei de Henry</li> <li>*Difusividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Profundidade até o lençol freático</li> <li>*Tipo de solo e cobertura</li> <li>*Condições climatológicas</li> <li>*Concentrações de contaminantes</li> <li>*Porosidade e permeabilidade de solos e materiais geológicos rasos</li> </ul>



**Quadro 12.** Fatores químicos e específicos do local que podem afetar o transporte de contaminantes

Mecanismo de Transporte	Fatores que afetam o transporte	
	Considerações específicas de produtos químicos	Considerações específicas do site
Adsorção ao solo ou precipitação fora da solução	*Solubilidade em água *K <sub>ow</sub> (coeficiente de partição octanol/água) *K <sub>oc</sub>	*Presença de compostos naturais de carbono *Tipo de solo, temperatura e química *Presença de outros compostos
Absorção biológica	*SABE	*Uso de águas subterrâneas para irrigação e dessedentação animal
<b>Solo (superfície e subsuperfície), sedimentos, lodo, materiais residuais.</b>		
Escoamento (erosão do solo)	*Solubilidade em água *K <sub>oc</sub>	*Presença de plantas *Tipo de solo e química *Taxa de precipitação *Configuração das condições do terreno e da superfície
Lixiviação	*Solubilidade em água *K <sub>oc</sub>	*Tipo de solo *Porosidade e permeabilidade do solo *Química do solo (especialmente ácido/base) *Capacidade de troca de cations *Conteúdo de carbono orgânico
Volatilização	*Pressão de vapor *Constante da Lei de Henry	*Propriedades físicas do solo *Propriedades químicas do solo *Condições climatológicas
Absorção biológica	*Fator de bioconcentração *Biodisponibilidade	*Propriedades do solo *Concentração de contaminantes
<b>Água da superfície</b>		
Fluxo superficial (via drenagem natural ou canais artificiais)	*Solubilidade em água *K <sub>oc</sub>	*Precipitação (quantidade, frequência, duração) *Taxa de infiltração *Topografia (especialmente gradientes e buracos) *Cobertura vegetal e uso do solo *Tipo e química do solo/sedimento *Uso como áreas de entrada de abastecimento de água *Localização, largura e profundidade do canal; velocidade; fatores de diluição; direção do fluxo *Várzeas *Áreas de descarga de fontes pontuais e difusas.
Volatilização	*Solubilidade em água *Pressão de vapor *Constante da lei de Henry	*Condições climáticas *Área de superfície *Concentração de contaminantes.

**Quadro 12.** Fatores químicos e específicos do local que podem afetar o transporte de contaminantes

Mecanismo de Transporte	Fatores que afetam o transporte	
	Considerações específicas de produtos químicos	Considerações específicas do site
Conexão hidrológica entre águas superficiais e subterrâneas	*Densidade	*Recarga e descarga de águas subterrâneo-superficiais *Permeabilidade do leito do riacho *Tipo de solo e química *Geologia (especialmente condições cársticas)
Adsorção às partículas do solo e sedimentação (de partículas suspensas e precipitadas)	*Solubilidade em água *K <sub>OC</sub> *Densidade	*Tamanho e densidade das partículas *Geoquímica de solos/sedimentos *Conteúdo de carbono orgânico dos solos/sedimentos
Absorção biológica	*Fator de bioconcentração	*Concentração química *Presença de peixes, plantas e outros animais
<b>Ar</b>		
Aerossolização	* Solubilidade em água	* Produtos químicos armazenados sob pressão
Deposição atmosférica	* Tamanho da partícula	* Chuva/vento
Volatilização	* Constante da lei de Henry	* Presença de recipientes abertos, superfícies expostas ou equipamentos com vazamento.
Vento	* Não aplicável	* Velocidade, direção, estabilidade atmosférica.
<b>Biota</b>		
Bioacumulação	* Persistência/meia-vida	*Presença de plantas e animais *Taxa de consumo
Sorção de vapor	* Não aplicável	* Tipo de solo * Espécies de plantas
Absorção de raiz	* Não aplicável	* Profundidade contaminante * Umidade do solo * Espécies de plantas
<b>Materiais residuais (somente fatores específicos do local)</b>		
Escoamento de águas superficiais	* Não aplicável	* Tipo de resíduo * Integridade do contaminante * Integridade de contêineres, represamentos e outras estruturas. * Condições climáticas
Lixiviação		
Movimento das águas subterrâneas		
Volatilização		

Fonte: ATSDR, 2022.

#### **4.1.4 Taxa e método de aplicação dos agrotóxicos**

A identificação de um grande número de substâncias orgânicas e agrotóxicos que representam um risco significativo para a saúde pública foi realizada em diversos países. Foi verificado que a taxa de aplicação e/ou método empregado para a disposição do agrotóxico afetam seu impacto no ambiente.

##### *Taxa de aplicação (R)*

Para cada agrotóxico são necessárias quantidades diferentes para controlar ervas daninhas, insetos ou doenças alvo. Geralmente, a lixiviação é maior quando os agrotóxicos são aplicados a uma taxa mais elevada. Outro fator importante na aplicação são os adjuvantes que podem ser óleos para diminuir a evaporação e melhorar a penetração; surfactantes para quebrar a tensão superficial; umectantes para diminuir a evaporação; quelatizantes para reduzir a ionização; emulsificantes para homogeneizar às misturas; dispersantes para diminuir a decantação das misturas e adesivos para fixar as gotas no alvo (Contiero *et al.*, 2018).

##### *Método de aplicação (F)*

Os agrotóxicos podem ser incorporados ao solo através de misturas, aplicados na superfície do solo ou em plantas ou sementes em crescimento. Quando aplicados às plantas podem ser absorvidos ou decompostos pela luz solar, reduzindo o potencial de lixiviação. Ao serem aplicados ao solo também podem ser decompostos pela luz solar antes de atingirem a superfície. Dos três métodos de aplicação, a incorporação no solo propicia a lixiviação, uma vez que todo o produto químico é depositado sobre sua superfície (Marques *et al.*, 2019).

As características dos agrotóxicos estão relacionadas à sua absorção, que pode ser pré ou pós; à degradação com a luz; à lixiviação; ao tempo para absorção; e outros fatores.

Em relação ao clima, a temperatura e umidade favorecem a evaporação e absorção; já a seca pode causar estresse e o vento a deriva. É crucial observar as condições climáticas mais favoráveis para aplicar os defensivos agrícolas, tais como a temperatura menor de 30°C; a umidade maior de 65%; e o vento com velocidade inferior a 8 km/h (Adegas; Gazziero, 2020).

#### **4.1.5 Poluentes orgânicos persistentes (POPs)**

Os POPs são produtos químicos extremamente estáveis e persistentes no ambiente,

bioacumulam em organismos e cadeias alimentares, são tóxicos para humanos e animais. Apresentam efeitos crônicos, como a alteração dos sistemas reprodutivo, imunológico e endócrino, além de serem potencialmente cancerígenos. Os POPs podem ser transportados no meio ambiente por longas distâncias em relação aos pontos de aplicação.

Em 1997, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) elaborou uma lista de 12 POPs. Eles integram o Anexo A da Convenção de Estocolmo, que requer o banimento de sua produção e uso devido à sua alta persistência no ambiente, à sua capacidade de bioacumulação, à volatilidade e à toxicidade. Esta lista é composta por 9 agrotóxicos organoclorados sintéticos: *aldrin*, *clordano*, *DDT*, *dieldrin*, *endrin*, *heptacloro*, *hexaclorobenzeno*, *mirex* e *toxafeno*. Em 2009, o agrotóxico *lindano* e seus subprodutos, *alfa hexaclorociclohexano* e *beta-hexaclorociclohexano*, foram adicionados à lista de POPs (CETESB, 2023).

#### **4.2 MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS**

O primeiro e talvez o mais importante elemento de um programa de monitoramento de resíduos de agrotóxicos em água é o plano de amostragem. Ele deve estabelecer de forma clara e sistemática todos os procedimentos necessários para que a coleta seja a mais representativa possível (Caldas *et al.*, 2011).

As dificuldades em programar um monitoramento que traga dados relevantes sobre o impacto no ambiente hídrico, causado pelo uso de diversos agrotóxicos, também podem ser atribuídas às complexidades analíticas associadas à determinação de compostos químicos em diferentes matrizes ambientais (Silva *et al.*, 2021).

A diversidade de compostos que causam a contaminação é um desafio para desenvolver e manter um programa de monitoramento contínuo ao longo do tempo (Spycher *et al.*, 2018). Os períodos de aplicação de cada ingrediente ativo refletem na sazonalidade acentuada de sua presença nos mananciais (Leu *et al.*, 2010). Além disso, o seu transporte para as águas superficiais é, geralmente, provocado por eventos de chuva (Doppler *et al.*, 2012) ou manuseio incorreto em períodos secos (Kumar *et al.*, 2018). Essas ações podem causar picos de concentração extremamente variáveis e de curta duração (algumas horas) em bacias pequenas. Estes picos são difíceis de serem detectados, sobretudo em amostras simples e aleatórias (Schäfer *et al.*, 2012).

Para monitorar a presença de agrotóxicos em águas, é necessário elaborar um plano de amostragem adequado visando atender às metas da avaliação e identificar o grau de variabilidade periódica nas concentrações. Na programação da coleta de amostras, é fundamental estabelecer a época e a frequência, uma vez que é necessário considerar as características dos agrotóxicos (solubilidade e degradação), da bacia hidrográfica (solo, topografia e vegetação) e do clima (regime, intensidade e períodos de chuvas) (Filizola, 2006). Devido à variação temporal e à estratégia de amostragem empregada, os resultados do monitoramento podem ser significativamente diferentes. A identificação de tendências temporais nos dados coletados torna-se complexa devido à grande variedade de compostos relevantes e à necessidade de considerar os efeitos hidrológicos (Chow *et al.*, 2020).

O monitoramento deve ser feito com coleta periódica de amostras representativas da água e de análises em laboratórios acreditados (Possavatz, 2014). Uma vez identificado o princípio ativo, é possível compreender, através da sua estrutura química, a dinâmica do agrotóxico no ambiente, incluindo sua mobilidade e degradabilidade (Soares *et al.*, 2017).

#### **4.2.1 Métodos de coleta e análise de agrotóxicos**

A coleta e conservação de amostras de água constituem etapas fundamentais nos planos de monitoramento com análises químicas integradas. A estratégia de amostragem, em geral, depende dos objetivos do monitoramento, das propriedades físico-químicas dos analitos a investigar e das características da massa de água. Os materiais utilizados para coletar, transportar e preparar a amostra para análise de agrotóxicos devem ser inertes; para evitar que os analitos sejam adsorvidos nas paredes dos recipientes de vidro, polipropileno, teflon e aço inoxidável.

Os analitos hidrofóbicos tendem a adsorver nas paredes dos recipientes. Foi demonstrado, por exemplo, que o agrotóxico *captan* é facilmente adsorvido em superfícies de vidro, enquanto os agrotóxicos organofosforados (exceto o glifosato) são mais facilmente adsorvidos em polietileno (Jones *et al.*, 1995).

Por outro lado, agrotóxicos extremamente polares (por exemplo, *paraquate*, *diquate*, *glifosato*, *AMPA*, *glufosinato*, *fosetil-al*, entre outros) tendem a se ligar aos sítios ativos das superfícies de vidro. Para evitar esse fenômeno de adsorção, é recomendável utilizar recipientes e utensílios de laboratório de plástico para coleta e análises de amostras (Carretta

*et al.*, 2019; Anastassiades *et al.*, 2019).

A amostragem pode ser realizada em função (i) do tempo (temporal); (ii) da vazão; (iii) da profundidade do local a ser amostrado; (iv) da margem ou distância entre um ponto de amostragem e outro (espacial). As amostras podem ser simples, compostas ou integradas. A amostra simples (pontual ou instantânea) é aquela coletada em uma única tomada de amostra, num determinado instante, para a realização das determinações e ensaios. A amostra composta é constituída por uma série de amostras simples, coletadas durante um determinado período e misturadas para constituir uma única amostra homogeneizada. Este procedimento é adotado para possibilitar a redução da quantidade de amostras a serem analisadas, especialmente quando ocorre uma grande variação de vazão e/ou da composição do líquido. A amostragem integrada é aquela realizada com amostradores que permitem a coleta simultânea, ou em intervalos de tempo o mais próximo possível, de alíquotas que serão reunidas em uma única amostra. Para uma melhor representatividade do local amostrado, pode-se também realizar a amostragem com réplicas (duplicata ou triplicata), quando a amostra é coletada de modo sequencial e independente, em um determinado período de tempo ou espaço (CETESB, 2011).

Regra geral, após a amostragem a parte selecionada para a análise é encaminhada para o laboratório de análise – quase sempre longe do local onde a amostragem ocorreu. Assim, o transporte e armazenagem são de extrema importância para assegurar a integridade da amostra a ser analisada. Raramente a amostra já se encontra em uma forma apropriada para a análise, requerendo que as substâncias de interesse sejam removidas da matriz original. Esta etapa é usualmente denominada preparo da amostra (Lanças, 2008).

O Quadro 13 apresenta a diversidade de cuidados necessários para amostragem das diferentes moléculas de agrotóxicos.

**Quadro 13.** Informações sobre detalhes de amostragem, tempo de armazenamento e condições para alguns agrotóxicos que constam na Portaria n.º 888/2021

Agrotóxico	Ação do biocida	Detalhes da amostragem		Observações
		Volume de amostra	Recipiente de amostra	
<b>2,4'-DDD, 2,4'-DDE 2,4'-DDT</b>	Inseticida	n.a.	Recipiente âmbar de tereftalato de polietileno (PET)	Armazenado a -20°C
<b>2,4-D</b>	Herbicida	2 L	Recipiente de plástico	Filtrado através de um filtro de seringa Teflon PTFE de 0,2 µm e armazenado a 4°C em frascos cônicos âmbar
<b>4,4'-DDD, 4,4'-DDE</b>	Inseticida	1 L	Recipiente de âmbar	Armazenado a 4 °C
<b>4,4'-DDT</b>	Inseticida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4°C até 48 h
<b>Alacloro</b>	Herbicida	1 L	Recipiente de vidro âmbar	Armazenado a 4°C até 6 h
<b>Aldrin</b>	Inseticida	2.5 L	Recipiente de plástico	Armazenado a -20°C
<b>AMPA</b>	Herbicida	n. a.	Recipiente HDPE pré-limpos	Armazenado no escuro a 4°C até 6 dias
<b>Atrazina</b>	Herbicida	n. a.	Recipiente de vidro âmbar	Filtrado em filtros de nitrocelulose 0,45 µm e Armazenado a -20°C até 48h
<b>Atrazina, desetil-</b>	Herbicida	n. a.	Recipiente de polietileno	Armazenado a -20°C
<b>Carbendazim</b>	Fungicida	2 L	Recipiente de plástico	Filtrado através de filtros de fibra de vidro PTFE de 0,45 µm e processado
<b>Clorotalonil</b>	Fungicida	2 L	Recipiente de plástico	Filtrado através de filtros de fibra de vidro PTFE de 0,45 µm e processado
<b>Clorpirifos-Etil</b>	Inseticida	n. a.	Recipiente de polietileno	Armazenado a -20°C
<b>Clorpirifos-Metil</b>	Inseticida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Dieldrin</b>	Inseticida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4°C até 48h
<b>Diuron</b>	Herbicida	n. a.	Recipiente de vidro âmbar	Filtrado em filtros de nitrocelulose 0,45 µm e Armazenado a -20°C até 48h
<b>Endosulfan, alpha-</b>	Inseticida	1 L	Recipiente de vidro âmbar	Armazenado a 4°C até 6 h

**Quadro 13.** Informações sobre detalhes de amostragem, tempo de armazenamento e condições para alguns agrotóxicos que constam na Portaria n.º 888/2021

Agrotóxico	Ação do biocida	Detalhes da amostragem		Observações
		Volume de amostra	Recipiente de amostra	
<b>Endosulfan, beta-</b>	Inseticida	2.5 L	Recipiente de vidro âmbar forrado com papel alumínio	Extraído dentro de 48 h
<b>Endrin</b>	Inseticida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4 C até 48h
<b>Glifosato</b>	Herbicida	n .a.	Recipiente HDPE pré-limpo	Armazenado no escuro a 4°C até 6 dias
<b>HCH, alpha-, beta-, delta-, gamma-</b>	Inseticidas	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Armazenado a 4°C
<b>Imidacloprido</b>	Inseticida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Mancozebe</b>	Fungicida	n. a.	Transporte refrigerado	Filtrado através de filtros de seringa com membrana de 0,45 µm
<b>Metamidofós</b>	Inseticida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4°C até 48h
<b>Metolacoloro</b>	Herbicida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Metribuzim</b>	Herbicida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Parationa</b>	Inseticida acaricida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4 C até 48h
<b>Parationa-Metílica</b>	Inseticida	1 L	Recipientes de vidro âmbar com tampa de Teflon	Armazenado a 4 C até 48 h
<b>Pendimetalina</b>	Herbicida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Propiconazole</b>	Fungicida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.
<b>Simazina</b>	Herbicida	n. a.	Recipiente de vidro âmbar	Filtrado em filtros de nitrocelulose 0,45 µm e Armazenado a -20°C até 48h



**Quadro 13.** Informações sobre detalhes de amostragem, tempo de armazenamento e condições para alguns agrotóxicos que constam na Portaria n.º 888/2021

Agrotóxico	Ação do biocida	Detalhes da amostragem		Observações
		Volume de amostra	Recipiente de amostra	
Tebuconazol	Fungicida	n. a.	Recipiente de vidro âmbar	Filtrado em filtros de nitrocelulose 0,45 µm e Armazenado a -20°C até 48h
Trifluralina	Herbicida	Preenchido até a borda	Recipiente de vidro âmbar	Não há especificação para temperatura e tempo de armazenamento.

Fonte: Campanale *et al.*, 2021.

Nota: n.a. = não há especificação de volume.

#### 4.2.2 Métodos de extração, detecção e tratamento de agrotóxicos.

Na análise de traços de agrotóxicos que podem estar presentes na água devido a sua baixa concentração é necessário empregar uma série de etapas incluindo: extração do analito da amostra, sua purificação para eliminação de potenciais contaminantes e interferentes, os quais podem comprometer o resultado analítico, separação empregando técnicas de separação de alta resolução (HRGC, HPLC, CE e outros) e detecção por técnicas ainda mais complexas como, por exemplo, a espectrometria de massas. O procedimento pré-analítico inicia-se já no delineamento do planejamento do procedimento a ser utilizado, prevendo todas as etapas pelas quais a amostra deverá passar (Lanças, 2008).

##### *Extração dos analitos*

A extração dos analitos da amostra tem como principal objetivo isolar os componentes de interesse de outros compostos presentes na matriz os quais poderão interferir posteriormente na determinação analítica, em muitos casos, não é necessária uma etapa de extração para que o analito possa ser avaliado por uma técnica instrumental (Rutkowska *et al.*, 2019).

Após isolar os compostos de interesse pode ser necessária, de acordo com a complexidade da amostra, uma etapa complementar de limpeza (*clean up*). Essa limpeza é necessária devido a grande quantidade de compostos que podem estar presentes nestas matrizes, e a técnica de extração não seria suficiente para gerar um extrato isento de contaminantes. Por vezes nesta etapa altera-se o solvente original de extração para não haver comprometimento posterior com detectores de cromatografia, por exemplo, ou efetua-se a concentração dos compostos de

interesse pela redução do volume de solvente. Assim, esta etapa complementa a anterior visando à preparação da amostra o mais isento possível de compostos químicos os quais possam interferir na técnica instrumental de análise (Lanças, 2008).

Os métodos para extração, detecção e os métodos de extração e detecção em diferentes matrizes estão descritos nos Quadros 14, 15, 16. O Quadro 14 apresenta os métodos de extração mais utilizados para a análise de agrotóxicos, bem como suas vantagens e desvantagens. Esses métodos são: extração líquido-líquido (LLE); extração em fase sólida (SPE); microextração em fase sólida (SPME); microextração dispersiva líquido-líquido (DLLME); microextração de gota única (SDME); microextração de fibra oca em fase líquida (HF-LPME); microextração de fluxo contínuo-extração (CFME) e o método *Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe* (QuEChERS). Este último é uma técnica de extração simples e direta que envolve o particionamento inicial, seguido da limpeza do extrato através da extração dispersiva em fase sólida (d-SPE). Originalmente, a abordagem QuEChERS foi criada para recuperar resíduos de agrotóxicos de frutas e vegetais, mas agora é usada no isolamento de analitos de diferentes matrizes (Alsharif *et al.*, 2017; Farajzadeh *et al.*, 2019; Mohebbi *et al.*, 2020; Perestrelo *et al.*, 2019; Samsidar *et al.*, 2018).

**Quadro 14. Métodos de extração de agrotóxicos**

Técnica de Extração	Vantagens	Desvantagens
<b>LLE</b> Extração Líquido - líquido:	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Simples e confiável, adaptável a diferentes tipos de amostras e análises.</li> <li>*Compatível com a maioria das ferramentas analíticas.</li> <li>*Método barato;</li> <li>*Pode ser realizado em qualquer laboratório comum;</li> <li>*Possibilidade de analisar toda a água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Grande utilização de solvente orgânico; desenvolvimento de vapores tóxicos;</li> <li>*Possível formação de emulsões;</li> <li>*Fracas seletividade;</li> <li>*Trabalho intenso e longos tempos de extração.</li> </ul>
<b>SPE</b> Extração em Fase Sólida	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Menos demorado que o LLE;</li> <li>Quantidade limitada de solventes necessários;</li> <li>*Aumento da eficiência de extração; boas recuperações e repetibilidade;</li> <li>*SPE automatizado possibilita a padronização da extração, maior rendimento e reprodutibilidade do ensaio, e redução do custo geral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Requer pré-tratamento e necessita de mais solvente orgânico tóxico;</li> <li>Risco de contaminação da amostra;</li> <li>*Trabalho monótono;</li> <li>*Alto custo dos cartuchos;</li> <li>*Possível transferência de amostra.</li> </ul>
<b>SPME</b> Microextração em Fase Sólida:	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Sem solventes, simples e fácil de usar, rápido e portátil.</li> <li>*Pequeno volume de amostra sem solventes;</li> <li>*Altas sensibilidades, baixas perdas de analitos;</li> <li>*Aplicável a amostras sólidas, gasosas e líquidas;</li> <li>*Não requer pré-tratamento da amostra;</li> <li>*Automação e miniaturização; *Preparação reduzida da amostra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Dificuldade em transportar amostras</li> <li>*Bastante frágil para fibra e vida útil limitada</li> <li>*Método caro (o uso de fibra é limitado);</li> <li>*Instabilidade e fragilidade das fibras.</li> <li>*Efeito matricial.</li> </ul>
<b>QuEChERS</b> Rápido, Fácil, Barato, Robusto, Eficaz e Seguro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Uma ampla gama de análises (incluindo agrotóxicos de alta polaridade, ácidos e básicos), requer baixo volume de solventes e vidrarias, e dispositivos simples, flexíveis e eficientes.</li> <li>*Método rápido, flexível e eficaz;</li> <li>*Isento de solventes clorados; instrumentação simples;</li> <li>*Aplicável a uma ampla gama de agrotóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Procedimento não automatizado;</li> <li>*Requer muita atenção do operador;</li> <li>*Baixo fator de enriquecimento.</li> </ul>
<b>SBSE</b> Extração Sortiva de Barras de Agitação	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Até 1000 vezes mais sensível que SPME;</li> <li>*LOD baixo;</li> <li>* Agitação, absorção e concentração da amostra em fase única;</li> <li>* Possível automação;</li> <li>* Maior capacidade de absorção e recuperação em relação ao SPME.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* A dessorção leva algum tempo;</li> <li>*Para dessorção de solventes não é considerada uma técnica ecológica;</li> <li>* São necessárias atualizações instrumentais;</li> <li>* Custos elevados em comparação com outras técnicas.</li> </ul>

**Quadro 14. Métodos de extração de agrotóxicos**

<b>Técnica de Extração</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>ICECLES</b> Concentração de gelo associada ao agitador extrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Alta eficiência de extração para múltiplos compostos;</li> <li>* Minimiza volumes de amostra;</li> <li>* Requer pequena quantidade de solvente;</li> <li>* Permite a extração simultânea de analitos polares, moderadamente polares e apolares;</li> <li>* Possível automação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* É necessário um longo tempo de extração (3,5–4 h) para a extração completa;</li> <li>* Custos elevados em comparação com outras técnicas.</li> </ul>
<b>DLLME</b> Microextração Dispersiva Líquido-Líquido	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Simplicidade;</li> <li>* volume mínimo de solventes tóxicos;</li> <li>* extração em alta velocidade e baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Baixa eficiência de extração</li> </ul>
<b>SDE</b> Microextração de Gota Única	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Rápido e baixo custo,</li> <li>* fácil de operar,</li> <li>* favorável ao meio ambiente, pois requer poucos solventes orgânicos e renovação da fase de extração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Menor estabilidade da gota suspensa; e</li> <li>* tempo de extração bastante longo</li> </ul>
<b>HF-LPME</b> Microextração de Fibra Oca em Fase Líquida	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Baixo custo,</li> <li>* redução significativa nos volumes do receptor nas fases da amostra,</li> <li>* altos fatores de fertilização,</li> <li>* excelente capacidade de limpeza da amostra e reprodução</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Dificuldade de automação total em uma configuração de alto rendimento.</li> <li>* Contaminação da solução da amostra, especialmente devido ao agitador magnético contaminado.</li> </ul>
<b>CFME</b> Microextração de Fluxo Contínuo	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Menor consumo de solventes,</li> <li>* uso de ferramentas baratas e extração rápida, simples e eficiente de agrotóxicos em matrizes complexas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Volume limitado de micro gota</li> <li>* Dificuldade ao inserir a gota na câmara de vidro de extração</li> </ul>

**Fonte:** Hassaan; Nemr, 2020.

O Quadro 15 descreve os métodos de detecção conhecidos e os tipos de detectores utilizados para análise de agrotóxicos em diferentes materiais contaminados, e quais as vantagens e desvantagens destas técnicas, desde as mais antigas até as modernas. O Quadro 16 relata os métodos de extração e detecção de agrotóxicos utilizados em diferentes tipos de água (Andreu; Picó, 2004; Asiri *et al.*, 2020; Moura *et al.*, 2020).

*Quadro 15. Métodos de detecção de agrotóxicos*

Métodos de detecção	Vantagens	Desvantagens
<b>GC-ECD</b>	*Alta sensibilidade e boa seletividade com detectores seletivos de elemento *Alto poder de resolução e capacidade de resolver analitos individuais	*Alto consumo de solventes caros *Inadequado para compostos polares, termolábeis e de baixa volatilidade. *gases de alta pureza
<b>GC-MS e GC-MS/MS</b>	*Alta sensibilidade e seletividade *Alto poder de resolução e capacidade de resolver analitos individuais *Existência de bibliotecas de espectro de massa para triagem de amostras desconhecidas	*Alto consumo de caro *Inadequado para compostos polares, termolábeis e de baixa volatilidade. *gases de alta pureza
<b>LC-UV</b>	*As composições da fase móvel e estacionária são variáveis *Aplicação a praticamente qualquer soluto orgânico, independentemente da sua volatilidade ou estabilidade térmica. *Baixo preço, simplicidade, robustez e grande faixa linear.	*Pode ser automatizado e miniaturizado (tecnologia microchip) *Grandes quantidades de solvente orgânico caro e tóxico usado como fase móvel *Eficiência e seletividade de separação insuficiente.
<b>LC-Fluorescência</b>	*Alta eficiência de separação	*Poucos compostos são fluorescentes
<b>LCMS-LCMS/MS</b>	*As composições da fase móvel e estacionária são variáveis *Aplicação a praticamente qualquer soluto orgânico, independentemente da sua volatilidade ou estabilidade térmica. *Pode ser automatizado e miniaturizado (tecnologia microchip)	*Alto consumo de solventes caros *Fortemente afetado por interferências de matriz (pode-se esperar aumento de íons e, na maioria das vezes, supressão de íons). *Falta de bibliotecas espectrais *Identificação difícil usando interfaces que fornecem ionização suave
<p><b>Outras técnicas:</b>            *GC/FID- GC/ECD- GC/FPD- GC/NPD- GC-<math>\mu</math>ECD; *Biossensores ópticos; *Eletroforese capilar (CE);            *Biossensor piezoelétrico; *Cromatografia capilar eletrocínica micelar (MEKC)            *HPLC/MS- HPLC/MS/MS – HPLC/DAD – HPLC/UV; *Ensaio imunoenzimático (ELISA)            *Biossensores eletroquímicos; *Biossensor de polímero impresso molecular (MIP)</p>		

Fonte: Hassaan; Nemr, 2020.

**Notas:**

**GC-ECD:** Cromatografia Gasosa com detectores de captura de elétrons

**GC-MS:** Cromatografia Gasosa acoplada à espectrometria de massas

**LC-UV:** Cromatografia Líquida com detecção ultravioleta

**GC-MS/MS:** Cromatografia Gasosa acoplada à espectrometria de massas com triplo quadrupolo

**LC-Fluorescência:** Cromatografia líquida com detector de fluorescência

**LC-MS:** Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas

**LC-MS/MS:** Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas com triplo quadrupolo

**Quadro 16. Métodos de extração e detecção de agrotóxicos em diferentes matrizes**

Agrotóxicos	Origem da água	Técnicas de extração	Método de detecção
Agrotóxicos multiclasse	Poço	LLE	GC/FID
Agrotóxicos multiclasse	Rio	LLE	GC/FID
Organofosforado	Torneira, rio, lago.	SPE	GC/ $\mu$ ECD
Organoclorados	Água potável e ambiental	SPE	GC-QqQ/MS
Carbamatos	Lago, rio, poço.	SPE	MS/MS
Organofosforado	Torneira	SPE	HPLC/UV
Organoclorados	Rio, superficial, torneira.	SPME	GC/MS
Organofosforado	Rio, residuais agrícolas.	SPME	GC-CID/MS
Organofosforado	Torneira, chuva, rio.	DLLME	HPLC
Fungicidas	Lago, rio.	SDME	HPLC
Clorotalonil, Cresoxim-metil famoxadona.	Residuais, estação de tratamento.	SDME	HPLC

Fonte: Hassaan; Nemr, 2020.

**Notas:**

**GC/FID:** Cromatografia gasosa com detector de ionização de chama

**GC/ $\mu$ ECD:** Cromatografia gasosa com detecção por captura de microelétrons

**GC-QqQ/MS:** Cromatografia gasosa ultrasensível, acoplado à espectrometria de massa tandem.

**UPLC-MS/MS:** Cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial

**HPLC/UV:** Cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por Ultravioleta

**GC-MS:** Cromatografia Gasosa - Espectroscopia de Massa

**GC-CID/MS:** Cromatografia Gasosa-/Espectrometria de Massa

**HPLC:** Cromatografia líquida de Alta Pressão

**LLE:** Extração Líquido-Líquido;

**SPE:** Extração em Fase Sólida;

**SPME:** Microextração em Fase Sólida;

**DLLME:** Microextração Líquida Dispersiva;

**SDME:** Microextração de Gota Única

### 4.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Os agrotóxicos na água são degradados por meio da fotólise por radiação ultravioleta (UV), degradação microbiana, hidrólise ou oxidação química. Técnicas como adsorção em carvão ativado, oxidação com ozônio, radicais hidroxilas e radiação ultravioleta, podem ser usadas em instalações de água potável para reduzir ativamente as concentrações de agrotóxicos antes que sejam consumidos ou descartados no meio ambiente (Fu *et al.*, 2020).

As concentrações de agrotóxicos na água potável estão relacionadas à sua presença na água bruta e aos métodos de tratamento utilizados na estação de tratamento. O processo mais empregado na maioria das cidades brasileiras é o convencional, que envolve coagulação, floculação, sedimentação, filtração em areia e desinfecção com cloro (Fernandes Neto; Sarcinelli, 2009).

A revisão da literatura realizada pela EPA mostra que o tratamento convencional (como coagulação/floculação, sedimentação e filtração) tem pouco ou nenhum efeito na remoção de agrotóxicos móveis (hidrófilos ou lipofóbicos). Contudo, a desinfecção e o abrandamento podem facilitar a alteração da estrutura química do agrotóxico. O tipo de desinfetante e o tempo de contato com o agrotóxico são fatores que interferem na transformação do ingrediente ativo. Muitas vezes há pouca informação sobre a composição química dos produtos de transformação formados como consequência da desinfecção. No entanto, estudos demonstram que a desinfecção pode produzir subprodutos tóxicos de alguns agrotóxicos (por exemplo, oxons de organofosforados que são altamente tóxicos). O impacto do abrandamento na transformação química está diretamente relacionado ao potencial de hidrólise catalisada alcalina do agrotóxico (EPA, 2011).

O Quadro 17 mostra os processos mais utilizados no tratamento de água para consumo humano.

**Quadro 17. Processos mais utilizados para tratamento de água**

Processo	Descrição/Finalidade
<b>Tratamento Convencional</b>	Um sistema típico para tratamento de águas superficiais geralmente consiste em pré-decantação, coagulação/floculação (remoção de colóides), filtração granular (remoção de colóides), controle de corrosão (ajuste de pH ou adição de inibidores de corrosão) e desinfecção (JMM, 1985; Faust; Aly, 1999; USEPA, 1989).
<b>Desinfecção/Oxidação Química</b>	A desinfecção também tem o potencial de remover ou transformar alguns agrotóxicos através da oxidação.
<b>Adsorção em Carvão Ativado</b>	A capacidade de adsorção do carvão ativado para remover agrotóxicos é afetada pela concentração, temperatura, pH, competição de outros contaminantes ou matéria orgânica natural, pré-carga orgânica, tempo de contato, modo de tratamento e propriedades físico-químicas do contaminante. A eficácia da coluna GAC também é uma função da taxa de carregamento de água e do tempo de contato de leito vazio, enquanto a eficácia do PAC também é uma função da dosagem de carbono. Geralmente, o carvão ativado tem afinidade por contaminantes hidrofóbicos (baixa solubilidade), embora outros parâmetros como densidade e peso molecular possam ser importantes.
<b>Coagulação</b>	Adição de coagulante, com o intuito de desestabilizar impurezas presentes na água e facilitar o aumento do tamanho das mesmas na etapa de floculação. Os coagulantes comumente utilizados são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o hidróxi-cloreto de alumínio.
<b>Filtração em membranas</b>	Remove contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo material dissolvido, dependendo do tipo de membrana, micro, ultra, nano ou osmose reversa.
<b>Oxidação</b>	Oxidação química envolve a transferência de elétrons entre compostos, reduzindo a concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes. Entre os oxidantes utilizados estão o ozônio, cloro, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio.
<b>Dessorção por ar (Air stripping)</b>	A oxidação por aeração introduz ar na água, por meio de aeradores, para remoção de compostos voláteis e oxidáveis, bem como gases indesejáveis.

Fonte: Elaborado a partir de Heller *et al.*, 2006.

#### 4.3.1 Eficiência de processos de tratamento na remoção de agrotóxicos

A análise dos efeitos dos processos de tratamento de água nos níveis de concentração de agrotóxicos resultantes na água tratada requer a compreensão da eficiência na remoção de diversos agrotóxicos e processos de tratamento (EPA, 2020).

Ao avaliar a eficiência das tecnologias convencionais para remover agrotóxicos, os testes para *atrazina* mostraram uma remoção média baixa (até 50%). Diversas pesquisas empregando



processos de oxidação avançados obtiveram resultados satisfatórios para a *atrazina*, no entanto, são experimentos sem a verificação das condições práticas. Em termos de eficiência, 80% da *atrazina* foi degradada quando o tratamento convencional com sulfato de alumínio e magnafloc LT 22 foi seguido de ozonização. Em comparação com outros agrotóxicos, como o *acefato* e o *metamidofós*, o dióxido de titânio foi o tratamento mais eficaz, com uma remoção de 87,7% a 100% em testes realizados em laboratório. O tratamento com Fenton anódico e uma combinação de Fenton e ultrassom foi eficiente na remoção de carbofurano (99 e 100%, respectivamente). O tratamento com membrana anódica Fenton foi à opção mais adequada em termos de tempo e condições testadas, mas a aplicação em larga escala requer uma análise mais aprofundada. Em geral, os processos de oxidação avançados são boas tecnologias complementares. No entanto, é importante compreender o destino e a toxicidade dos subprodutos da transformação, bem como a sua aplicabilidade (sustentabilidade econômica e ambiental) em larga escala (Brovini *et al.*, 2023).

Estudo realizado no rio Ohio, Estados Unidos (Miltner *et al.*, 1989 apud USEPA, 2001), relacionando o potencial de remoção dos agrotóxicos *atrazina*, *simazina*, *metribuzina*, *alacoloro*, *metolacoloro*, *linuron* e *carbofurano* demonstrou que o tratamento convencional não foi eficaz em relação a esses compostos. Observou-se que a adição de sulfato de alumínio, em teste dos jarros, não promoveu a remoção dos agrotóxicos, com exceção do *alacoloro* e do *metolacoloro*, mas apresentaram eficiências baixas, de 4% e 11%, respectivamente. Durante o abrandamento, foi constatada apenas a remoção do carbofurano em 100%.

Por sua vez, a filtração em carvão ativado em pó ou granular, bem como a osmose reversa, tem demonstrado eficiência na remoção de substâncias químicas, entre elas alguns agrotóxicos. Com relação ao arraste por ar, atinge apenas os agrotóxicos voláteis ou com elevado valor da constante da lei de Henry. O carvão ativado em pó é o mais usado, pela flexibilidade de ser implantado em sistemas convencionais de tratamento de água (Menezes, 2006).

A Organização Mundial da Saúde descreve em suas guias para qualidade da água potável, o potencial dos processos de tratamento de água para a remoção dos agrotóxicos, conforme mostrado na Tabela 7 (WHO, 2022). Destaca-se a adsorção em carvão ativado que apresenta eficiência acima de 80%, para todos os ingredientes ativos.

**Tabela 7. Eficiência de remoção de agrotóxicos conforme processo de tratamento**

Agrotóxico	Cloração	Dessorção por ar	Coagulação	Carvão ativado	Ozonização	Oxidação avançada	Membranas	Tratamento biológico
Alacloro				+++ <0.001	++	+++ <0.001	+++ <0.001	
Aldicarbe				+++ <0.001	+++ <0.001		+++ <0.001	
Aldrin/dieldrin			+	+++ <0.00002	++ <0.00002		+++ <0.00002	
Atrazina e seus metabolitos			+	+++ <0.0001	Sim <sup>d</sup>	+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ <sup>e</sup> <0.0001
Carbofurano	+			+++ <0.001	Sim <sup>d</sup>		+++ <0.001	
Clordano				+++ <0.0001	++ <0.0001		Sim <sup>d</sup>	
Clorotoluron				+++ <0.0001	+++ <0.0001			
Cianazina				+++ <0.0001	+		+++ <0.0001	
2,4-D				+++ <0.001	+++ <0.001			
1,2-Dibromo-3-chloropropane		++ <0.001		+++ <0.0001				
1,2-Dibromoethane		+++ <0.0001		+++ <0.0001				
1,2-Dichloropropane		Sim		+++ <0.001	+			
Dimetoato	+++ <0.001			++	++			
Endrin			+	+++ <0.0002			Sim <sup>d</sup>	
Hidroxi Atrazina						+++ <0.001	Sim <sup>d</sup>	
Isoproturon	++			+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ <0.0001	+
Lindano				+++ <0.0001	++		Sim <sup>d</sup>	++
Mecoprop				+++ <0.0001	+++ <0.0001			+++ <0.0001
Metoxychlor			++	+++ <0.0001	+++ <0.0001		Sim <sup>d</sup>	
Metolaclo				+++ <0.0001	++		Sim <sup>d</sup>	
Simazina				+++ <0.0001	++	+++ <0.0001	+++ <0.0001	
2, 4,5-T				+++ <0.0001			Sim <sup>d</sup>	
Terbutylazine				+++ <0.0001	++			
Trifluralina				+++ <0.0001			+++ <sup>f</sup> <0.0001	
DDT e metabólitos			+	+++ <0.0001	+	+++ <sup>c</sup> <0.0001	+++ <sup>c</sup> <0.0001	

Fonte: WHO, 2022

**Notas:**

**a-:**

+ Remoção limitada

++ Aproximadamente 50% ou mais de remoção

+++ Aproximadamente 80% ou mais de remoção

**b-** A tabela inclui apenas os produtos químicos para os quais estão disponíveis alguns dados de tratamento.

Uma entrada em branco na tabela indica que o processo é completamente ineficaz ou que não existem dados sobre a eficácia do processo.

Para os processos mais eficazes, a tabela indica a concentração do produto químico (em mg/l) que deve ser alcançada.

**c-** O tratamento biológico inclui filtração lenta de areia, filtração em bancada de areia e desnitrificação biológica (para remoção de nitrato).

**d-** Sim, significa conhecido ou provavelmente eficaz, mas o desempenho não foi quantificado.

**e-** Para filtragem de bancos; a filtração lenta da areia não é eficaz.

**f-** Poderiam ser eficazes, mas outras técnicas teriam maior probabilidade de serem aplicadas devido ao custo.

A Tabela 8 traz informações de diversos estudos experimentais realizados para verificar a eficiência na remoção de agrotóxicos por diferentes métodos de tratamento de água. São apresentados uma série de métodos que foram usados para a remoção de agrotóxicos em laboratórios e em escala real, como adsorção, biofiltração, cloração e processos de oxidação avançados. Os processos de adsorção demonstram que a remoção de diferentes tipos de agrotóxicos de amostras de água pode ser melhorada até 100% conforme os tipos de materiais utilizados. As porcentagens de remoção podem estar relacionadas às características químicas e físicas dos agrotóxicos e adsorventes usados. De maneira geral, a adsorção de GAC tem sido relatada como um dos métodos eficazes e econômicos para remover agrotóxicos de amostras de água. Os percentuais de remoção parecem estar de acordo com os relatados por Saleh *et al.*, 2020 e Mazhar *et al.*, 2020.

**Tabela 8.** Estudos experimentais com diferentes métodos para remoção de agrotóxicos de fontes hídricas

Agrotóxicos	Fonte de água	Processo	Materiais	Eficiência de Remoção (%)
16 agrotóxicos	ETA (completa)	Adsorção	GAC	85,7–100
OCPs	Amostra sintética	Adsorção	Resíduos de Ferro transformado	85–100
11 agrotóxicos	Água de rio	Adsorção	Carvão granulado Bióxido E33	10
12 Agrotóxicos	Efluente secundário	Adsorção	GAC	82
2,6-diclorobenzamida	Águas subterrâneas	Biofiltração Aminobacter sp/	Membrana	95,8
Tebuconazol, Azoxistrobina, Dimetomorfo.	Amostra sintética	Cloração	ClO <sub>2</sub>	60,7
Malation	Amostra sintética	Adsorção	MWCNTs	100
Malation	Escoamento agrícola	Adsorção	GAC	82,90
Agrotóxicos	ETA convencional	Adsorção	GAC	85 – 100
Clorpirifós	Amostra sintética	AOPs	Zinco zero valente (nZVZn)	55
Clorpirifós	Amostra sintética	AOPs	nZVZn/PMS	99,5
Aldicarbe, Alaclor, Cloroneb, Metiocarbe, Atrazina.	Amostras sintéticas	AOPs	VUV/UV	>90

Fonte: Kalantary *et al.*, 2022.

**Notas:**

**AOPs:** Processos de Oxidação Avançado

**GAC:** Carvão ativado granular;

**OCPs:** Pesticidas Organoclorados (*lindano, heptacloro, aldrin, endosulfan, chlordane, dieldrin, endrin, DDT, methoxychlor, 1,3-dichloropropene*);

**MWCNTs:** Dispersão e aerossolização de nanotubos de carbono de paredes múltiplas.

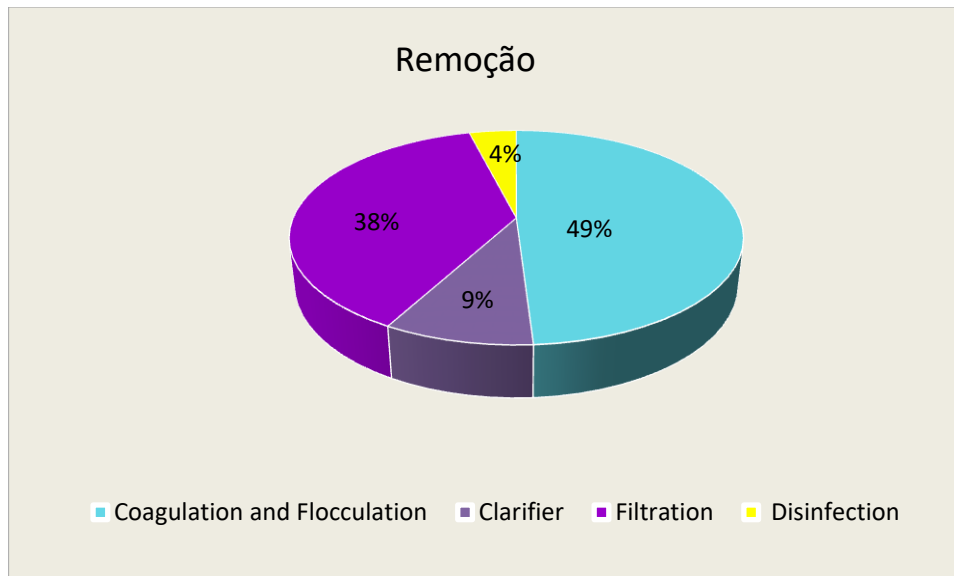
**PMS:** Peroximonosulfato

**VUV/UV:** Espectroscopia Ultra Violeta a Vácuo

A Figura 2 mostra resultados do estudo de Kalantary *et al.*, (2022) referente à remoção de agrotóxicos em sistemas de tratamento de água. As maiores eficiências ocorreram na unidade de coagulação-floculação (49%) e filtração rápida de areia (38,9%). São atribuídos a duas razões: (i) a interação de agrotóxicos com partículas coloidais por adsorção nos flocos, (ii) os agrotóxicos mais detectados (exceto 2,4-D) na entrada da estação de tratamento de água tem natureza hidrofóbica. A remoção hidrofóbica de micropoluentes torna o tratamento com

coagulação-floculação mais favorável devido à melhor sorção das partículas. Além disso, as principais preocupações são a presença de *1,3-dicloropropeno*, *clorpirifós* e *alaclor* com concentrações elevadas ( $>2 \mu\text{g/L}$ ) e baixa remoção ( $\leq 2$ ).

**Figura 2.** Eficiência de remoção de agrotóxicos em diferentes unidades de uma ETA



Fonte: Kalantary *et al.*, 2022.

A persistência de agrotóxicos no meio aquático depende de diversos fatores, como pH, temperatura e capacidade de troca de cátions. Os piretróides e os organoclorados, por exemplo, podem ser adsorvidos por partículas de argila responsáveis pela turbidez em águas naturais. Em processos de sedimentação e filtração, pode ocorrer uma remoção parcial desses agrotóxicos (Rissato *et al.*, 2004).

O monitoramento das estações de tratamento de água é realizado para fins de regulação e pesquisa. Nos estudos de monitoramento, analisa-se a água bruta proveniente da captação e da água tratada na saída da estação. A principal vantagem dessa abordagem é que todos os processos de tratamento de água são avaliados, e não apenas um processo individual. O monitoramento de estações de tratamento de água tem dificuldades para coletar amostras precisas de água bruta e tratada, simultaneamente. Essa amostragem é indispensável para determinar a eficiência de remoção ou transformação. Além disso, para verificar a eficiência do processo é preciso coletar amostras iguais antes e depois de cada etapa do tratamento (EPA, 2020).

#### 4.4 CONTROLE E MONITORAMENTO INTERNACIONAL

Com o avanço do conhecimento científico sobre os efeitos dos agrotóxicos no meio ambiente e na saúde humana, os países criaram mecanismos de controle e monitoramento estabelecendo valores máximos permitidos (VMP) para a sua presença no ambiente. A adesão ao controle por parte dos países em desenvolvimento tem sido gradual e pouca efetiva. Dentre os fatores que impedem o progresso no controle, está o aspecto econômico, uma vez que os agrotóxicos de menor custo não são, necessariamente, os que causam menores danos ao meio ambiente.

De acordo com a OHCHR (2017), a maioria dos países estabelece um limite máximo de concentração de agrotóxicos, de modo a assegurar a qualidade da água para consumo humano. Monitorar esses níveis pode contribuir para a proteção dos consumidores e incentivar os agricultores a reduzirem o uso de agrotóxicos. No entanto, muitas vezes, a capacidade de inspeção é insuficiente ou não existem sistemas adequados para medir ou impor níveis máximos de resíduos.

A falta de pesquisa local é o principal motivo para os países em desenvolvimento adotarem as diretivas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, da União Europeia, da Organização Mundial da Saúde e de outros países desenvolvidos. Contudo, esses países apresentam diferentes aspectos ambientais, físicos e bióticos, com um clima predominantemente temperado e uma produção anual de apenas uma safra. Ao contrário, os países tropicais produzem até três safras anuais, o que requer uma maior frequência no uso de agrotóxicos. Todos esses fatores podem resultar em erros na avaliação da toxicidade e do comportamento ambiental, sejam eles para mais ou para menos.

A maioria dos países desenvolvidos mantém um controle sistemático dos principais agrotóxicos, embora os altos custos para análises limitem a obtenção de séries mais extensas. A experiência internacional mostra que agrotóxicos na água são comuns quando aplicados na agricultura em zonas de recarga de aquíferos (ANA, 2007).

Segundo uma meta-análise realizada por Stehle e Schulz entre os anos de 2001 e 2015, não há dados de monitoramento de agrotóxicos em cerca de 90% das terras agrícolas globais. É importante notar que, das 11.300 concentrações de inseticidas medidas, 52,4% (5.915 casos; 68,5% dos locais) excederam o limite regulatório permitido para águas superficiais ou sedimentos. Logo, a integridade biológica dos recursos hídricos globais está sob um risco

significativo. As excedências ao limite regulatório para cada composto em águas superficiais estão relacionadas ao porte da bacia, ao regime hidrológico e à data de amostragem, sendo significativamente superiores para inseticidas de última geração (piretróides). Mesmo em países com regulamentações ambientais rigorosas, essas concentrações são elevadas (Stehle; Schulz, 2015).

#### **4.4.1 Organização Mundial da Saúde (OMS)**

As Diretivas da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2022) são o resultado de revisões periódicas, fundamentadas no estágio atual da ciência. Propõem procedimentos para identificar perigos e gerenciar riscos, estabelecendo metas baseadas na saúde. Dois instrumentos para atingir objetivos de qualidade da água para consumo são os planos de segurança da água e a vigilância independente.

Segundo a OMS, os Planos de Segurança da Água (PSA) são a forma mais eficaz de garantir a segurança de um abastecimento de água potável. O PSA realiza uma avaliação de risco abrangente, abordando uma gestão que engloba todas as etapas do abastecimento de água, desde a captação até o consumidor (WHO; IWA, 2023). Os PSA devem considerar os padrões ou objetivos nacionais, regionais e locais relevantes de qualidade da água.

O monitoramento de químicos, incluindo os agrotóxicos, deve considerar a disponibilidade de instalações analíticas, os custos das análises, a preservação das amostras, a estabilidade do contaminante, a sua provável ocorrência em água e sedimentos, a escolha do ponto mais adequado para monitoramento e a frequência de amostragem.

Para um produto químico, a localização e a frequência da amostragem serão determinadas pelas suas principais fontes de aplicação e variabilidade em sua concentração. Substâncias que não sofrem alterações significativas em sua concentração ao longo do tempo requerem menor frequência de amostragem do que aquelas cuja variação é significativa.

Em muitos casos, a frequência de monitoramento é anual ou até mais espaçada, particularmente em águas subterrâneas estáveis, onde a ocorrência de contaminantes varia lentamente ao longo do tempo. As concentrações das substâncias são mais variáveis em águas superficiais, e, portanto, podem exigir um maior número de amostras, dependendo do contaminante e sua importância.

Na última revisão da Diretiva da OMS, não foram estabelecidos valores de orientação para produtos químicos cuja ocorrência seja improvável na água. A atual lista de orientação é composta por 31 parâmetros de agrotóxicos. Estes valores de referência são representativos quanto à presença na água potável e ao risco à saúde.

A OMS considera que o monitoramento rotineiro de agrotóxicos, geralmente, não é prioritário em relação a outras necessidades de avaliação, como os parâmetros microbiológicos. Os países devem considerar o uso local e as situações potenciais para decidir se e onde monitorar. Se os resultados apresentarem níveis superiores ao valor de referência ou ao baseado em saúde, é recomendável elaborar e implementar um plano para controlar a presença do contaminante na água.

#### **4.4.2 Diretiva da União Europeia (UE)**

A Diretiva 2020/2184 (UE, 2020) do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu foi reformulada e publicada em 2020. Esta norma diz respeito à qualidade da água destinada ao consumo humano para a União Europeia. Ela estabelece que um metabólito de agrotóxico deva ser considerado relevante se apresentar propriedades intrínsecas semelhantes às da substância original, como atividade-alvo enquanto agrotóxico, ou que ele próprio ou seus produtos de transformação representam um risco para a saúde dos consumidores.

O Tratado da União Europeia (UE), no seu artigo 174, determina que a regulação ambiental deva seguir os princípios para assegurar uma proteção adequada e ser coerente com o princípio da precaução. Em alguns casos, os padrões de qualidade da água adotados, são mais rigorosos do que as recomendações da OMS.

Os Estados-Membros devem adequar a Diretiva à legislação nacional e cumprir as suas disposições, criando um conjunto de dados que contemple os parâmetros selecionados para monitorar. Também devem considerar informações relacionadas à avaliação e gestão de risco das bacias hidrográficas, dos pontos de captação e dos sistemas de distribuição de água. Os parâmetros selecionados devem ser atualizados anualmente, e enquanto as demais informações a cada seis anos.

Os programas de monitoramento da água destinada ao consumo humano, estabelecidos conforme artigo 13º, n.º 2 da Diretiva, devem verificar a eficácia das medidas de controle do



risco à saúde humana em toda a cadeia de abastecimento.

A frequência mínima de amostragem e verificação da conformidade para os agrotóxicos (Grupo B) pode ser observada na Tabela 9. Ela mostra que a frequência varia em função do volume diário de água distribuída ou produzida numa zona de abastecimento.

**Tabela 9.** Frequência mínima de coleta e análise para verificação da conformidade

Volume (m <sup>3</sup> /dia)		Parâmetros do Grupo B (Número de amostras anuais)
	< 10	> 0
≥ 10	≤ 100	1 (se todos os parâmetros estão conformes, monitorar de 6 em 6 anos)
> 100	≤ 1.000	1
> 1.000	≤ 10.000	1 até 1 000 m <sup>3</sup> /dia e +1 a cada 4.500 m <sup>3</sup> /dia adicionais
> 10.000	≤ 100.000	3 para os 1 <sup>os</sup> 10.000 m <sup>3</sup> /dia e +1 a cada 10.000 m <sup>3</sup> /dia adicionais
> 100.000		12 a cada 100.000 m <sup>3</sup> /dia e +1 a cada 25.000 m <sup>3</sup> /dia, adicionais.

**Fonte:** Quadro 1 da Diretiva (UE) 2020/2184, adaptado pela autora.

A frequência de monitoramento operacional exigida para cada parâmetro selecionado deve ser determinada pelos Estados-Membros, observada a frequência mínima mostrada na Tabela 9, considerando sua variabilidade resultante de condições naturais e antropogênicas. Os horários de monitoramento devem ser selecionados visando minimizar os efeitos da variação sazonal nos resultados. As estimativas de confiança e precisão obtidas pelo sistema de monitoramento devem ser declaradas no plano de gestão da bacia hidrográfica. Se for necessário, deve-se realizar um monitoramento adicional em diferentes estações do mesmo ano para obter dados representativos quanto às alterações no corpo d'água causadas por pressão antrópica.

Para os agrotóxicos regulamentados que constam no Anexo I da Diretiva da Água Potável 2020/2184, é estabelecida uma concentração máxima admissível (MAC) de 0,1 µg/L para um agrotóxico individual; e 0,5 µg/L para a concentração total em qualquer amostra. Para as substâncias *aldrin*, *dieldrin*, *heptacloro* e *heptacloro epóxido*, o valor paramétrico deve ser de 0,030 µg/L. Essa Diretiva considera que a presença de qualquer concentração de agrotóxicos representa um risco a saúde humana.

O Estado-Membro ao verificar, por análise de riscos e de eventos perigosos, a ausência de um parâmetro nas bacias de drenagem para pontos de captação, e não ocorrendo registros em

mananciais superficiais ou águas subterrâneas, autoriza os operadores dos sistemas a diminuïrem a frequêncïa ou retirar este parâmetro da lista a monitorar.

Em relação às análises, a Diretiva da UE requer que os Estados-Membros garantam que todos os métodos, incluindo os de laboratório, de campo e em linha, utilizados para programas de monitoramento de substâncias químicas sejam validados e documentados conforme a norma EN ISO/IEC-17025, ou outras normas equivalentes aceitas no plano internacional.

#### **4.4.3 Diretiva Americana**

Os Estados Unidos, ao estabelecer seus critérios para monitorar a presença de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água, considera os potenciais efeitos adversos à saúde humana, a frequêncïa, o nível de ocorrência e as tecnologias de tratamento de água disponíveis. Também, verifica se o custo da regulação da substância representará uma oportunidade significativa para reduzir os riscos (EPA, 2022).

Através da *Lei de Água Potável Segura* (SDWA) a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) permite aos Estados definir e aplicar seus próprios padrões, desde que sejam, no mínimo, tão rigorosos quanto os padrões nacionais.

A EPA elaborou um Guia de Referência Rápida da regra da água potável, que consiste no *Quadro de Monitoramento Padronizado* (SMF). Esse documento tem como objetivo padronizar, simplificar e consolidar os requisitos de monitoramento de grupos de contaminantes. O SMF aumenta a proteção à saúde pública ao simplificar os planos de monitoramento e sincronizar cronogramas, aumentando a conformidade.

O SMF apresenta os requisitos federais de água potável e as frequências de monitoramento contínuas necessárias para os sistemas existentes. Os organismos que têm a responsabilidade primária (*Primacy Agencies*) de implementar a Lei da Água Potável Segura têm um programa de isenção aprovado pela EPA que permite emitir isenções. Essas levam em consideração as características e preocupações específicas, regionais e estaduais para determinar as frequências exatas de monitoramento.

O controle dos agrotóxicos é regido pelas diretrizes para contaminantes químicos que estão divididos em 3 grupos: Inorgânicos (IOCs) (incluindo arsênico e nitrato); Orgânicos Voláteis (VOCs), e Orgânicos Sintéticos (SOCs), onde estão inseridos os agrotóxicos.

A EPA utiliza a *Regra de Monitoramento de Contaminantes Não Regulamentados (UCMR)* para coletar dados sobre que são substâncias suspeitas de estarem presentes em água potável, mas que não possuem padrões baseados em saúde definidos pela *Lei de Água Potável Segura (SDWA)*.

Ao estabelecer os contaminantes para cada ciclo da UCMR, a EPA considera a Lista de Candidatos a Contaminantes (CCL), que é composta por aqueles que ainda não estão sujeitos à regulamentação nacional de água potável proposta ou promulgada, mas que se sabe ou se prevê que ocorram na água. Além disso, a EPA considera a possibilidade de usar métodos de análise multicontaminantes para coletar dados de ocorrência de forma eficiente e econômica.

A EPA avalia os contaminantes (inclusive os agrotóxicos) UCMR candidatos através de um processo de priorização que envolve várias etapas. A primeira etapa é identificar os contaminantes que: (i) não foram monitorados em ciclos anteriores de UCMR; (ii) podem ocorrer na água potável; e (iii) espera-se que o método seja completo e validado até a proposição da regra.

Outra etapa a considerar é a disponibilidade de avaliações ou demais informações sobre efeitos à saúde (parâmetros sugerindo carcinogenicidade), o uso ativo (agrotóxicos registrados) e a disponibilidade de dados de ocorrência.

Na última etapa, a EPA avalia a lista de UCMR proposta, considera a contribuição das partes interessadas, analisa a relação custo-benefício das possíveis abordagens de monitoramento, considera fatores de implementação (por exemplo, capacidade laboratorial), avalia os efeitos sobre a saúde, a ocorrência e os dados de persistência/mobilidade.

#### **4.4.4 Diretiva Israelense**

O regulamento israelense de saúde pública para a qualidade da água potável e seus sistemas de abastecimento foi publicado em 2013. A primeira série anual de amostragens para monitoramento de agrotóxicos, segundo disposto no item 1 do Anexo 3, deve ser realizada conforme um plano anual que o fornecedor de água deverá submeter à aprovação da autoridade sanitária até 1º de novembro de cada ano (Israel, 2013).

O plano da amostragem e testes deve incluir, no mínimo, pontos de amostragem, parâmetros que serão avaliados e um cronograma. As amostras devem ser coletadas por cinco anos a

partir da data de início e distribuída anualmente, de forma uniforme.

O Anexo 3 do regulamento estabelece a frequência de amostragem de agrotóxicos para estações de tratamento de água, categorizando-os em 5 grupos, conforme a Tabela 10:

**Tabela 10.** *Grupos de frequência de monitoramento da água em Israel*

<b>Grupos</b>	<b>Parâmetros</b>
<i>A</i>	Agrotóxicos e substâncias orgânicas de origem industrial.
<i>B</i>	Parâmetros com uso encerrado ou que nunca foram usados no país.
<i>C</i>	Parâmetros com probabilidades de perigo sanitário são baixas para justificar monitoramento regular, mas a coleta de informações é importante para avaliar a necessidade de monitoramento sob as condições vigentes no país.
<i>D</i>	Parâmetros com probabilidade de constituir perigo à saúde e de ocorrência restrita em algumas áreas.
<i>E</i>	Parâmetros não orgânicos que afetam a saúde.

**Fonte:** elaborado pela autora, 2023. Dados do regulamento israelense (Israel, 2013).

A Tabela 11 apresenta os critérios adotados no Anexo 3 do regulamento israelense para a distribuição da periodicidade do monitoramento dos grupos, para cada parâmetro avaliado.

**Tabela 11.** Avaliação da frequência de monitoramento em Israel

Grupos	Alternativas	Resultado após 3 anos com análise trimestral para cada parâmetro	Próxima amostragem
A	(1ª)	Se todos os testes <10% do VMP <sup>1</sup>	A cada 3 anos
	(2ª)	(1) Entre 10% e 30% do VMP	Trimestral
		(2) Após 3 anos: < 30% e não tende a aumentar a concentração	Anos 3 a 5 (trimestral). Ano 6 (a cada 3 anos).
	(3ª)	(1) Superior a 30% do VMP	Trimestral (anos 4 a 6)
		(2) Após 3 anos: < 30% do VMP	Anual nos anos 7 a 9
		(3) Após 3 anos: < 30% do VMP, para todos os testes realizados	Ano 12 (após 3 anos)
B	Uma análise por parâmetro nas ETAs que não testaram este parâmetro desde 01/01/2006. Monitoramento: <b>Detectado:</b> manter. <b>Não detectado:</b> encerrar.		
C	Testes em 25% das instalações de produção do país, por 2 anos, de acordo com os resultados: Grupo (A, B, D ou E) ou término do monitoramento.		
D	O monitoramento será conforme instruções da autoridade sanitária e o grau de risco de saúde ambiental presente em cada região.		
E	<b>Monitoramento:</b> anual por parâmetro, em todas as ETAs. Se determinado parâmetro no último teste for inferior a 60% do VMP, e não houver resultados que justifiquem aumento na frequência de teste, a frequência será reduzida para uma vez a cada 5 anos. Se, em um dos testes, o parâmetro ultrapassar 60% do VMP, a frequência deve ser anual.		

**Fonte:** elaborado pela autora (2023) a partir do regulamento israelense (Israel, 2013).

**Nota:** <sup>1</sup>VMP – Valor Máximo Permitido

No Anexo 1, Tabela B da Diretiva Israelense, estão listados 31 parâmetros de agrotóxicos que, segundo o regulamento, afetam a saúde humana. A frequência (coluna E) para monitoramento dos agrotóxicos está distribuída da seguinte forma: 18 parâmetros no Grupo A, 6 no B e 7 no C.

#### 4.4.5 Diretiva Australiana

A Diretiva Australiana para Água Potável (NRMMC, 2022) foi revisada pela última vez em janeiro de 2022. A estrutura de gestão da qualidade da água potável australiana é fundamentada na prevenção, gerenciando o sistema desde a captação até o consumidor para assegurar a qualidade da água fornecida. O monitoramento é o instrumento para confirmar a eficácia das medidas e barreiras da prevenção à contaminação, e melhorar a compreensão do desempenho do sistema. A coleta de dados permite um maior conhecimento sobre o funcionamento do sistema de abastecimento de água, incluindo os perigos e riscos presentes, o desempenho das estações de tratamento e a integridade do sistema de distribuição.

O desenvolvimento de um programa de monitoramento é uma atividade dinâmica, parte de um processo contínuo e iterativo de gestão para entender os desafios e riscos, planejar e implementar medidas preventivas à contaminação, monitorar e avaliar a eficácia destas barreiras, planejar e ajustar medidas preventivas e programas de monitoramento, conforme necessário. Essa abordagem é representada na Figura 3.

*Figura 3. Monitoramento como parte de um processo contínuo de gerenciamento do sistema*



Fonte: NRMMC, 2022. Adaptado pela autora, 2023.

Conforme a Diretiva Australiana, o monitoramento dos agrotóxicos não requer o mesmo nível de atenção como para patógenos microbianos ou os produtos químicos de principal preocupação (arsênio flúor em concentrações superiores às aplicadas para proteção dental,

selênio, nitrato, chumbo e urânio). Deve haver evidência ou inferência razoável de sua potencial presença, determinada por meio de investigação específica do local e da análise do sistema de abastecimento de água.

A frequência de monitoramento da fonte de água é determinada pela variabilidade e compreensão dos parâmetros presentes, devendo ser mais frequente onde a qualidade da água apresentar maior inconstância. Áreas problemáticas identificadas podem determinar maiores frequências.

Quando ocorrerem eventos incomuns, como: súbita ou mudança extrema no clima; vazão ou qualidade da água; interrupções de energia; novas substâncias químicas; variações no tratamento, manutenção e reparos, deve-se aumentar a frequência até que se possa ter certeza de que a qualidade da água está dentro das especificações. O monitoramento da fonte de água também pode ser preventivo, para propiciar um controle de processo em tempo real e uma previsão de contaminação.

O monitoramento é um componente da gestão de riscos. Na impossibilidade de monitorar todos os processos, o plano de amostragem para um sistema de abastecimento de água deve ser estruturado para aprimorar o conhecimento do sistema e alimentar processos de tomada de decisão. A definição de abordagem para projetar o programa é importante, ao verificar os dados que ele gerará e como serão usados.

O monitoramento eficaz da qualidade da água requer a coleta sistemática de dados físicos, químicos e biológicos, informações bem como a análise, interpretação e relato desses dados, conforme um projeto pré-planejado (ANZECC; ARMCANZ, 2000).

O programa de monitoramento deve ser elaborado por profissionais com conhecimento em sistemas de abastecimento de água, avaliação da qualidade da água e abordagem de gestão preventiva detalhada nas Diretivas. É necessário que sejam realizadas consultas aos operadores de sistemas, planejadores e profissionais de saúde, reguladores ou autoridades competentes para a auditoria do desempenho do sistema de abastecimento de água potável.

O escopo do programa deve contemplar a análise do sistema e a avaliação de riscos do processo. Ao identificar os perigos, as principais características, as medidas preventivas e avaliar as barreiras, o monitoramento é planejado para fornecer as informações necessárias para o gerenciamento e operação eficiente do sistema de água potável.

Após a revisão da Diretiva, a amostragem na Austrália passou a ser realizada mensalmente quando detectada ou há probabilidade da presença de agrotóxicos na água, caso contrário é anual. A amostragem será mensal ou trimestral para agrotóxicos / tóxicos orgânicos previamente (ou potencialmente) detectados; sazonalmente ou anualmente, se estiverem relacionados a eventos (por exemplo, tempestades, derramamentos).

## **4.5. CONTROLE E MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL**

### **4.5.1 Monitoramento nos mananciais superficiais**

O controle de agrotóxicos em mananciais superficiais ainda é insuficiente no Brasil. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) possui um Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA. Este programa abrange 23 parâmetros básicos, mas não incluem agrotóxicos (ANA, 2022).

### **4.5.2 Monitoramento nos mananciais subterrâneos**

Conforme o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2023), o monitoramento de águas subterrâneas se intensificou a partir de 2009. A CPRM implantou a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) para acompanhar as variações espaciais e temporais quali-quantitativas das águas nos principais aquíferos brasileiros. Além da rede nacional, alguns Estados também operam redes de monitoramento quantitativo e/ou quali-quantitativo.

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Serviço Geológico é uma rede quantitativa com alertas qualitativos. É realizada uma análise físico-química completa, incluindo os agrotóxicos, após a implantação do poço. Ela é repetida quinquenalmente, conforme o uso e ocupação do solo nas imediações. Se houver variações significativas de qualidade nas análises microbiológicas, a análise físico-química completa passa ser semestral. Em São Paulo a CETESB (2019), também efetua o monitoramento qualitativo das águas subterrâneas, assim como alguns outros Estados, na forma de uma rede integrada (SIAGAS, 2023).

### **4.5.3 Monitoramento nos sistemas de abastecimento de água**

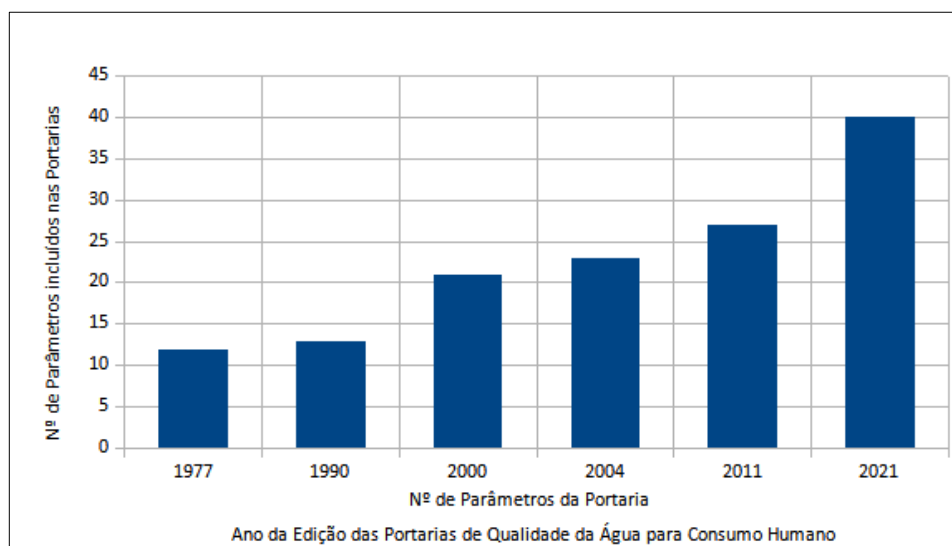
A vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano no Brasil é



regulamentada pelo Ministério da Saúde através de Portarias. A primeira a incluir parâmetros de agrotóxicos foi a Portaria n.º 56 do Ministério da Saúde (MS), publicada em 15/06/1977. Ao longo dos anos surgiram novas portarias (Portaria MS n.º 1469/2000, Portaria MS n.º 518/2004, Portaria MS n.º 2.914/2011, Portaria de consolidação n.º 05/2017 e a atual Portaria n.º 888/2021) com o objetivo de atualizar os novos conhecimentos adquiridos (Novais *et al.*, 2021).

Recentemente, a Portaria n.º 888/2021 do Ministério da Saúde, aumentou o número de ingredientes ativos controlados de 27 (da Portaria anterior) para 40. Sua elaboração foi precedida de estudos técnicos aprofundados, por especialistas e de uma consulta pública à sociedade. No Anexo I, está inserida a Tabela 12 que apresenta um comparativo entre as portarias Anexo XX da PRC n.º 5/2017(anterior) e a Portaria n.º 888/2021 (vigente). A Figura 4 representa a evolução do número de parâmetros de agrotóxicos regulados por portarias, e suas respectivas datas da edição.

**Figura 4.** *Evolução dos agrotóxicos regulados na água para consumo humano no Brasil*



**Fonte:** Autora, 2023. Dados: Portarias GM/MS

A Portaria GM/MS n.º 888/2021 (Brasil, 2021) inclui 40 parâmetros de agrotóxicos, conforme apresentados na Tabela 13, que devem ser monitorados semestralmente junto aos sistemas de abastecimento de água, cujas captações advêm tanto de águas superficiais como subterrâneas. Este monitoramento deve ser exercido de forma uniforme em todos os 5.570 municípios, pela

vigilância e controle.

A vigilância, que tem como objetivo prevenir e investigar riscos à saúde humana, e é atribuída às secretarias municipais de saúde, com acompanhamento dos Estados e Distrito Federal. Para o monitoramento da vigilância existe uma Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Brasil, 2016).

Os operadores dos sistemas de abastecimento de água são responsáveis pelo acompanhamento e controle da qualidade da água distribuída à população. Os operadores, que podem ser autarquias municipais ou estaduais, ou empresas privadas, devem elaborar seus planos de monitoramento de agrotóxicos e submetê-los à aprovação junto às secretarias municipais de saúde.

#### *Armazenamento de Dados e Monitoramento*

As informações sobre o monitoramento dos agrotóxicos são fornecidas pela vigilância e pelos operadores diretamente no banco de dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano – SISÁGUA (SISÁGUA, 2022). Este Banco de Dados é de acesso público, permitindo consultas a qualidade da água potável distribuída nas cidades brasileiras.

**Tabela 13.** Parâmetros regulados pela Portaria n.º 888/2021 e principais características

Parâmetro	CAS (1)	VMP (2) µg/L	Nº Prod. Registrados	Classe toxicológica	Periculosidade de Ambiental	Grupo Químico	Classe Agronômica
2,4 D	94-75-7	30	102	5 / 4/A	III	glicina substituída	Herbicida
Alacloro <sup>1</sup>	15972-60-8	20	2	5/A	II	cloroacetanilida	Herbicida
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	116-06-3 (aldicarbe) 1646-88-4 (aldicarbesulfona) 1646-87-3 (aldicarbe sulfóxido)	10		/A			
Aldrin + Dieldrin	309-00-2 (aldrin) 60-57-1 (dieldrin)	0,03		/C			
Ametrina	834-12-8	60	33	5 / 4	III / II	triazina	Herbicida
Atrazina + S-Clorotriazinas (Deetil-Atrazina - Dea, Deisopropil-Atrazina - Dia e (Diaminoclorotriazina-Dact)	1912-24-9 (Atrazina) 6190-65-4 (Deetil-Atrazina - Dea) 1007-28-9 (Deisopropil-Atrazina - Dia) 3397-62-4 (Diaminoclorotriazina-Dact)	2,0	74	5 / 4/A	III / II	triazina	Herbicida

**Tabela 13. Parâmetros regulados pela Portaria n.º 888/2021 e principais características**

Parâmetro	CAS (1)	VMP (2) µg/L	Nº Prod. Registrados	Classe toxicológica	Periculosidade de Ambiental	Grupo Químico	Classe Agronômica
Carbendazim	10605-21-7	120	41	5 / 4	III / II	benzimidazol	Fungicida
Carbofurano	1563-66-2	7					
Ciproconazol	94361-06-5	30	30	4	II	estrobilurina triazol	Fungicida Inseticida
Clordano	5103-74-2	0,2					
Clorotalonil	1897-45-6	45	61	3	II	isoflotalonitrila	Fungicida
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	2921-88-2 (clorpirifós) 5598-15-2 (clorpirifós-oxon)	30,0	21	2/A	I	organofosforado	Acaricida Inseticida
DDT+DDD+DDE	50-29-3 (p,p'-DDT) 72-54-8 (p,p'-DDD) 72-55-9 (p, p'-DDE)	1		/B			
Difenoconazol	119446-68-3	30	33	5 / 4	III / II	triazol isoflotalonitrila estrobilurina	Fungicida
Dimetoato + ometoato	60-51-5 (Dimetoato) 1113-02-6 (Ometoato)	1,2	3	4/A	II	organofosforado	Inseticida Acaricida
Diuron	330-54-1	20	10	5 / 4	II	uréia	Herbicida
Epoxiconazol	135319-73-2	60	19	5 / 2 Não class.	III / II	estrobilurina carboxamida triazol	Fungicida
Fipronil	120068-37-3	1, µg/L 2	78	3 / 4	II	pirazol	Inseticida
Flutriafol	76674-21-0	30	24	5	II	estrobilurina	Fungicida
Glifosato + AMPA	1071-83-6 (glifosato) 1066-51-9 (AMPA)	500	5 + 1	4 / 5/ 4	III / II	glicina substituída + ácido piridinocarboxílico	Herbicida
Hidroxi-Atrazina	2163-68-0	120,0					
Lindano (gama HCH)	58-89-9	2		/A			
Malationa	121-75-5	60	11	4	II	organofosforado	Inseticida
Mancozebe + ETU	8018-01-7 (Mancozebe) 96-45-7 (Ampa)	8	1	3	II	alquilenobis (ditiocarbamato)	Acaricida Fungicida
Metamidofós + Acefato	10265-92-6 (Metamidofós) 30560-19-1 (Acefato)	7					
Metolaclo	51218-45-2	10		/C			
Metribuzim	21087-64-9	25	13	4	II	triazinona	Herbicida
Molinato	2212-67-1	6					
Paraquate	4685-14-7	13					
Picloram	1918-02-1	60	76	4	III	ácido piridinocarboxílico	Herbicida
Profenofós	41198-08-7	0,3	5	4	II / I	organofosforado	Inseticida

**Tabela 13. Parâmetros regulados pela Portaria n.º 888/2021 e principais características**

Parâmetro	CAS (1)	VMP (2) µg/L	Nº Prod. Registrados	Classe toxicológica	Periculosidade de Ambiental	Grupo Químico	Classe Agronômica
Propargito	2312-35-8	30	6	4 / 3 / 2	II	sulfito de alquila	Acaricida
Simazina	122-34-9	2	17	5 / 4/A	III / II	triazina	Herbicida
Protioconazol + Proticonazol Destio	178928-70-6 Protioconazol 120983-64-4 Proticonazol Destio						
Tebuconazol	107534-96-3	180	78	5 / 4 / 3 / 2 / 1	III / II	triazol estrobilurina isoflalonitrila benzimidazol carboxamida	Fungicida
Terbufós	13071-79-9	1,2	1	2	II	organofosforado	Inseticida Nematicida
Tiametoxam	153719-23-4	36	25	4 / 5	III / II / I	neonicotinóide piretróide	Inseticida Fungicida
Tiodicarbe	59669-26-0	90	26	4 / 3 / 2 / 1	III / II	metilcarbamato de oxima benzoiluréia neonicotinóide	Inseticida
Tiram	137-26-8	6	9	5 / 4 / 2	III / II	carboxanilida dimetilditiocarbamato	Fungicida
Trifluralina	1582-09-8	20	6	5 / 4/A	II / I	dinitroanilina triazinona	Herbicida

Fonte: Brasil, 2021.

**Notas:**

1. Os parâmetros, em rosa, não constam da lista do IBAMA de comercializados em 2020, e não estão disponíveis informações no AGROFIT (2022);
2. O *protioconazol*, consta na relação dos IA comercializados em 2020, mas não consta no AGROFIT (2023);
3. O *imidacloprido* com comercialização expressiva, não consta na Portaria nº 888/2021, por estar em reavaliação;
4. As letras A, B e C, indicam a frequência de monitoramento destes agrotóxicos pelo *Public Health Regulations (Sanitary Quality of Drinking Water and Drinking Water Facilities)*, (Israel, 2013).

#### 4.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Uma grande quantidade de dados e de informações não resulta em conhecimento. É necessário um projeto, um plano com uma ideia de organização e integração das informações sob uma estratégia e um sistema, e, também, uma análise sobre elas para obter o conhecimento final desejado (Yang, 2015).

##### 4.6.1 Fundamentos da análise multicritério

A análise multicritério permite avaliar alternativas para a solução de problemas que envolvam diversas variáveis, analisando a natureza dos critérios de decisão sem a necessidade de alterações em relação à mesma escala de avaliação. Além disso, possibilita a inclusão de

diferentes aspectos na análise de situações intrínsecas às possibilidades analisadas. Os critérios de avaliação de um mesmo problema podem ser mensurados em uma escala numérica ou linguística (Hajkowicz, 2008).

Um problema de decisão multicritério consiste em uma situação na qual há pelo menos duas alternativas/opções/ações para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender aos múltiplos objetivos, alguns deles concorrentes entre si (Balaji; Kumar, 2014).

Quando há objetivos conflitantes entre si, dificilmente haverá uma solução perfeita e a busca será pela melhor solução em relação a todos os objetivos considerados. Vincke (1992) define um problema de decisão multicritério da seguinte forma: dado um conjunto A de alternativas e uma família F de critérios, que representam os objetivos do decisor, pode-se requerer: (i) determinar um subconjunto de alternativas consideradas as melhores em relação a F (problemática de escolha); (ii) dividir A em subconjuntos de acordo com determinadas normas (problemática de classificação); (iii) ordenar as alternativas de A da melhor para pior, (problemática de ordenação).

Roy (1996) acrescenta a problemática de descrição, com o objetivo de apoiar a decisão por meio da descrição das ações e de suas consequências (quantitativamente e/ou qualitativamente), para esclarecer o problema de decisão e tornar a análise mais clara. A Análise Multicritério ou Apoio à Decisão Multicritério (MCDA/M acrônimo para o termo em inglês *Multicriteria Decision Aid/Making*) que auxilia a resolver problemas de decisão multicritério, por meio de técnicas analíticas (Belton; Stewart, 2002).

O Apoio à Decisão Multicritério é um processo que pode ser interpretado como a sequência das seguintes etapas: (i) identificar os decisores; (ii) definir as alternativas; (iii) definir os critérios relevantes para o problema de decisão; (iv) avaliar alternativas em relação aos critérios; (v) determinar a importância relativa dos critérios; (vi) realizar a avaliação de cada alternativa; (vii) analisar globalmente o conjunto das alternativas; e (viii) elaborar as recomendações (Gomes *et al.*, 2004).

As primeiras etapas são conhecidas como fase de estruturação do problema de decisão, que busca identificar, caracterizar e organizar os fatores relevantes no processo de apoio à decisão. As etapas seguintes compõem a fase de avaliação, que se baseia na aplicação de métodos multicritério para apoiar a análise das preferências e sua agregação. A última consiste na

recomendação dos planos de ação a serem seguidos. Nos últimos anos, vários métodos multicritério foram desenvolvidos. Há diversas maneiras de classificar esses métodos, uma delas consiste em separar os métodos multicritério em dois grupos (Banihabib *et al.*, 2017): (i) métodos compensatórios; e (ii) métodos não compensatórios. Esta classificação é importante porque estimula a correta interpretação da informação intercritério de cada método.

Nos métodos não compensatórios, os parâmetros que aparecem na função de agregação, comumente denominados de pesos, contêm a informação de importância relativa dos critérios. Os métodos compensatórios têm informações sobre a importância relativa, estes parâmetros carregam também a informação de taxas de compensação entre critérios. Esta diferença tem um impacto extremamente significativo na forma como esses parâmetros são lançados. Segundo (De Almeida *et al.*, 2016) esse é um dos aspectos mais críticos do Apoio à Decisão Multicritério.

Nos métodos compensatórios, há o efeito da compensação quando as avaliações unidimensionais (em cada critério) são agrupadas para construir a avaliação global (multicritério) de cada alternativa. Nesse procedimento, um desempenho ruim em um determinado critério pode ser compensado por um bom desempenho em outro.

Os principais métodos compensatórios são: a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*) método com sólida fundamentação teórica e embasou outros métodos (Keeney; Raiffa, 1993). Entre eles: a família de métodos SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) que inclui SMARTS (*SMART Using Swing*) e SMARTER (*SMART Extended Ranking*) (Edwards; Barron, 1994). O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por (Saaty, 1980), é o método multicritério mais difundido e aplicado em diferentes áreas enquanto o ANP (*Analytic Network Process*) (Saaty, 1996) é uma extensão do AHP que utiliza uma estrutura de redes, permitindo relações de dependência entre elementos.

Entre os métodos não compensatórios, têm-se os de sobreclassificação das famílias ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*). A sobreclassificação (*outranking*) resulta da relação de preferência binária que é utilizada para comparar pares de alternativas: diz-se que uma dada alternativa “a” sobreclassifica uma alternativa “b” se “a” for considerada pelo menos tão boa quanto “b” e não houver argumentos suficientes para dizer a mesma coisa

de “b” em relação à “a”.

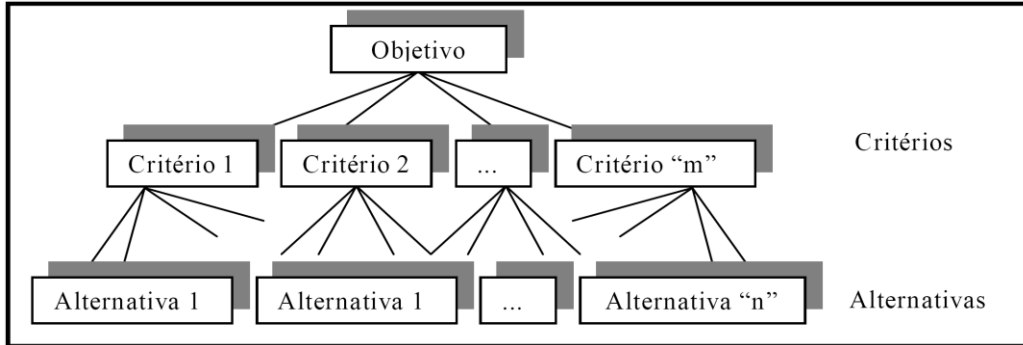
A família ELECTRE utiliza os conceitos de concordância e discordância. O índice de concordância mede a “força” da informação de que uma alternativa “a” é pelo menos tão boa quanto uma alternativa “b”. O índice de discordância mede a força da evidência contrária a essa hipótese (Belton; Stewart, 2002). Para cada par ordenado de ações (alternativas) será associado um índice de concordância e um índice de discordância. A família ELECTRE inclui os seguintes métodos: ELECTRE I, voltado à problemática de escolha; ELECTRE II, III e IV, voltados à ordenação; e ELECTRE TRI para a classificação.

A família PROMETHEE inclui PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI e o PROMETHEE GAIA, que é uma representação gráfica do método. Os métodos PROMETHEE I e II têm como foco na problemática de ordenação, sendo que o primeiro apresenta um ranking parcial (podendo haver incomparabilidade entre alternativas) e o segundo fornece um ranking completo (sem incomparabilidade entre alternativas). Os métodos PROMETHEE III e IV foram desenvolvidos para o tratamento de problemas de decisão mais complexos, utilizando um componente estocástico (De Almeida *et al.*, 2016). O PROMETHEE IV tem como foco o caso de um conjunto contínuo de ações. O PROMETHEE V tem como objetivo resolver problemas de portfólio é a combinação do PROMETHEE II com programação inteira binária (0-1). O PROMETHEE VI é indicado quando o decisor não está apto ou não quer estabelecer os pesos para os critérios (De Almeida *et al.*, 2016).

Os métodos de sobreclassificação permitem aos decisores obter informações úteis durante a estruturação do problema, modelam de forma realista as estruturas de preferência dos decisores e podem lidar com as incertezas por meio de conjuntos *fuzzy* e inclusão de limiares de preferência e indiferença (Haralambopoulos; Polatidis, 2003). Por outro lado, os autores alertam que alguns métodos de sobreclassificação são complexos e de difícil compreensão por parte dos decisores. Não é o caso dos métodos da família PROMETHEE, cujos conceitos e parâmetros envolvidos são intuitivos, sendo considerados por alguns autores como os mais intuitivos entre os métodos multicritério (Halouani *et al.*, 2009).

A Figura 5 mostra de forma esquemática a composição de uma das possibilidades de estruturar uma análise multicritério.

**Figura 5.** *Estrutura Básica da Análise Multicritério*



**Fonte:** Marins *et al.*, 2009.



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos na tese e está organizado em três partes:

A *primeira parte* apresenta uma revisão da literatura sobre agrotóxicos e todos os aspectos que estão relacionados ao seu monitoramento em sistemas de abastecimento de água.

A *segunda parte* examinou o estágio atual do monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água brasileiros, identificou práticas internacionais compatíveis com a realidade brasileira, no sentido de sua aplicabilidade. Dessa forma, foram identificadas novas propostas de monitoramento, o que é o objetivo desta tese. Ainda, nesta etapa, foi submetido e publicado na *Revista Águas Subterrâneas*, o artigo intitulado: *Monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água: Uma análise comparada entre a Portaria n.º 888/2021 e as Diretivas Internacionais*.

A *terceira parte* propõe uma metodologia que utiliza a análise multicritério para elaborar planos de monitoramento escalonado de agrotóxicos, em sistemas de abastecimento de água dos municípios brasileiros. Ainda nesta etapa foi submetido à Revista AIDIS o artigo: *Proposta de metodologia para elaborar planos de monitoramento de pesticidas para as captações de sistemas de abastecimento de água*. Na sequência apresenta-se um estudo de caso para melhor ilustrar a concepção de metodologia proposta.

### 5.1 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura teve como objetivo, através de uma análise de documentos nacionais e internacionais, aprofundar o conhecimento sobre agrotóxicos, as implicações do seu uso, as ações necessárias para o monitoramento, e as tecnologias adequadas para o seu tratamento em sistemas de abastecimento de água. A revisão da literatura foi organizada conforme segue:

Os itens 4.1, 4.2 e 4.3 contemplam o objetivo específico: a) Conhecer os principais aspectos que envolvem o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água;

Os itens 4.4 e 4.5 atendem ao seguinte objetivo específico: b) Examinar as práticas internacionais e os requisitos brasileiros estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 para o monitoramento de agrotóxicos no controle da qualidade da água de abastecimento humano;

O item 4.6 responde ao objetivo específico: c) Identificar uma metodologia que seja aplicável aos planos de monitoramento de agrotóxicos.

## 5.2 ESTRUTURAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Esta etapa permitiu delimitar o tema da pesquisa, estabelecer os objetivos e formular as hipóteses. Com o objetivo de avaliar o estágio atual do monitoramento dos agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água no Brasil, foram estabelecidos critérios que pudessem avaliar a efetividade do monitoramento e recomendar novas ações. Para tanto, foram consultados nos sites do IBGE e do SNIS dados sobre as características das estações de tratamento de água e os processos utilizados. Esta etapa contempla os objetivos específicos:

a) *Conhecer os principais aspectos que envolvem o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água.* Conforme a pesquisa apresentada nos itens 4.1, 4.2 e 4.3 foi possível referenciar as hipóteses estabelecidas e descritas no seguinte item: *6.1 Fatores relevantes para o monitoramento de agrotóxicos;*

b) *Examinar as práticas internacionais e os requisitos brasileiros estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 para o monitoramento de agrotóxicos no controle da qualidade da água de abastecimento humano.* A partir das informações apresentadas nos itens 4.4 e 4.5 foi possível comparar as práticas internacionais com aquelas preconizadas pela Portaria n.º 888/2021. Avaliar as hipóteses apresentadas no item *6.2 Análise comparada entre as diretivas internacionais e a Portaria n.º 888/2021*, com uma análise crítica dos procedimentos requeridos pela Portaria para monitorar agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água.

Após as avaliações realizadas na etapa anterior, chegou-se à conclusão de que seria possível considerar uma regionalização do controle e monitoramento dos agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano no Brasil. Para consolidar esta proposta foram utilizadas as informações disponíveis no site do IBAMA, que dá publicidade de acordo com a legislação brasileira, sobre a comercialização dos agrotóxicos. As informações são disponibilizadas em forma de tabelas e gráficos, como, por exemplo, o ranking dos agrotóxicos mais comercializados no Brasil, por estado da federação e, grau de toxicidade ambiental. Esta ação contempla o seguinte objetivo específico:

d) *Caracterizar o panorama de consumo de agrotóxicos no Brasil*, mostrando no item 6.3

*Consumo de agrotóxicos o panorama mundial e brasileiro, os agrotóxicos mais empregados e os maiores consumidores de agrotóxicos no Brasil.*

Após identificar os agrotóxicos mais empregados e os Estados maiores consumidores, procurou-se verificar o objetivo específico:

e) *Avaliar a presença de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água brasileiros segundo as informações do SISÁGUA.* Este objetivo foi atingido no item 6.4 *Presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água no Brasil.* Os resultados do monitoramento dos agrotóxicos na água estão disponíveis no site do SISÁGUA. A partir desses dados, é possível avaliar o estágio atual do monitoramento de agrotóxicos no país e verificar o período em que as amostras foram coletadas.

### **5.3 DELIMITAÇÃO DA APLICABILIDADE DA PROPOSTA**

Nesta fase, após examinar as dificuldades no monitoramento e constatar que os resultados atuais não permitem uma conclusão segura de que a água tratada distribuída à população não está contaminada por agrotóxicos, foi considerada a necessidade de propor uma metodologia que permitisse aperfeiçoar a amostragem, visto que os resultados alcançados suscitam dúvidas quanto à efetividade do monitoramento. Neste sentido, foram abordados os seguintes objetivos específicos:

c) *Identificar uma metodologia aplicável aos planos de monitoramento de agrotóxicos,* apresentou o referencial metodológico no item 4.6, este serviu de instrumento para atender ao objetivo específico:

f) *Propor uma metodologia para otimizar o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água no Brasil.* Neste sentido, foi desenvolvida uma proposta metodológica no item 6.5 *Metodologia para otimizar o monitoramento.* Optou-se por utilizar a análise multicritério na estruturação da metodologia visando elaborar planos de monitoramento, que pudessem ser aplicados em qualquer região brasileira. A análise multicritério estabeleceu: a base de dados necessária para formular as alternativas; as ferramentas e instrumentos analíticos; as variáveis mais representativas; os critérios para agrupar as variáveis e, por fim, pontuar os critérios de forma a ponderá-los e elencar as prioridades. A metodologia proposta está expressa no objetivo específico:

g) *Apresentar um estudo de caso para a metodologia proposta. O seu desenvolvimento apresentado no item 6.6. Estudo de Caso: Monitoramento escalonado de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água da Região Norte do Estado do RS*

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 FATORES RELEVANTES PARA O MONITORAMENTO DE AGROTÓXICOS

No mercado de agrotóxicos estão disponíveis inúmeras formulações para diversos fins, que vão desde o combate à malária, ao uso doméstico e na agricultura. A gama de ingredientes ativos varia quanto a suas propriedades físico-químicas, toxicidade e periculosidade ambiental. Além dos aspectos intrínsecos às suas formulações, a sua interação com o meio ambiente sob as condições climáticas e as características das bacias hidrográficas em que são aplicados, determinam que sua presença no meio ambiente não seja uniforme.

O monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água é um desafio devido às diversas variáveis que devem ser levadas em consideração, para obter resultados consistentes.

Além da variabilidade inerente aos compostos, a coleta, preservação, extração e análise de agrotóxicos requerem cuidados especiais. A preparação da amostra tem um impacto significativo no processo analítico. É imprescindível seguir um procedimento adequado de preparação da amostra para determinar os analitos ao nível do traço, utilizando técnicas que extraem um analito do solvente inicial para um segundo solvente, de acordo com a ferramenta analítica utilizada (Rutkowska *et al.*, 2019).

As análises de resíduos de agrotóxicos em água são difíceis de serem realizadas, uma vez que esses compostos apresentam propriedades físico-químicas distintas e ocorrem em concentrações extremamente baixas na presença de concentrações elevadas de compostos interferentes (Brondi; Lanças, 2006).

A Portaria n.º 888/2021 estabelece que todos os sistemas de abastecimento de água devem monitorar 40 agrotóxicos de forma semestral. Dada a complexidade inerente ao monitoramento de agrotóxicos na água, é provável que haja uma deficiência de capacidade analítica para atender às demandas de 5.570 municípios brasileiros. Isso pode ser constatado no Perfil Analítico da Rede Nacional de Laboratórios de Vigilância Sanitária (RNLVISA, 2023). Este site disponibiliza informações sobre os laboratórios acreditados pelo INMETRO para a análise de agrotóxicos, conforme os critérios estabelecidos na Norma da ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 (ABNT, 2017). Associado a essa limitação, há carência de profissionais

especializados, de uma logística adequada para coleta, preservação e envio das amostras, além dos elevados custos das análises e equipamentos (Silva, 2020).

## **6.2 ANÁLISE COMPARADA ENTRE AS DIRETIVAS INTERNACIONAIS E PORTARIA n.º 888/2021**

O Quadro 18 apresenta os critérios sugeridos ou regulamentados pela Organização Mundial da Saúde, União Europeia e países individuais para o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água. Em geral, há uma maior flexibilidade no monitoramento de agrotóxicos em outros países do que no Brasil. Os países admitem variações nas frequências de amostragem e nos tipos de agrotóxicos monitorados, dependendo das suas detecções nos sistemas de abastecimento de água.

No Brasil, a Portaria n.º 888/2021 contém uma relação de 40 agrotóxicos que devem ser monitorados semestralmente na captação, tratamento e distribuição na totalidade dos sistemas de abastecimento de água.

As diretivas da OMS, UE, Americana e Australiana estabelecem uma lista de referência que deve ser adequada às condições locais, fundamentando seus planos de monitoramento na análise de riscos à saúde humana. Israel possui uma diretiva mais detalhada provavelmente devido ao seu reduzido território, ao alto uso de agrotóxicos por área (cerca de 14,56 kg/ha no ano 2021 (FAO, 2023)) e à escassez hídrica.

**Quadro 18.** Critérios adotados no Brasil e pelas diretivas internacionais para o monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água

<b>Diretiva</b>	<b>Critérios de monitoramento</b>	<b>Frequência de monitoramento de agrotóxicos</b>
<b>Brasil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoramento deve ser realizado pela autoridade em saúde pública (Vigilância) e pelos operadores dos sistemas de abastecimento de água (Controle) de forma independente.</li> <li>- Planos de monitoramento devem ser aprovados pelas secretarias municipais de saúde.</li> <li>- Obrigatório em todos os 5.570 municípios do Brasil, se houver sistema de abastecimento de água.</li> <li>- Resultados publicados no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA).</li> </ul>	- Semestral, para 40 agrotóxicos.
<b>OMS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de segurança da água (PSA) são instrumentos adequados para alcançar os objetivos de água segura para consumo.</li> <li>- Prioriza o monitoramento microbiológico sobre o químico porque é considerado de maior risco imediato à saúde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anual (mananciais superficiais);</li> <li>- Mais espaçados (subterrâneos);</li> <li>- Subterrâneos podem ter frequência maior, dependendo da localização das fontes de poluição e fluxos no aquífero.</li> </ul>
<b>União Europeia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parâmetros devem ser atualizados anualmente;</li> <li>- Definida uma concentração máxima admissível (MAC) de 0,1 µg/L para um agrotóxico individual, e de 0,5 µg/L para a concentração total, em qualquer amostra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínima é estabelecida em função do volume diário de água distribuída ou produzida numa zona de abastecimento.</li> <li>- Verificada a ausência do agrotóxico na água, pode haver diminuição na frequência ou mesmo o encerramento do monitoramento.</li> </ul>
<b>Estados Unidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimentos comunitários elaboram seus planos de monitoramento a partir de um modelo (SMF) disponibilizado pela Agência de Proteção Ambiental (EPA).</li> </ul>	- Não define frequência padrão.
<b>Israel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de monitoramento elaborados com horizontes de 5 anos;</li> <li>- Ao final de cada ano, são avaliados os resultados e redefinidas as frequências.</li> </ul>	- Frequência variável segundo a categoria que o agrotóxico está enquadrado e dos resultados obtidos no monitoramento.
<b>Austrália</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de monitoramento consideram os riscos de contaminação;</li> <li>- Considera os desempenhos dos sistemas a curto e longo prazo;</li> <li>- O monitoramento microbiológico tem prioridade sobre o de agrotóxicos;</li> <li>- O programa de monitoramento deve ser elaborado por pessoal com conhecimento em sistemas de abastecimento de água, avaliação da qualidade da água e abordagem de gestão preventiva;</li> <li>- Consulta aos operadores de sistemas, profissionais de saúde, reguladores e autoridades responsáveis pela auditoria do desempenho do sistema de abastecimento de água potável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mensal quando detectado ou houver probabilidade da presença de agrotóxicos na água,</li> <li>- Anual, quando não for detectada a presença do agrotóxico na água.</li> </ul>

Fonte: da autora, 2023.

A Portaria n.º 888/2021, baseando-se nas diretivas internacionais, poderia ser flexibilizada para delimitar as exigências pontualmente nas regiões de elevado consumo de agrotóxicos. Dessa forma, seria possível reduzir o número de análises necessárias em uma determinada região com menor uso de princípios ativos, além de otimizar os recursos para aumentar a periodicidade nas regiões de maior consumo.

Além de espacializar o consumo, a exemplo da diretiva israelense, que estabelece um horizonte de cinco anos, com avaliações anuais dos resultados, e, a partir desses, altera ou mantém a frequência inicialmente estabelecida. É necessário avaliar continuamente os resultados para aprimorar a programação e monitorar somente aqueles sistemas que realmente estejam susceptíveis a presença de agrotóxicos.

Além disso, é importante considerar as áreas que sofrem influência indireta, como os municípios que não utilizam ou usam pouco agrotóxicos, mas estão localizados a jusante de grandes consumidores, na mesma bacia hidrográfica.

Para implementar um plano de monitoramento flexível são necessárias algumas ações, tais como: 1º) limitar a área de monitoramento de acordo com as informações de comercialização dos agrotóxicos, disponíveis no banco de dados do IBAMA; 2º) definir os agrotóxicos a monitorar em cada região, segundo a sua incidência de comercialização.

## **6.3 CONSUMO DE AGROTÓXICOS**

### **6.3.1 Panorama mundial**

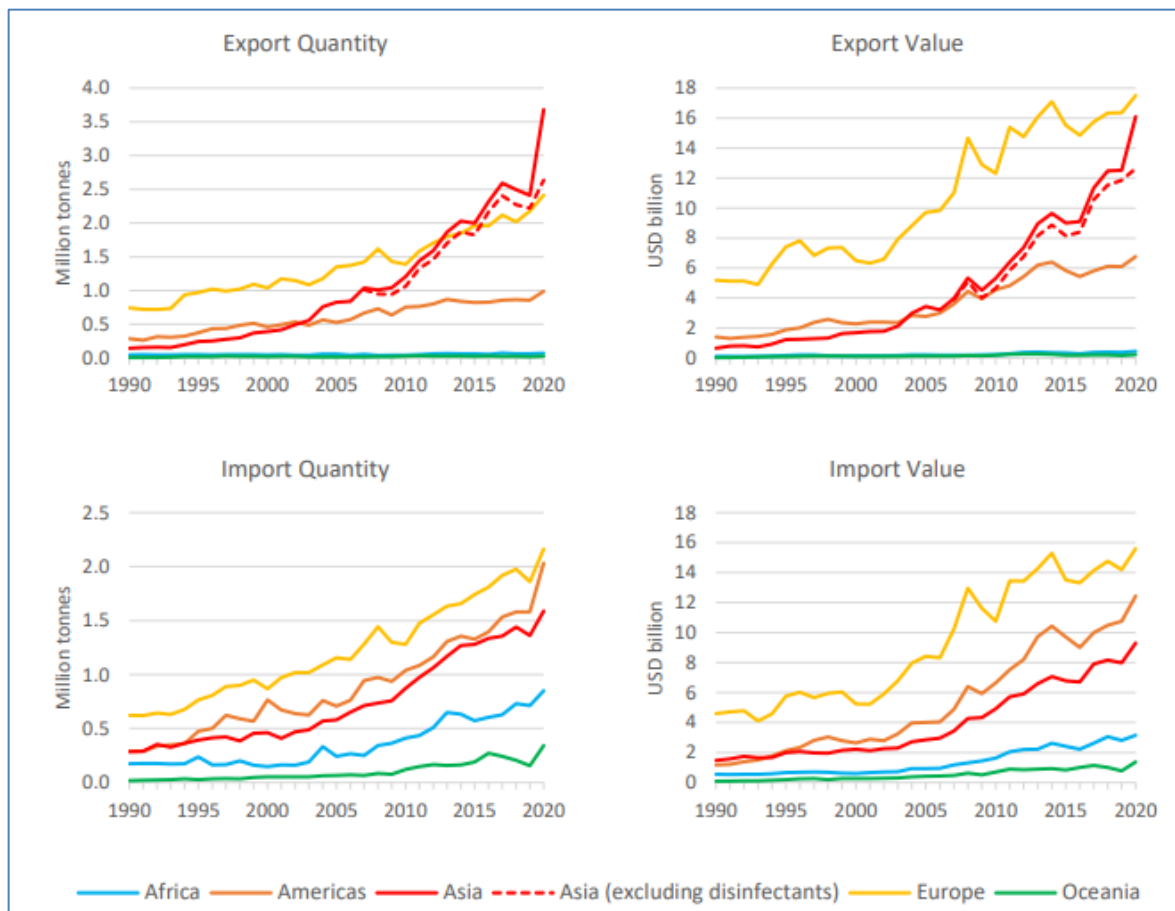
As estatísticas do comércio de agrotóxicos são relevantes para monitorar a sua possível presença nos mananciais utilizados na captação para sistemas de abastecimento de água.

Segundo a FAO (2022), o uso global de agrotóxicos na agricultura permaneceu estável em 2020, totalizando 2,7 milhões de toneladas (Mt) de ingredientes ativos. A média de aplicação de agrotóxicos por área de cultivo foi de 1,8 kg/ha. A utilização de agrotóxicos aumentou cerca de 50 por cento em relação à década de 1990. O consumo por área cultivada passou de 1,2 a 1,8 kg/ha. A aplicação global de agrotóxicos cresceu significativamente nos últimos dois períodos, especialmente para herbicidas, fungicidas, bactericidas e inseticidas. O consumo de herbicidas aumentou de 41 a 52% do total de agrotóxicos e foram reduzidas as participações de fungicidas de 25 a 23% e inseticidas de 24 a 18%.



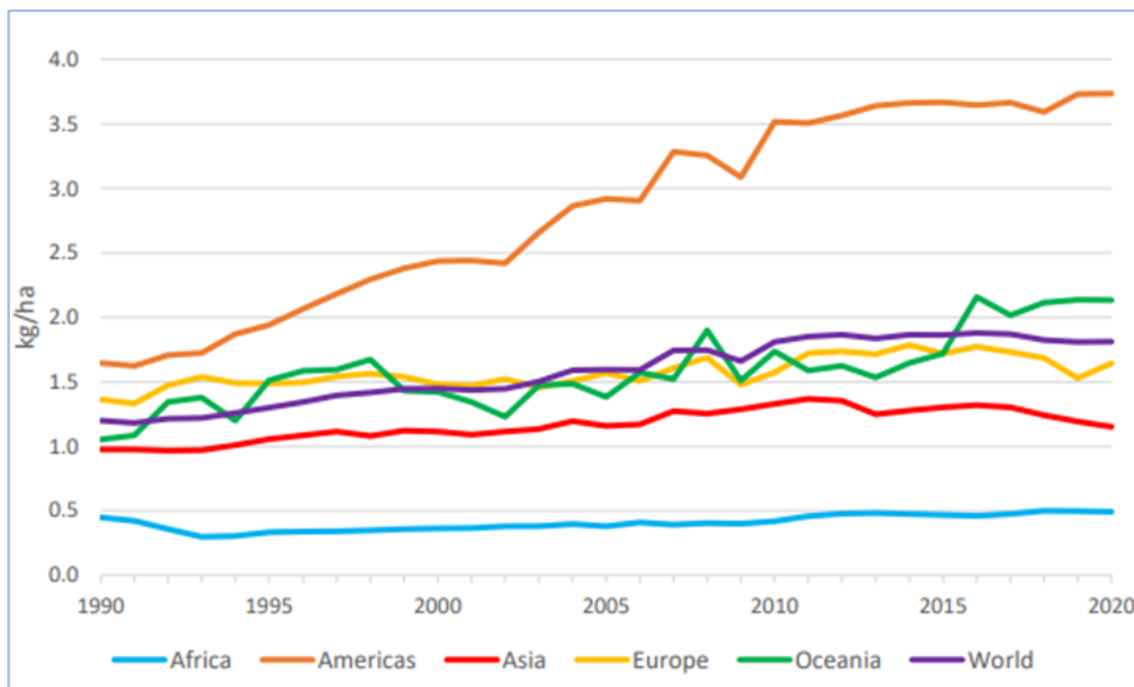
As Figuras 6 e 7 apresentam um panorama geral das quantidades e valores de agrotóxicos comercializados e aplicados em cada continente. Os dados mostram que, em 2020, a Ásia foi à maior exportadora mundial e as Américas importaram o maior volume de agrotóxico em relação às outras regiões do mundo (FAO, 2022).

**Figura 6.** *Quantidades e valores totais de exportação e importação de agrotóxicos mundiais*



Fonte: FAO, 2022.

**Figura 7.** *Uso de agrotóxicos por área de cultivo no mundo e continentes*

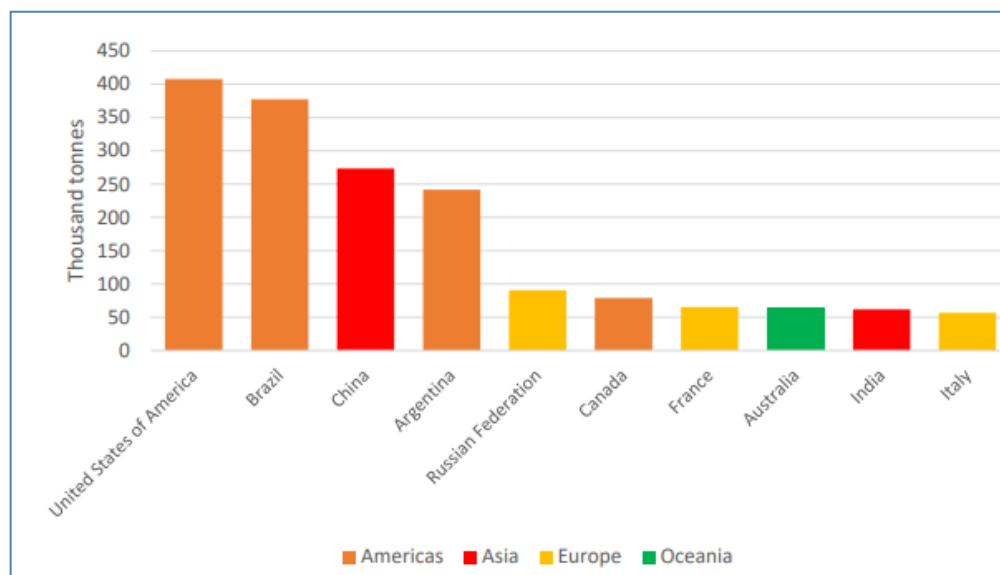


Fonte: FAO, 2022.

Na Figura 7, é possível notar uma diferença significativa entre as taxas de aplicação de agrotóxicos em diferentes regiões. Entretanto, há variações relevantes entre os países que estão situados no mesmo continente. Por exemplo, em 2020, na África, enquanto a maioria dos países aplicava volumes baixos de agrotóxicos, Maurícias, Seicheles e o Egito aplicaram taxas superiores à média global. Na Oceania, região caracterizada pelo baixo uso de agrotóxicos por área agrícola, Samoa, Fiji e Nova Zelândia se destacam como exceções. Os países mais industrializados da Europa Ocidental e do Norte da Europa aplicaram níveis mais elevados do que o restante da região. A maioria dos países com as maiores taxas de aplicação no continente asiático estão localizados na Ásia Ocidental. Nas Américas, Santa Lúcia é o país com o maior volume de aplicação de agrotóxicos na agricultura.

A Figura 8 mostra que os Estados Unidos da América foi o maior consumidor em 2020, com 408 kt (quilotoneladas) de agrotóxicos para uso agrícola. Em seguida, estão: Brasil (377 kt), China (273 kt), Argentina (241 kt), Federação Russa (91 kt), Canadá (79 kt), França (65 kt), Austrália (63 kt), Índia (61 kt) e Itália (57 kt). Os valores para a China foram revistos e reduzidos em cerca de -70%. Dessa forma, a China deixou de ser o maior consumidor de agrotóxicos, passando a ocupar o terceiro lugar.

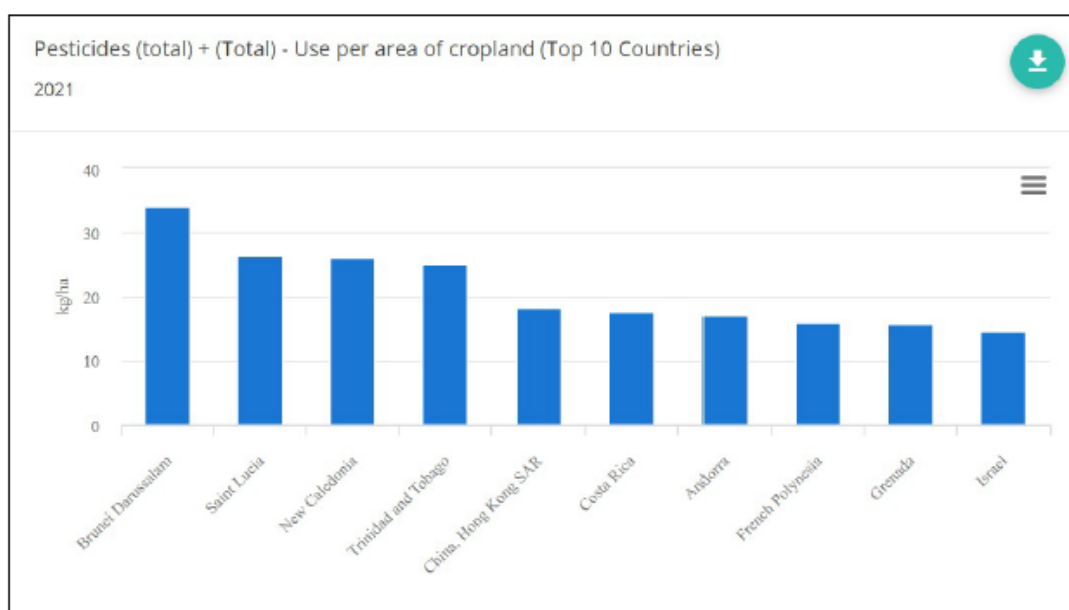
**Figura 8.** Dez maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, em 2021



**Fonte:** FAO, 2023.

A Figura 9 apresenta os dez países com maior uso de agrotóxicos por área de cultivo em 2021, são eles: Brunei (34 kg/ha), Saint Lúcia (26,5 kg/ha), Nova Caledônia (26 kg/ha), Trinidad e Tobago (25 kg/ha), China, Hong Kong (18,3 kg/ha), Costa Rica (17,6 kg/ha), Andorra (17 kg/ha), Polinésia Francesa (16 kg/ha), Granada (15,7 kg/ha), Israel (14,6 kg/ha).

**Figura 9.** Dez maiores consumidores mundiais de agrotóxicos por área agrícola, em 2021



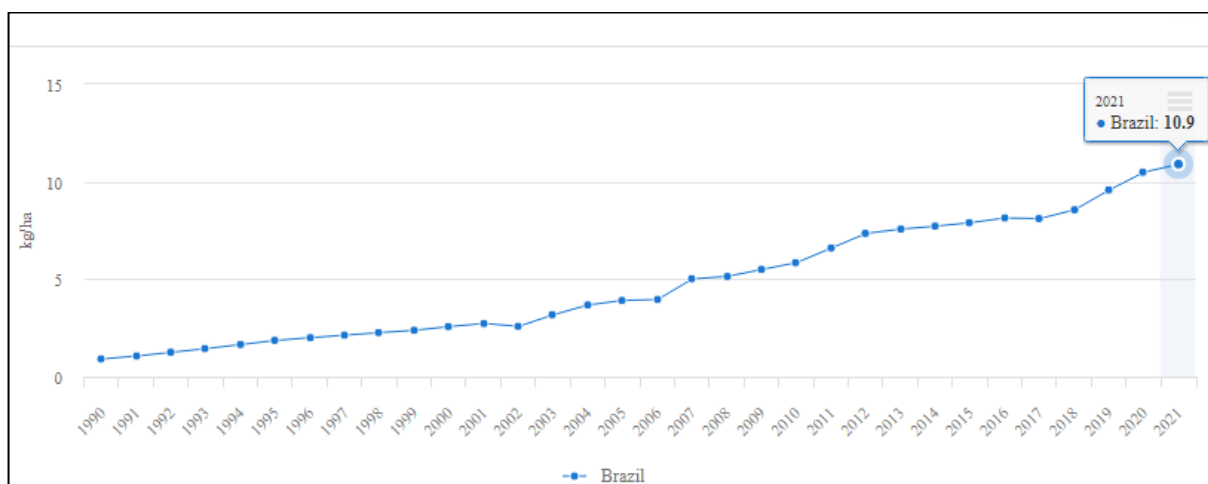
**Fonte:** FAO, 2023.

### 6.3.2 Consumo de agrotóxicos no Brasil

O Brasil, em 2021, foi o segundo maior consumidor mundial de agrotóxicos, com uma taxa de aplicação de 10,90 kg/ha por área cultivada. Em termos de taxa de aplicação o Brasil está abaixo dos 10 primeiros usuários, que apresentam taxas que variam de 34 kg/ha (1º lugar, Brunei) a 14,6 kg/ha (10º lugar Israel). Já em relação às taxas de aplicação médias mundiais e das Américas, respectivamente, 2,26 e 4,70 kg/ha, o país está bem acima (FAO, 2023). O elevado consumo está associado, em parte, à extensão de suas terras aráveis, ao clima que permite mais de uma colheita anual e, algumas vezes, ao próprio desconhecimento sobre as reais necessidades de aplicação por parte dos agricultores (Araújo; Oliveira, 2017).

A Figura 10 apresenta o consumo médio de agrotóxicos por área cultivada no Brasil, no período compreendido entre os anos de 1990 e 2021. O consumo brasileiro, em 2021, foi de 10,9 kg/ha, abaixo dos dez maiores consumidores mundiais. No entanto, a taxa de aplicação aumentou de 5 kg/ha em 2007 para 10,9 kg/ha em 2021, o que representa um aumento de aproximadamente 100% em 14 anos.

**Figura 10.** Consumo médio de agrotóxicos no Brasil no período de 1990-2021 (kg/ha)



Fonte: FAO, 2023

### 6.3.3 Os agrotóxicos mais empregados no Brasil

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) divulga um boletim anual sobre a produção, importação, exportação e venda de agrotóxicos, componentes e afins no Brasil. Esses dados são baseados nos relatórios semestrais

apresentados pelas empresas detentoras de registro desses produtos, conforme o disposto no art. 41 do Decreto 4.074, de 4/1/2002 (Brasil, 2002). A partir desses dados foi elaborada a Tabela 14, que apresenta a classificação dos dez ingredientes ativos de agrotóxicos mais comercializados no Brasil, entre os anos 2015 e 2021, segundo os boletins anuais do IBAMA.

**Tabela 14.** Os 10 ingredientes ativos mais vendidos – 2021 (ton. IA/ano)

Ingrediente Ativo (IA)	Vendas (ton. IA)	Ranking
Glifosato e seus sais	219.585,51	1º
2,4-D	62.165,70	2º
Mancozebe	50.340,24	3º
Clorotalonil	38.320,40	4º
Atrazina	37.298,57	5º
Acefato	35.856,00	6º
Malationa	13.291,23	7º
Cletodim	9.750,70	8º
Enxofre	9.434,95	9º
S-metolacoloro	9.374,02	10º

Fonte: IBAMA, 2023.

O Quadro 19 apresenta a classificação dos 10 agrotóxicos mais comercializados no Brasil, entre 2015 a 2021. Percebe-se que há pouca variação entre os IAs mais empregados.

**Quadro 19.** Posição dos 10 IA mais comercializados no Brasil, entre 2015 e 2021

Posição	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
1º	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais	Glifosato e seus sais
2º	2,4-D	2,4-D	2,4-D	2,4-D	2,4-D	2,4-D	2,4-D
3º	Mancozebe	Mancozebe	Mancozebe	Mancozebe	Mancozebe	Mancozebe	Óleo mineral
4º	Clorotalonil	Atrazina	Acefato	Atrazina	Acefato	Atrazina	Mancozebe
5º	Atrazina	Acefato	Atrazina	Acefato	Óleo mineral	Óleo mineral	Acefato
6º	Acefato	Clorotalonil	Clorotalonil	Dicloreto de paraquate <sup>1</sup>	Atrazina	Acefato	Atrazina
7º	Malationa	Malationa	Dicloreto de paraquate <sup>1</sup>	Enxofre	Óleo vegetal	Óleo vegetal	Óleo vegetal
8º	Cletodim	Enxofre	Malationa	Imidacloprido	Dicloreto de paraquate <sup>1</sup>	Dicloreto de paraquate <sup>1</sup>	Dicloreto de paraquate <sup>1</sup>
9º	Enxofre	Imidacloprido	Enxofre	Óleo vegetal	Imidacloprido	Imidacloprido	Clorpirifós
10º	S-metolacoloro	Clorpirifós	Clorpirifós	Oxicloreto de cobre	Oxicloreto de cobre	Clorpirifós	Imidacloprido

Fonte: Autora (2023). Dados do IBAMA, 2020/2023.

**Nota:** <sup>1</sup>. O Dicloreto de Paraquate não consta em 2020, porque a ANVISA o proibiu em todo país, desde o dia 22 de setembro de 2020. A produção, importação, comercialização e utilização de produtos técnicos e formulados a base do ingrediente ativo Paraquate não é mais permitida (IBAMA, 2021). No entanto, foi possível utilizar os estoques até 31 de março de 2021, autorizado através de liminar do Ministério Público Federal (MPF, 2022).

2. As cores são para identificar a posição de cada agrotóxico no respectivo ano.

### **6.3.3.1 Classificação dos agrotóxicos mais empregados no Brasil**

A ocorrência e transporte de agrotóxicos no meio ambiente são fortemente influenciados por suas propriedades físicas e químicas, pois afetam sua persistência e particionamento. A persistência refere-se à tendência de um composto permanecer na sua forma química original no ambiente. Os que têm maior persistência podem permanecer na água, por longos períodos, enquanto os de menor transformam-se em outros compostos em tempos mais reduzidos. Já o particionamento é o processo pelo qual os agrotóxicos se distribuem entre os diferentes compartimentos ambientais tais como a água, sedimentos, biota e ar, geralmente resultando em concentrações mais altas em alguns meios do que em outros.

Nesse sentido faz-se necessário o conhecimento das propriedades físicas, químicas e a classificação toxicológica e ambiental dos principais ingredientes ativos comercializados no Brasil, conforme as Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15.** Classificação quanto à toxicidade e periculosidade ambiental, grupos químicos e classes agrônômicas dos principais agrotóxicos comercializados no Brasil

Posição 2021	Princípio Ativo	Nº Produtos Registrados	Grau de Toxicidade	Grau de Periculosidade Ambiental	Grupo Químico	Classe Agrônômica
1º	Glifosato e sais	122	5 – 4	III	Glicina substituída	Herbicida
2º	2,4-D	102	5 – 4	III	Ácido ariloxialcanóico	Herbicida
3º	Mancozebe	1	3	II	Alquilenobis (ditiocarbamato)	Acaricida Fungicida
4º	Clorotalonil	61	5 – 2	III – II	Isoftalonitrila	Fungicida
5º	Atrazina	74	5 – 4	III – II	Triazina	Herbicida
6º	Acefato	30	5 – 2	III – II	Organofosforado	Acaricida Fungicida
7º	Malationa	11	4	II	Organofosforado	Inseticida
8º	Cletodim	34	5	III	Oxima ciclohexanodiona	Herbicida
9º	Enxofre	12	5	IV	Inorgânico	Acaricida Fungicida
10º	S-metolacoloro	25	5	II	Cloroacetanilida	Herbicida
<b>TOTAL</b>		472				

**Fonte:** da Autora, 2023. Dados IBAMA; AGROFIT, 2023.

**Notas:**

1. Os ingredientes ativos assinalados em verde, não constam Portaria n.º 888/21.
2. No Anexo I, encontra-se a relação dos 40 agrotóxicos listados na Portaria n.º 888/21.
3. Grau de toxicidade: 1- extremamente tóxico; 2- altamente tóxico; 3 – moderadamente tóxico; 4 – pouco tóxico; 5 – improvável de causar dano agudo.
4. Grau de periculosidade: I – altamente perigoso; II – muito perigoso; III – perigoso e IV – pouco perigoso

O *cletodim* e o  *enxofre* estão classificados toxicologicamente na Classe V- Improvável de causar dano agudo (Souza *et al.*, 2023). O *cletodim* não foi selecionado por apresentar potencial intermediário de adsorção ao solo e baixo tempo de meia-vida, tanto na água como no solo (MS, 2020).

Dos 10 produtos mais consumidos no Brasil (Tabela 16), existem 472 produtos registrados. Os graus de toxicidade e periculosidade ambiental dos produtos variam de acordo com a composição dos ingredientes ativos, ou seja, por vezes o produto apresenta uma mistura de

ingredientes ativos que pode torná-lo mais tóxico e/ou perigoso.

### 6.3.3.2 Propriedades dos agrotóxicos mais empregados no Brasil

Na Tabela 16 pode-se observar que as propriedades físico-químicas dos diversos agrotóxicos não são uniformes apresentando uma alta variabilidade. Isso requer um tratamento diferenciado tanto no monitoramento como nas tecnologias empregadas nas estações de tratamento de água.

**Tabela 16.** Propriedades físico-químicas dos principais agrotóxicos comercializados no Brasil

Posição 2021	Princípio Ativo	Solubilidade em água (25° C) (mgL <sup>-1</sup> )	Koc (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	Meia vida D <sub>T50</sub> (dias)	Volatilização (20°C) (mPa)
1º	Glifosato e sais	900-11.600	24.000	3-174	Desprezível
2º	2,4-D	900	20	7	8 x 10 <sup>-6</sup>
3º	Mancozebe	6,2	998	76	0,056
4º	Clorotalonil	0,81	2632	0,57	0,076
5º	Atrazina	70	39-173	40-100	0,04
6º	Acefato	790.000	--	--	0,226
7º	Malationa	130-145	1.800	1-25	3,1
8º	Cletodim	5.450	--	28-310	2,0 x10 <sup>-4</sup>
9º	Enxofre	--	--	--	--
10º	S-metolaclo-ro	530	200	15-70	1,7

Fonte: da autora, Dados: IBAMA, 2019.

Notas: Os ingredientes ativos assinalados em verde, não constam Portaria n.º 888/21; --: ausência de dados

O IBAMA órgão instituído para efetuar o controle do registro do consumo dos agrotóxicos no Brasil, apresenta anualmente o ranking dos dez mais consumidos. Na sequência são descritas as características dos agrotóxicos mais consumidos no ano de 2021 (IBAMA, 2023). Pode-se observar que suas características e propriedades físico-químicas são diversas, portanto, amostrar todos os ingredientes ativos no mesmo dia, provavelmente é uma das causas da baixa detecção.

#### 1º) Glifosato

O glifosato é um herbicida não seletivo, comum e eficaz. É altamente solúvel em água, relativamente volátil e normalmente não lixivia para as águas subterrâneas. Não é persistente



nos solos, mas pode persistir em sistemas aquáticos em certas condições. É moderadamente tóxico para os seres humanos e irritantes para a pele e os olhos. É, moderadamente tóxico para aves, a maioria dos organismos aquáticos, minhocas e abelhas (Lewis *et al.*, 2016).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o glifosato como provável cancerígeno humano (Grupo 2A), com base em evidência de carcinogenicidade limitada em seres humanos (linfoma não-Hodgkin) e suficiente evidência em animais de experimentação. Porém, outras agências como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Agência Reguladora de Gestão de Pragas do Canadá (PMRA), Autoridade Europeia em Segurança Alimentar (EFSA), Grupo de Especialistas FAO/OMS sobre Resíduos de Pesticidas (JMPR), Comissão de Segurança alimentar do Japão (FSCJ), Autoridade Australiana de Pesticidas e Medicamentos Veterinários (PVMA) além da ANVISA concluíram que é improvável que o glifosato represente risco carcinogênico para o ser humano (CETESB, 2022).

### 2º) 2,4-D

O 2,4-D é um herbicida sistêmico seletivo usado para o controle de ervas daninhas de folhas largas. É altamente solúvel em água, volátil e tem baixo potencial de lixiviação para as águas subterrâneas com base em suas propriedades químicas. Não é persistente no solo, mas pode permanecer em sistemas aquáticos em certas condições. É moderadamente tóxico para mamíferos, mas não deve bioacumular. Pode ter efeitos negativos na reprodução e no desenvolvimento e é considerado uma neurotoxina e irritante. É moderadamente tóxico para pássaros e a maioria das espécies aquáticas, bem como para abelhas e minhocas (Lewis *et al.*, 2016).

### 3º) Mancozebe

Mancozeb é um fungicida que já foi comumente usado. Tem baixa solubilidade aquosa, é bastante volátil e não se espera que lixivie para as águas subterrâneas. Não é persistente nos sistemas de solo, mas pode ser persistente na água em certas condições. O mancozebe tem baixa toxicidade para mamíferos e tem sido associado a efeitos adversos na reprodução/desenvolvimento. É altamente tóxico para peixes e invertebrados aquáticos e moderadamente tóxico para pássaros e minhocas. A toxicidade do mancozebe para as abelhas é baixa (Lewis *et al.*, 2016).

#### 4º) Clorotalonil

O clorotalonil é um fungicida de amplo espectro. Tem uma baixa solubilidade aquosa, é volátil e não se espera que lixivie para as águas subterrâneas. É ligeiramente móvel. Tende a não ser persistente nos sistemas de solo, mas pode manter-se na água. Tem uma baixa toxicidade para mamíferos, mas existe alguma preocupação quanto ao seu potencial de bioacumulação. É um irritante reconhecido. O clorotalonil é moderadamente tóxico para pássaros, abelhas e minhocas, mas é considerado mais tóxico para organismos aquáticos (Lewis *et al.*, 2016).

#### 5º) Atrazina

Atrazina é um herbicida usado para controlar ervas daninhas e gramíneas de folhas largas. Possui ação seletiva e sistêmica com atividade residual e foliar. Tem uma baixa solubilidade aquosa e é volátil. É moderadamente tóxico para mamíferos, não se espera que se bioacumule e é irritante para a pele, os olhos e o sistema respiratório. O atrazina é moderadamente tóxica para a maioria dos seres aquáticos, minhocas e abelhas, mas apresenta menos risco para as aves. Quanto ao comportamento no solo o atrazina é moderadamente adsorvido no solo, a qual aumenta em pH baixo. Sua moderada fotodegradação contribui para sua dissipação no ambiente, principalmente quando ocorrer períodos prolongados de falta de chuva e o herbicida ficar depositado na superfície do solo (Lewis *et al.*, 2016).

#### 6º) Acefato

O acefato é um inseticida organofosforado usado para controlar pragas sugadoras e mastigadoras. É altamente solúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos e é volátil. Não se espera que lixivie para as águas subterrâneas, pois tende a não persistir no solo e nos sistemas aquáticos. É moderadamente tóxico para mamíferos e tem baixo potencial de bioacumulação. O acefato também é um irritante reconhecido. Possui toxicidade moderada a baixa para pássaros, abelhas, minhocas e a maioria dos organismos aquáticos (Lewis *et al.*, 2016).

O principal processo de degradação do acefato no solo é o metabolismo aeróbio, com meia-vida menor que 2 dias em condições apropriadas de uso do inseticida, produzindo metamidofós. O inseticida é estável a hidrólise, exceto em pH alto (meia-vida de 18 dias em pH 9). O acefato não é persistente em sedimento argiloso anaeróbio (meia-vida de 6,6 dias).

Os principais produtos de degradação em condições anaeróbias são dióxido de carbono e metano (CETESB, 2020).

#### 7º) Malationa

Malationa é um inseticida de amplo espectro. É moderadamente solúvel em água e facilmente solúvel em muitos solventes orgânicos. É bastante volátil e tem baixo potencial de lixiviação para as águas subterrâneas. O malationa geralmente não é persistente no solo ou nos sistemas hídricos. É moderadamente tóxico para mamíferos, sendo um inibidor da colinesterase e uma neurotoxina. O malationa é altamente tóxico para as abelhas e espécies aquáticas, com exceção das algas. É moderadamente tóxico para pássaros e minhocas (Lewis *et al.*, 2016).

#### 8º) Cletodim

Membro da família ciclohexanodiona de herbicidas, é usado para controlar gramíneas, especialmente *Lolium rigidum*. Embora as amostras impuras pareçam amareladas, o composto é incolor. É um herbicida de ação graminicida pós-emergente, sistêmico e altamente seletivo para as culturas de algodão, alho, batata, café, cebola, cenoura, feijão, fumo, mandioca, melancia, soja e tomate. Também pode ser aplicado em pós-emergência dessas culturas, assim como para aplicação em pré-emergência das culturas de milho e trigo (IBAMA, 2019).

#### 9º) Enxofre

O enxofre, substância inorgânica que atua como acaricida, inseticida e fungicida, tem registro para uso em 43 culturas. É altamente persistente e afeta a ciclagem de carbono e de nitrogênio. Porém, para os demais parâmetros, o ingrediente ativo, em geral, é pouco tóxico (IBAMA, 2009).

#### 10º) S-metolaclo

Este produto é extremamente móvel, apresenta alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir principalmente águas subterrâneas. É muito persistente no meio ambiente e tóxico para organismos aquáticos (algas) (Lewis *et al.*, 2016).

### 6.3.4 Maiores consumidores de agrotóxicos no Brasil

A Tabela 17 apresenta os maiores consumidores estaduais dos dez agrotóxicos mais empregados no Brasil em 2020. Em termos percentuais, relativos ao total dos IA mais

comercializados, destacam-se os seguintes estados: Mato Grosso (21%), Rio Grande do Sul (12%), São Paulo (11%), Paraná (10%), Goiás (8%), Minas Gerais (7%), Mato Grosso do Sul (7%) e Bahia (5%). É possível notar que Mato Grosso é o líder na aplicação de nove dos dez ingredientes ativos considerados. Esses oito Estados são compostos por 3.277 (60% do total que corresponde a 5.570) municípios e representam 67% do consumo brasileiro.

**Tabela 17.** *Ingredientes ativos mais comercializados no Brasil e os maiores consumidores estaduais, em 2021 (ton. de IA)*

IA/ Estado/	MT	PR	RS	BA	SP	GO	MG	MS	Total Brasil
<b>Nº Municípios</b>	<b>141</b>	<b>399</b>	<b>497</b>	<b>417</b>	<b>645</b>	<b>246</b>	<b>853</b>	<b>79</b>	<b>5570</b>
1. Glifosato e seus sais	39.495	23.639	28.319	11.385	18.128	19.964	15.693	16.486	219.581
2. 2,4-D	9.947	7.476	8.708	3.552	6.527	4.241	2.994	4.522	62.166
3. Mancozebe	16.117	3.440	8.017	2.074	3.686	3.625	4.174	2.411	50.340
4. Clorotalonil	7.990	3.790	2.908	1.986	8.205	3.384	2.400	2.934	38.320
5. Atrazina	7.937	4.737	1.755	1.179	2.843	3.616	2.913	3.587	37.299
6. Acefato	12.323	3.311	3.705	1.530	3.365	2.373	1.876	2.865	35.856
7. Malationa	5.016	1.044	30	3.904	1.012	125	160	127	13.291
8. Cletodim	1.473	1.292	1.233	404	1.615	805	695	652	9.751
9. Enxofre	0	348	45	170	6.650	154	957	1	9.435
10. S-metolacloro	2.989	375	1.126	476	1.979	780	456	376	9.374
<b>TOTAL (10 IA)</b>	<b>103.287</b>	<b>49.452</b>	<b>55.846</b>	<b>26.660</b>	<b>54.010</b>	<b>39.067</b>	<b>32.318</b>	<b>33.961</b>	<b>485.413</b> 67% (1)
TOTAL (todos IA)	%								<b>719.507</b> 100% (2)
% do Total (10 IA)	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>81(3)</b>
% do Total (todos IA)	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>55(4)</b>

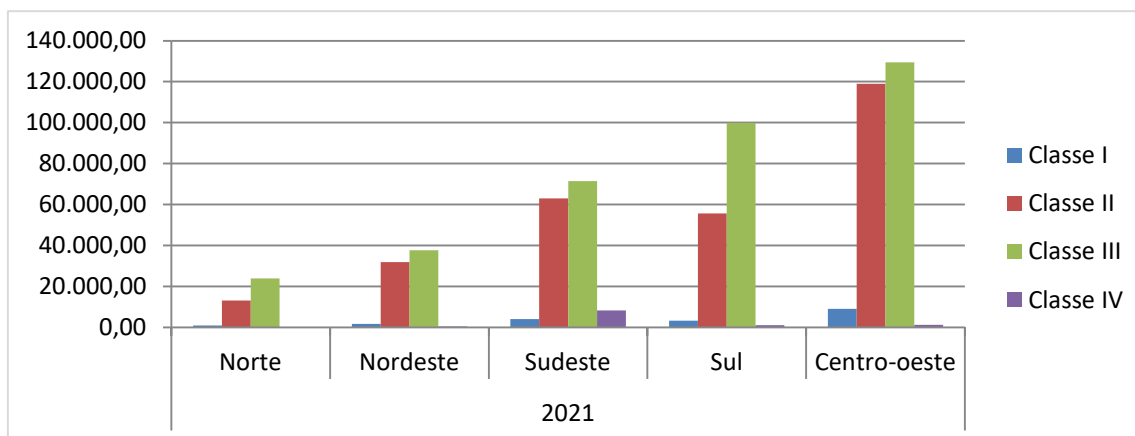
Fonte: da Autora, 2023. Dados: IBAMA, 2023.

**Notas:**

- Os 10 IA mais comercializados no Brasil, em 2021, representam 67% do total de IA comercializados.
- O volume total de IA comercializados no Brasil no ano de 2021 alcançou 719.507 toneladas
- Os oito Estados consomem 81% do total dos 10 IA mais comercializados no Brasil no ano 2021.
- Os oito Estados consomem 55% do total de IA comercializados no Brasil no ano 2021.

Na Figura 11, é possível notar o predomínio do consumo de agrotóxicos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, e o maior emprego está entre as classes II e III de periculosidade ambiental.

**Figura 11.** Agrotóxicos comercializados por classe de periculosidade ambiental em 2021 (ton. IA/ano)



**Fonte:** da Autora, 2023. Dados: IBAMA, 2023.

A Tabela 18 mostra os maiores consumidores estaduais de agrotóxicos no Brasil, conforme a classe de periculosidade ambiental.

Observa-se que os maiores consumos estão concentrados nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. No Nordeste, apenas a Bahia tem um consumo significativo, embora esteja bem abaixo dos outros Estados. Em termos de periculosidade ambiental, os maiores consumos de IA estão nas classes III (54 %) e II (41,6%), respectivamente perigosos e muito perigosos. Os consumos de IA nas classes I (altamente perigoso) e IV (pouco perigoso) foram 2,8% e 1,67%, respectivamente. A Região Centro-Oeste apresentou o maior consumo entre as Regiões.

**Tabela 18.** Vendas de agrotóxicos e afins por classe de periculosidade ambiental em 2021 (ton. de IA/ano)

Região/UF	Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV		Totais	
	Qtde (ton. IA)	Part. (%)	Qtde (ton. IA)	Part. (%)	Qtde (ton. IA)	Part. (%)	Qtde (ton. IA)	Part. (%)	Qtde (ton. IA)	Part. (%)
<b>Norte</b>	984,49	2,6	<b>13.136,22</b>	34,6	<b>23.833,35</b>	62,8	17,55	0,05	37.971,61	100
AC	11,93	1,4	241,73	27,7	617,59	70,9	0,00	0,00	871,25	100
AM	2,42	1,6	75,44	48,6	77,34	49,8	0,07	0,05	155,27	100
AP	0,13	1,3	1,56	15,0	8,69	83,7	0,00	0,00	10,39	100
PA	278,39	2,1	<b>4.386,42</b>	33,5	<b>8.428,50</b>	64,4	2,30	0,02	13.095,61	100
RO	306,94	3,1	<b>3.642,07</b>	36,8	<b>5.945,62</b>	60,1	0,57	0,01	9.895,20	100
RR	12,20	1,7	204,94	28,5	488,82	68,0	12,65	1,76	718,61	100
TO	372,48	2,8	<b>4.584,05</b>	34,7	<b>8.266,80</b>	62,5	1,96	0,01	13.225,29	100
<b>Nordeste</b>	1.651,86	2,3	<b>31.812,28</b>	44,6	<b>37.621,12</b>	52,7	303,05	0,42	71.388,31	100
MA	384,77	2,8	<b>4.751,56</b>	34,5	<b>8.607,50</b>	62,6	11,61	0,08	13.755,44	100
PI	297,35	3,4	<b>3.548,52</b>	40,9	<b>4.836,06</b>	55,7	1,82	0,02	8.683,76	100
CE	8,46	0,9	254,07	27,1	625,77	66,8	49,09	5,24	937,38	100
RN	13,44	2,6	226,12	43,1	266,04	50,7	19,19	3,66	524,78	100
PB	4,37	0,1	<b>2.361,30</b>	81,0	549,17	18,8	0,32	0,01	2.915,16	100
PE	37,75	1,0	<b>1.430,45</b>	36,6	<b>2.378,40</b>	60,9	56,84	1,46	3.903,45	100
AL	13,93	0,7	<b>1.004,73</b>	50,2	981,94	49,1	0,16	0,01	2.000,75	100
SE	14,07	1,0	654,29	46,1	729,51	51,4	22,43	1,58	1.420,30	100
BA	877,72	2,4	<b>17.581,23</b>	47,2	<b>18.646,73</b>	50,1	141,60	0,38	37.247,27	100
<b>Sudeste</b>	4.040,05	2,8	<b>62.994,49</b>	43,0	<b>71.448,01</b>	48,8	<b>8.040,85</b>	5,49	146.523,40	100
ES	32,29	0,8	<b>1.252,12</b>	30,3	<b>2.826,12</b>	68,5	16,71	0,40	4.127,24	100
MG	<b>1.293,88</b>	2,5	<b>22.010,70</b>	42,0	<b>28.089,57</b>	53,6	<b>1.011,11</b>	1,93	52.405,26	100
RJ	2,87	-0,3	66,58	-7,2	-1.003,68	108,2	6,97	-0,75	- 927,26	100
SP	<b>2.711,01</b>	3,0	<b>39.665,10</b>	43,6	<b>41.536,00</b>	45,7	<b>7.006,06</b>	7,71	90.918,16	100
<b>Sul</b>	<b>3.322,68</b>	2,1	<b>55.651,89</b>	34,8	<b>99.921,05</b>	62,5	1.019,51	0,64	159.915,14	100
PR	<b>1.784,33</b>	2,5	<b>27.607,05</b>	39,3	<b>40.234,11</b>	57,3	643,36	0,92	70.268,84	100
SC	253,31	1,9	<b>5.011,21</b>	36,9	<b>8.162,21</b>	60,2	137,72	1,02	13.564,45	100
RS	<b>1.285,05</b>	1,7	<b>23.033,63</b>	30,3	<b>51.524,73</b>	67,7	238,43	0,31	76.081,85	100
<b>Centro-Oeste</b>	<b>9.047,29</b>	3,5	<b>118.905,08</b>	46,1	<b>129.448,70</b>	50,1	791,78	0,31	258.192,86	100
DF	59,22	3,8	685,07	43,8	809,36	51,8	10,06	0,64	1.563,71	100
GO	<b>2.003,69</b>	3,4	<b>23.480,99</b>	40,3	<b>32.498,83</b>	55,7	339,04	0,58	58.322,56	100
MS	<b>2.192,71</b>	4,6	<b>18.525,02</b>	39,1	<b>26.508,75</b>	56,0	98,88	0,21	47.325,36	100
MT	<b>4.791,67</b>	3,2	<b>76.214,00</b>	50,5	<b>69.631,76</b>	46,1	343,80	0,23	150.981,23	100
<b>Sem UF</b>	<b>1.034,81</b>	2,3	<b>16.526,80</b>	36,3	<b>26.108,26</b>	57,4	<b>1.846,27</b>	4,06	45.516,14	100
<b>Vendas Totais</b>	<b>20.081,18</b>	<b>2,8</b>	<b>299.026,76</b>	<b>41,6</b>	<b>388.380,50</b>	<b>54,0</b>	<b>12.019,01</b>	<b>1,67</b>	<b>719.507,44</b>	100

Fonte: IBAMA, 2023.

**Notas:**

1. **Classe I:** produto altamente perigoso ao meio ambiente; **Classe II:** produto muito perigoso ao meio ambiente; **Classe III:** produto perigoso ao meio ambiente e **Classe IV:** produto pouco perigoso ao meio ambiente.

2. **Qtde** = Quantidade de IA por classe de periculosidade ambiental dos produtos comercializados

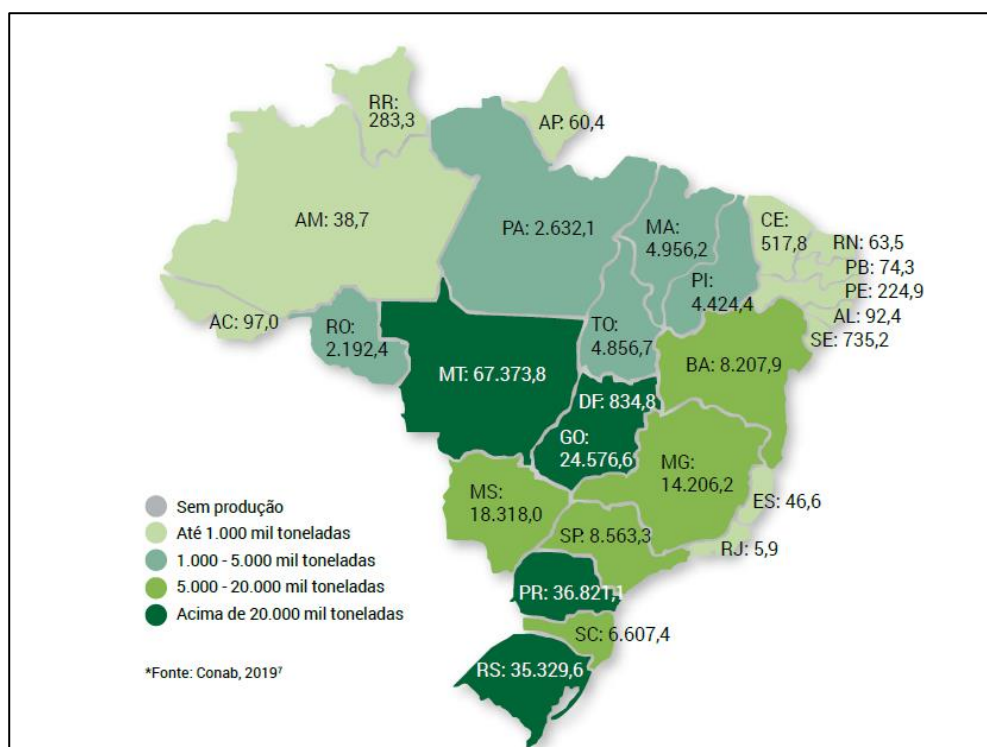
3. **Part. (%)** = Percentual da quantidade comercializada por classe de periculosidade ambiental em relação ao total das vendas na Unidade Federativa (UF).

4. **Vendas sem UF:** Sem a indicação das vendas por UF devido a algumas empresas titulares de registro dispor de contratos para comercialização de seus produtos por terceiros e não conhecerem com precisão a distribuição dessas vendas.

5. **Vendas com sinal negativo:** representa que houve retorno à indústria/estoque.

As Figuras 12 e 13 apresentam a produção de grãos brasileira nas safras de 2018-2019 e 2022-2023. É possível notar que os maiores produtores, acima de 20.000 toneladas/ano estão distribuídos em ordem decrescente nos Estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás. Ao se verificar os Estados com maior produção em grãos no Brasil pode-se ratificar os dados do IBAMA relativo aos Estados maiores consumidores de agrotóxicos, conforme pode ser observado nas Tabelas 17 e 18.

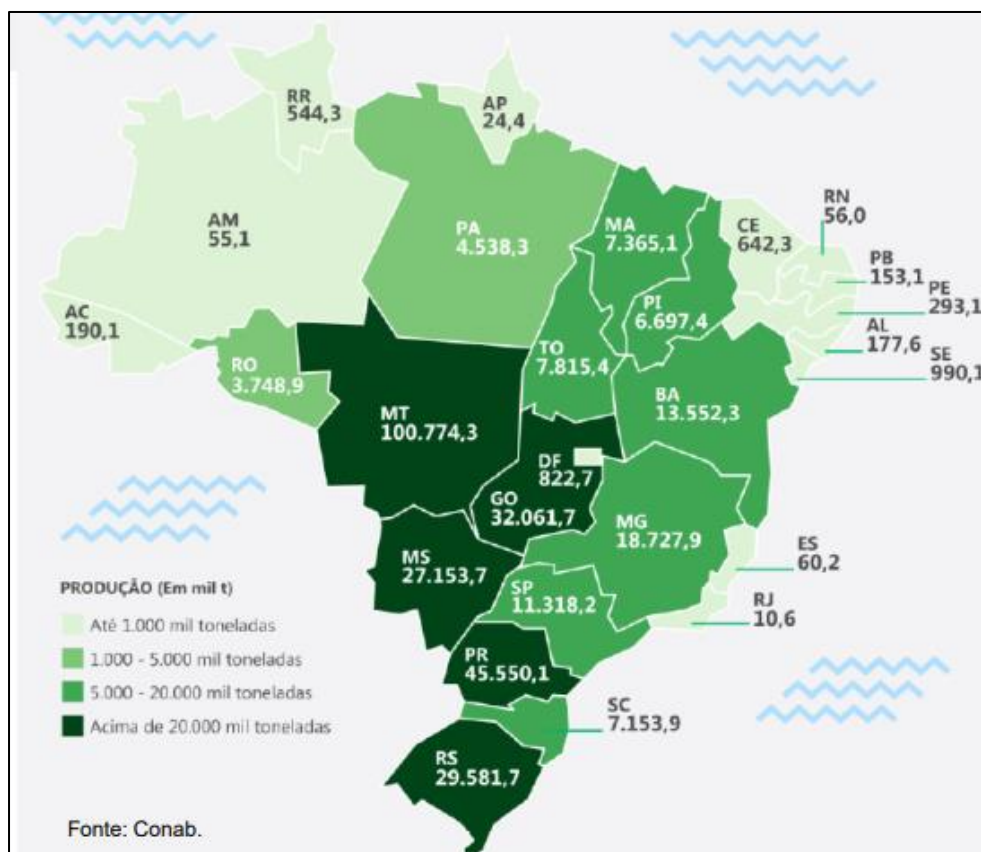
**Figura 12.** Produção de grãos no Brasil na safra 2018-2019 (em mil toneladas)



Fonte: CONAB, 2019.

A comparação entre as safras de 2018-2019 e 2022-2023 revela uma redução significativa na produção nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Amapá. Já os outros Estados apresentaram um aumento expressivo na produção, como ocorreu na região Norte.

**Figura 13.** Produção de grãos no Brasil na safra 2022-2023(em mil toneladas)



Fonte: CONAB, 2023.

Conforme os dados apresentados verificam-se que nem todos os agrotóxicos são usados de forma uniforme em todas as regiões e municípios do Brasil. Nesse sentido, a possibilidade de elaborar planos de monitoramento espacializados pode otimizar os recursos, tanto estruturantes que correspondem aos esforços e à mobilização de pessoal para planejar o monitoramento, quanto os recursos estruturais necessários para a execução das atividades planejadas.

A espacialização possibilita analisar a área de abrangência do consumo de cada agrotóxico relacionado na Portaria n.º 888/21 e suas respectivas bacias hidrográficas. Assim, planos de monitoramento espacializados permitem otimizar recursos, aumentar e qualificar informações, o que torna possível uma melhor avaliação da presença de agrotóxicos na água para consumo humano. Viabilizam ações, como: 1º) ampliar a amostragem, fornecendo informações mais precisas para as políticas públicas de saúde visando à redução de



contaminantes na água de consumo humano; 2º) a obter perfis nacionais, em termos de comportamento no meio ambiente e efeitos na saúde humana, dos principais ingredientes ativos e suas combinações associadas, por meio de cruzamento dos dados de monitoramento com notificações de saúde; 3º) destinar recursos públicos para aparelhar laboratórios e treinar pessoal, uma vez que o número de parâmetros a serem amostrados poderá ser reduzido gradualmente; e 4º) identificar e priorizar as estações de tratamento de água que necessitam unidades adicionais, para a remoção de traços de agrotóxicos.

### **6.3.5 Consumo de agrotóxicos por Unidades da Federação**

No Anexo III, as Tabelas 19 a 21 apresentam de forma ordenada e decrescente o consumo por Estado de cada IA, identificando as posições de 1 a 10. Dado que o consumo significativo de agrotóxicos é superior a 1.000 toneladas por ano (Barbosa *et al.*, 2015), é possível notar que nem todos os parâmetros comercializados são utilizados em volume significativo.

## **6.4 PRESENÇA DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dos 5.570 municípios brasileiros, apenas 70% (3.877) estão cadastrados no SISÁGUA. Sendo assim, 30% dos municípios não monitoram ou não divulgam os dados de monitoramento de seus sistemas de abastecimento de água. Dos 3.877 municípios no SISÁGUA, 2.559 monitoram agrotóxicos, muitos deles de forma parcial. Ou seja, 46% dos municípios brasileiros informam, mesmo que de forma incompleta, sobre a presença de agrotóxicos em suas águas tratadas e distribuídas para consumo.

A Tabela 22 apresenta os números de análises anuais realizadas em sistemas de abastecimento de água de cinco agrotóxicos regulados pela Portaria n.º 888/2021, entre os anos de 2014 e 2022. A tabela mostra os números e percentuais de dados inconsistentes e/ou inconclusivos referente aos 2.559 municípios que estão monitorando agrotóxicos. Observa-se que há uma parcela significativa de análises que não são conclusivas, ou seja, não fornecem dados que possam ser utilizados para avaliar os sistemas. Esses resultados não são favoráveis à obtenção de uma série histórica representativa para avaliar de forma precisa a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água.

**Tabela 22.** N.º de análises de agrotóxicos, n.º de dados inconsistentes<sup>1</sup> e inconclusivos<sup>2</sup>, entre 2014 a 2022

Classificação <sup>3</sup>	Análises/ ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1º Glifosato	nº	6211	8655	9783	15067	18341	21392	22005	27816	16299
	1	839	935	826	1103	657	312	216	329	179
	(%)	14	11	14	11	8	7	4	1	1
	2	0	7	0	0	2	0	1	0	0
2º 2,4-D	nº	5627	7768	8716	14917	17910	20878	22300	25875	12385
	1	602	687	469	1171	523	303	411	554	344
	(%)	11	9	5	8	3	1	2	2	3
	2	1	8	0	0	3	0	1	0	1
3º Mancozebe	nº	3548	5063	7479	13066	15932	18877	20602	24404	12956
	1	601	871	413	522	478	279	201	1763	166
	(%)	17	17	6	4	3	1	1	7	1
	2	0	0	2	2	0	1	1	82	0
4º Atrazina	nº	6214	8994	10280	16383	19382	22389	23799	27617	13478
	1	1297	906	788	1634	720	358	325	468	306
	(%)	21	10	8	10	4	2	1	2	2
	2	2	9	4	5	4	0	1	1	0
10º Clorpirifós	nº	3695	5994	8330	14209	17320	20476	21922	26239	17072
	1	606	629	535	1061	524	376	300	402	157
	(%)	16	10	6	7	3	2	1	2	1
	2	0	6	1	3	0	0	1	1	0

Fonte: da autora (2023). Dados: SISÁGUA, 2023b.

**Notas:**

nº: número de análises realizadas no ano;

1: n.º de dados inconsistentes: situações com erro no preenchimento do resultado da análise, ou com informações incompletas para avaliar o atendimento ao valor de referência;

2: n.º de dados inconclusivos: quando não permitem avaliar se o resultado está acima ou abaixo do VMP.

%: percentual de dados inconsistentes

A Tabela 23 apresenta os números de análises de 5 agrotóxicos que excederam os valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria n.º 888/2021 de potabilidade da água para consumo humano.

**Tabela 23.** Número de análises de agrotóxicos acima dos valores máximos permitidos pela Portaria n.º 888/2021, por Região, entre 2014 e 2022

Classificação	Agrotóxico	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1º	Glifosato	1 S	2 CO,NO	3 1CO,2S	0	0	3 CO	2 CO	5 SE	0
2º	2,4-D	0	0	1 S	0	0	0	0	0	2 SE
3º	Mancozebe	1 SE	0	1 S	1 S	0	0	0	0	0
4º	Atrazina	2 NE,SE	1 SE	4 2S,2SE	7 6SE,1S	1 SE	1 S	1 SE	6 SE	1 CO
10º	Clorpirifós	0	0	0	0	0	0	2 SE	2 SE	0

**Fonte:** da autora (2023). Dados: SISÁGUA, 2023b.

**Notas:**

**S** =SUL / **SE** = SUDESTE / **CO** = CENTRO-OESTE / **NE** = NORDESTE / **N** =NORTE

**Classificação:** posição que o agrotóxico ocupa na lista do IBAMA dos 10 mais comercializados no ano 2022.

Foi observado na consulta aos dados do SISAGUA que as amostras são coletadas, em vários municípios em geral, nos meses de janeiro e julho. Isto indica, aparentemente, uma falta de critérios para escolher as épocas mais apropriadas para detecção de agrotóxicos nos mananciais. A coleta de amostras sempre na mesma época, sem levar em conta essas especificidades, como características e épocas de aplicações dos agrotóxicos, pode ser um dos motivos para baixas detecções apresentadas na Tabela 23. Para reforçar a necessidade de aprimorar o monitoramento dos agrotóxicos, existem diversos trabalhos acadêmicos (Grützmacher *et al.*, 2008; Lucas *et al.*, 2020) que mostram uma maior detecção do que as apresentadas no SISÁGUA.

Além das questões operacionais da amostragem, é preciso avaliar as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, que variam para os diferentes ingredientes ativos. Essas, associadas a fatores ambientais, como a localização geográfica, o clima e a cobertura vegetal, influenciarão as reações dos agrotóxicos no ambiente (Gebler; Spadotto, 2008). Dessa forma, determinar o período adequado para coleta de amostras é fundamental para a detecção de agrotóxicos, e isso pode não ser uniforme para todos os parâmetros.

Os dados do SISAGUA mostram que a exigência de monitorar 40 agrotóxicos, em todos os

sistemas de abastecimento de água dos municípios brasileiros, não está sendo cumprida. Além disso, é observado um grande número de análises inconsistentes e/ou inconclusas, aliada a falta de critérios para estabelecer as épocas adequadas para a coleta de amostras. Esses eventos indicam uma carência de logística e infraestrutura adequadas, para avaliar com segurança a presença de agrotóxicos na água para consumo humano. Isso se torna ainda mais grave porque se sabe que os processos de tratamento de água nas cidades brasileiras são insuficientes para a remoção de agrotóxicos.

A diretriz para a vigilância de agrotóxicos na água para consumo humano (Brasil, 2016) é genérica e não apresenta uma metodologia suficiente para elaborar planos de amostragem representativos. É notória, também, a falta de infraestrutura e capacitação nas secretarias municipais de saúde e dos operadores dos sistemas de abastecimento de água, o que dificulta o planejamento e o monitoramento consistente de agrotóxicos.

As Figuras 14 à 40 do ANEXO II apresentam: os percentuais de concentrações abaixo e acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP); resultados inconclusivos e inconsistentes para todos os agrotóxicos regulados pela Portaria anterior à n.º 888/2021, entre os anos 2014 e 2023, conforme os dados disponibilizados pelo SISÁGUA (os dados referentes à Portaria n.º 888/2021, ainda não estão acessíveis no site do SISÁGUA).

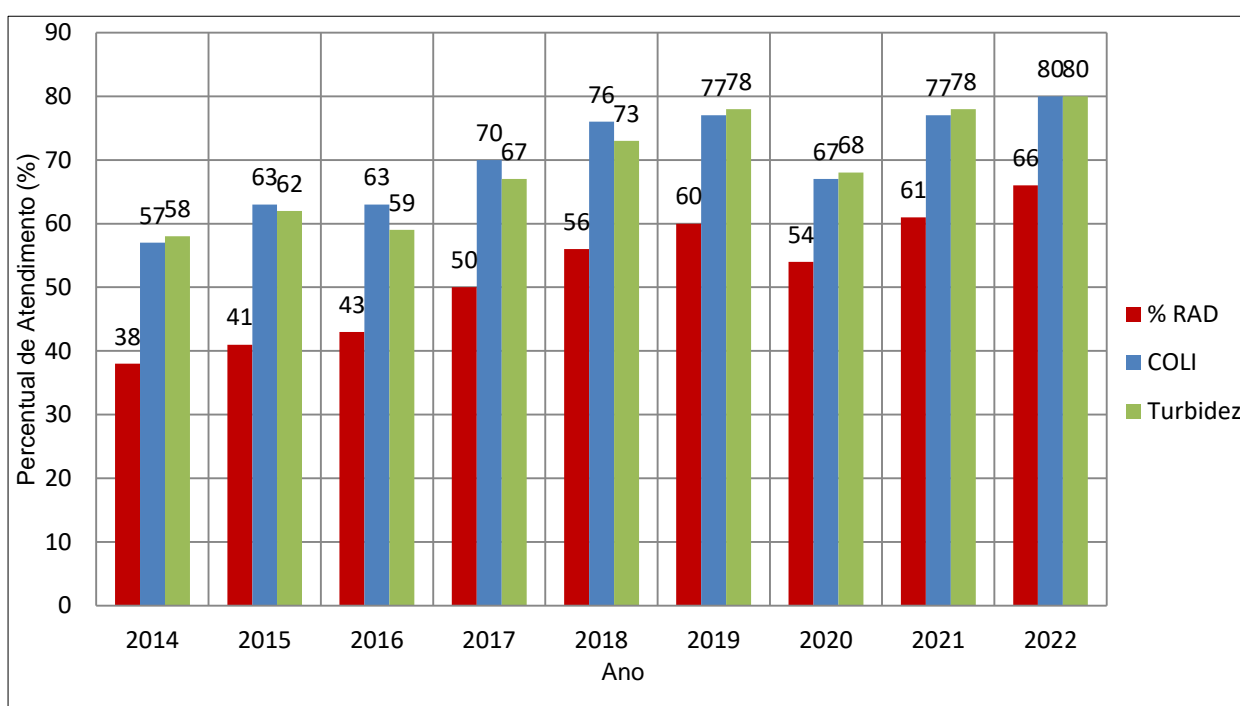
A Figura 41 apresenta o percentual de atendimento às Diretrizes da Vigilância Nacional. Como se pode notar, o atendimento para os parâmetros coliformes e turbidez estava na faixa de 80% em 2022. Ou seja, a vigilância sanitária ainda não realizou a totalidade das amostras programadas, para parâmetros cujas análises requerem procedimentos menos complexos do que os necessários para a amostragem de agrotóxicos.

No Painel de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISÁGUA, 2023), no ano de 2022, a vigilância sanitária do Ministério da Saúde, realizou 584.876 análises de parâmetros microbiológicos. Destas, 476.269 ou 81,4 %, estavam dentro do padrão, 58.555 ou 10%, estavam fora do padrão e, 50.052 foram amostras inconclusivas, o que corresponde a 8,56% do total.

Esses resultados demonstram que uma parcela significativa de 10% dos sistemas de abastecimento de água brasileiros não atende aos padrões microbiológicos, além de haver um percentual considerável de 8,56% de dados inconclusivos. Ou seja, existem limitações claras

nas condições operacionais para coletar e analisar parâmetros microbiológicos. É evidente que para analisar agrotóxicos será necessário desenvolver programas específicos, com o objetivo de otimizar recursos e obter resultados que possam contribuir para ações de prevenção caso sejam necessárias.

**Figura 41.** Percentual de atendimento das Diretrizes da Vigilância Nacional



Fonte: SISÁGUA, 2023a.

**Notas:**

**% RAD:** Percentual de atendimento de amostras programadas para Radioatividade;

**COLI:** Percentual de atendimento de amostras programadas para Coliformes;

**Turbidez:** Percentual de atendimento de amostras programadas para Turbidez.

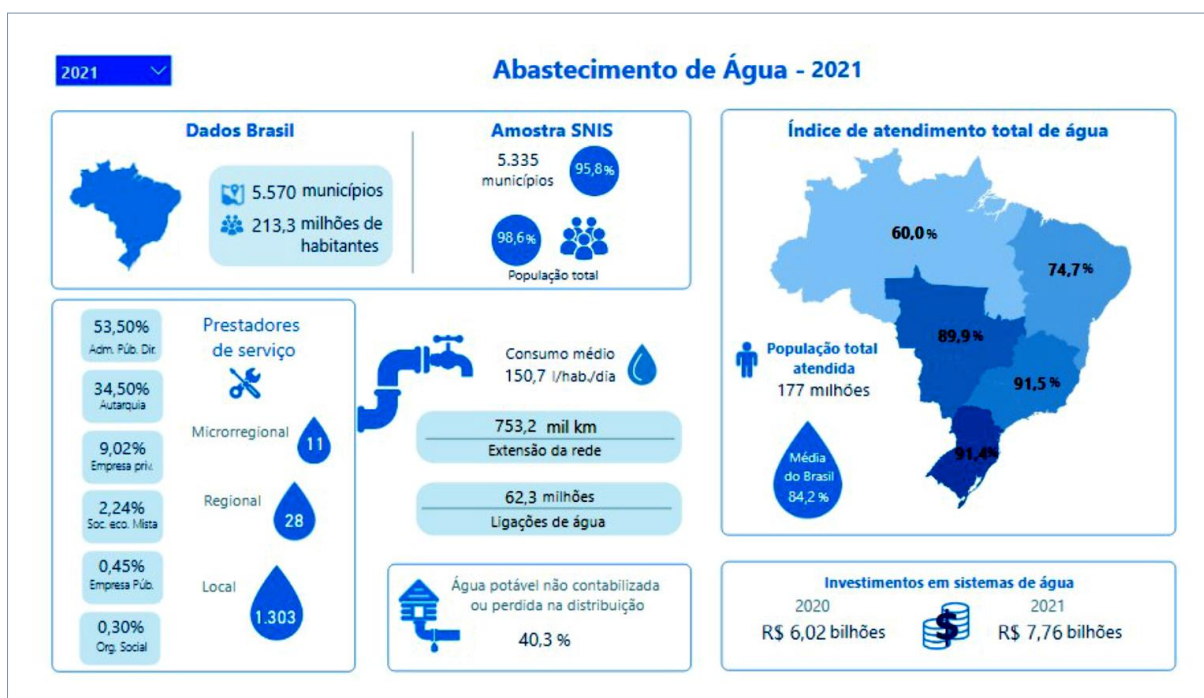
#### 6.4.1 Eficiência das tecnologias empregadas no Brasil para remoção de agrotóxicos

Um estudo brasileiro revelou que 50,7% dos quase 1.300 municípios brasileiros avaliados tinham tratamento convencional, enquanto os outros 50% possuem algum tratamento simplificado como filtração direta, ou distribuem água sem tratamento (Heller *et al.*, 2006).

A Figura 42 apresenta o panorama do abastecimento de água no Brasil, com dados do ano-base 2021. Dos 5.570 municípios brasileiros, com uma população de 213,3 milhões de habitantes, 5.335 municípios forneceram às informações solicitadas pelo Sistema Nacional de

Informações sobre Saneamento. A população atendida pelos sistemas de distribuição de água é de 177 milhões de habitantes. O índice de atendimento por região brasileira era de: Sudeste: 91,5%; Sul: 91,4%; Centro-Oeste: 89,9%; Nordeste: 74,7%; e Norte: 60% (SNIS, 2021).

**Figura 42.** Situação do Abastecimento de Água no Brasil, ano-base 2021



Fonte: SNIS, 2021.

O tratamento convencional (coagulação/floculação, decantação e filtração) é, geralmente, insuficiente para remover agrotóxicos móveis (hidrofílicos ou lipofóbicos) de águas superficiais ou subterrâneas. Por vezes, a concentração de agrotóxicos na água de consumo é semelhante à encontrada nos mananciais. Os processos de desinfecção e abrandamento podem causar alterações na estrutura dos agrotóxicos. Em algumas situações, na sua remoção ou degradação, geram subprodutos (metabólitos) de maior ou menor risco (Menezes, 2006).

Para eliminar traços de agrotóxicos que possam estar presentes na água para consumo humano é necessário o emprego de tecnologias avançadas, tais como adsorção em carvão ativado, osmose reversa, nanofiltração, radiação ultravioleta, ozonização e processos oxidativos avançados (Elfrikie *et al.*, 2020).

Dessa forma, é crucial identificar os prováveis locais em que pode haver a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água. Se estes estiverem presentes na água

captada, não será possível assegurar uma higidez hídrica na distribuição para o consumo humano. O abastecimento no meio rural, em geral, é feito por poços superficiais localizados próximos às fontes de aplicação dos agrotóxicos, o que torna a situação ainda mais crítica, uma vez que estas águas não possuem tratamento.

A Tabela 24 apresenta o número de municípios brasileiros que dispõem de serviço de abastecimento de água, conforme o tipo de processo de tratamento utilizado (IBGE, 2017).

**Tabela 24.** Situação dos municípios brasileiros quanto à existência de processo de tratamento

Tabela 1364 - Número de municípios, total e os com serviço de abastecimento de água, por tipo de tratamento da água								
Variável - Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição (Unidades)								
Ano - 2017								
Brasil e Unidade da Federação	Existência e tipo de tratamento da água							
	Total geral de municípios	Total de municípios abastecidos	Total de municípios com tratamento	Convencional	Não-convencional	Simples desinfecção (cloração e outros)	Fluoretação	Sem tratamento
Brasil	5.570	5.548	5.237	2.770	715	3.124	3.422	280
Rondônia	52	51	49	40	1	8	-	1
Acre	22	22	22	19	-	6	-	-
Amazonas	62	61	27	10	3	17	2	33
Roraima	15	15	15	10	-	14	-	-
Pará	144	139	81	19	22	59	14	56
Amapá	16	16	16	10	-	14	1	-
Tocantins	139	139	137	15	20	113	44	2
Maranhão	217	216	157	42	7	125	14	57
Piauí	224	220	176	36	5	147	13	44
Ceará	184	184	182	63	118	140	95	2
Rio Grande do Norte	167	166	149	18	33	110	2	15
Paraíba	223	219	181	150	13	39	3	18
Pernambuco	185	184	183	80	111	62	3	1
Alagoas	102	101	99	42	33	53	12	1
Sergipe	75	75	75	37	27	39	61	-
Bahia	417	416	413	289	87	116	370	3
Minas Gerais	853	853	822	666	27	358	692	31
Espírito Santo	78	78	78	71	23	23	75	-
Rio de Janeiro	92	92	92	84	8	41	45	-
São Paulo	645	645	644	296	35	500	641	1
Paraná	399	399	399	149	15	349	378	-
Santa Catarina	295	295	295	189	65	143	280	-
Rio Grande do Sul	497	497	490	192	23	385	427	6
Mato Grosso do Sul	79	79	79	16	-	72	22	-
Mato Grosso	141	139	135	71	7	78	30	3
Goiás	246	246	240	155	31	112	197	6

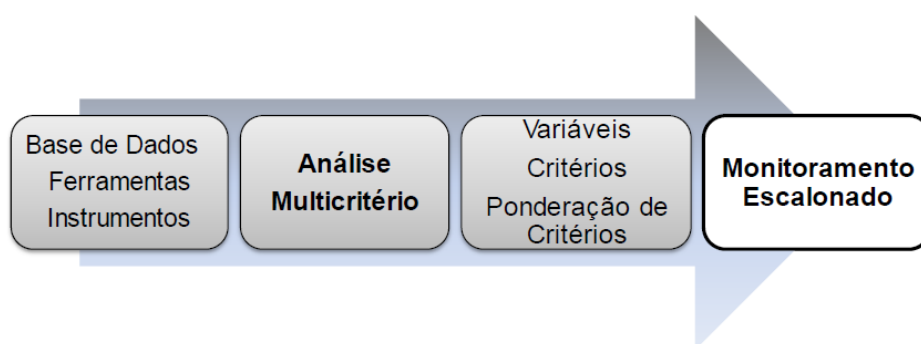
Fonte: IBGE – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2017.



## 6.5 METODOLOGIA PARA OTIMIZAR O MONITORAMENTO

A metodologia proposta para a elaboração do Plano de Monitoramento de Agrotóxicos segue as etapas apresentadas na Figura 43, que serão discutidas na sequência. Este método aplica a base de dados disponível no Brasil, mas pode ser utilizado de maneira abrangente, com um nível de detalhamento maior ou menor, dependendo da disponibilidade de informações do local onde será aplicado e a complexidade da tomada de decisão.

**Figura 43.** Sequência metodológica para desenvolver o Plano de Monitoramento de Agrotóxicos



Fonte: da autora, 2023.

### 6.5.1 Base de dados

Os dados requeridos incluem informações sobre os sistemas de abastecimento de água, a comercialização de agrotóxicos, os seus registros no órgão competente, o monitoramento existente da qualidade da água e a divisão de bacias hidrográficas. Normalmente, essas informações estão disponíveis em sites de órgãos governamentais. No Brasil, por exemplo, informações sobre saneamento são disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017) e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2023). A comercialização de agrotóxicos está disponível no site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2022). A rede de bacias hidrográficas é divulgada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017; IBGE, 2021), enquanto o monitoramento da qualidade da água é disponibilizado pelo SISÁGUA (2022). O banco de dados AGROFIT do Ministério da Agricultura dispõe de informações sobre todos os agrotóxicos registrados no país (AGROFIT, 2023). Vistorias in loco nas bacias hidrográficas também são necessárias para consolidar as informações obtidas bem como identificar aspectos significativos para comporem a base de dados.

### 6.5.2 Ferramentas

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta que auxilia no monitoramento dos agrotóxicos, pois permite identificar as áreas cultivadas e seus estados de antropização. O SIG tem a capacidade de integrar e processar os dados, permitindo análises mais precisas da situação das bacias hidrográficas (Caldas *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2020).

### 6.5.3 Instrumentos

A análise multicritério (AMC) foi o instrumento escolhido para desenvolver a metodologia do *Plano de Monitoramento de Agrotóxicos* para os sistemas de abastecimento de água. A AMC será utilizada para classificar as possíveis alternativas e agrupar os municípios que integrarão o plano de monitoramento escalonado de agrotóxicos. A avaliação e a classificação de alternativas em relação a um determinado conjunto de objetivos ou critérios não seguem uma metodologia única. Mas, geralmente, envolve a definição de uma lista de critérios de sucesso, atribuindo pesos a cada um deles. As diversas opções do plano de monitoramento podem ser avaliadas e pontuadas em relação aos critérios. As pontuações atribuídas são multiplicadas pelas ponderações, gerando uma classificação de opções alternativas (Gomes *et al.*, 2006). Um problema de decisão do tipo multicritério requer a escolha de um número limitado de alternativas com base num conjunto de critérios selecionados (Jordão; Pereira, 2006).

### 6.5.4 Variáveis

A análise multicritério torna possível que os objetivos estabelecidos pelos tomadores de decisão sejam analisados de forma estruturada, objetiva e clara. Isso se dá através da inclusão de variáveis no modelo de decisão que representam esses objetivos. As variáveis são modeladas com uma base em dados disponíveis nos sítios eletrônicos das instituições governamentais, associadas à aplicação de geotecnologia (SIG). A partir dessas variáveis, são estabelecidos critérios e atribuídos a eles pesos de relevância, para ponderar e priorizá-los.

As variáveis são definidas a partir da base de dados, com o objetivo de estabelecer critérios como representatividade, facilidade de acesso e baixo nível de subjetividade para permitir a definição e/ou interpretação dos dados utilizados. As variáveis atribuídas são experimentais e podem ser modificadas conforme os resultados alcançados. Inicialmente foram consideradas as seguintes variáveis:

1. Relação dos 40 agrotóxicos que constam na Portaria n.º 888/2021 do Ministério da Saúde (Fonte: Brasil, 2021);
2. Classificação toxicológica dos 40 agrotóxicos, em ordem decrescente (Fonte: IBAMA, 2022);
3. Relação da comercialização dos 40 agrotóxicos, em ordem decrescente (Fonte: IBAMA, 2022);
4. Localização dos estados maiores consumidores dos 40 agrotóxicos, em ordem decrescente (Fonte: IBAMA, 2022);
5. Identificação dos municípios maiores consumidores, conforme o item 4 (Fonte: Secretarias Estaduais de Agricultura);
6. Identificação das bacias hidrográficas e suas características nas quais os municípios definidos no item 5 estão inseridos (Fonte: Agência Nacional de Águas, 2017);
7. Identificação das características consideradas prioritárias e a posição (montante ou jusante) dos pontos de captação nas bacias hidrográficas, nas quais os municípios do item 5 estão inseridos;
8. Identificação dos agrotóxicos presentes nas análises de água realizadas nos últimos 5 anos, nas captações dos municípios que compõem o plano de monitoramento (Fonte: SISÁGUA, 2023).

### **6.5.5 Critérios**

As variáveis são reunidas e transformadas em critérios (ou atributos) que permitem avaliar as consequências de cada alternativa em relação aos objetivos. Os critérios são formulados a partir de um conjunto de variáveis, tais como a geomorfologia da bacia, as espécies cultivadas e os tipos de agrotóxicos utilizados, bem como os recursos de infraestrutura disponíveis na região objeto do monitoramento. Por exemplo, em uma região que não for possível identificar todos os critérios, opta-se pela análise multicritério para aquelas variáveis mais representativas naquele espaço.

Após serem definidas as variáveis, são estabelecidos os critérios para agrupar os municípios e seus respectivos sistemas de abastecimento de água. Os critérios consideram fatores que interferem de forma significativa no sistema em questão e que atendam alguns requisitos iniciais de similaridade, dentre eles:

1. Cultivar as mesmas espécies e utilizar os mesmos agrotóxicos;
2. Aplicar os mesmos agrotóxicos em uma mesma época do ano;
3. Apresentar regime pluviométrico semelhante;
4. Possuir conformação geomorfológica semelhante;
5. Apresentar um nível de antropização semelhante;
6. Ter ruma cobertura vegetal similar e/ou estar localizado no mesmo bioma.
7. Estar situado na mesma região hidrográfica.

### 6.5.6 Ponderação de critérios

A relevância da ponderação dos critérios é derivada da comparação par a par em relação ao objetivo desejado. Representa a prioridade relativa de cada critério. Esta comparação é realizada através de uma escala descritiva, com um valor numérico correspondente, conhecida como Escala Fundamental de Saaty e Vargas (2013), conforme apresentada na Tabela 25.

**Tabela 25.** Escala fundamental de Saaty

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	Experiência e julgamento ligeiramente favorecem uma alternativa em comparação a outra.
5	Importância forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em comparação a outra.
7	Importância muito forte	Uma alternativa é fortemente favorecida em comparação a outra.
9	Importância extrema	A evidência que favorece uma alternativa em detrimento de outra é a mais alta possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Em algumas situações opta-se por interpolar a intensidade da importância do critério.

**Fonte:** Adaptado por Januzzi *et al*, 2009 (de Saaty; Vargas, 2013).

Após a definição dos critérios, estabelece-se uma hierarquia para identificar o número de municípios que serão integrados ao plano de monitoramento. Para isso, os critérios são ponderados conforme a relevância e o impacto gerado no sistema a analisar. A hierarquia

considera os seguintes aspectos: (i) consumo dos agrotóxicos mais comercializados nas regiões que contribuem às captações de água; (ii) destinação dos agrotóxicos pertencentes ao grupo com maior potencial de contaminação de mananciais; (iii) agrotóxicos que foram identificados nas análises publicadas no SISÁGUA nos últimos 5 anos; (iv) características físicas da bacia hidrográfica em que está inserido o sistema de abastecimento de água em análise. A estes aspectos foi atribuída uma faixa de peso para cada critério, numa escala de 0 a 10. Os critérios para compor a análise estão descritos a seguir:

***Critério I: Agrotóxicos mais comercializados nas regiões.***

Esse critério refere-se ao volume de comercialização do agrotóxico em uma determinada região. Considera a relação direta entre o maior consumo e a probabilidade de sua presença nos mananciais que suprem os sistemas de abastecimento de água desta região. O consumo elevado de agrotóxicos pode ser associado à ocupação de grandes áreas agrícolas e, conseqüentemente, à retirada da cobertura vegetal natural, o que favorece o escoamento superficial e os processos erosivos que resultam no transporte de agrotóxicos. O critério I é estabelecido a partir das variáveis: 1, 3, 4 e 5. Devido à relevância do critério, optou-se por atribuir um peso de 8 a 10.

***Critério II: Agrotóxicos pertencentes ao grupo com maior grau de toxicidade ambiental***

Os agrotóxicos que estão associados a este grupo são extremamente perigosos devido aos seus potenciais de contaminação ambiental (PPA), conforme a classificação do IBAMA (1996). Contaminam os mananciais por associação aos sedimentos ou dissolvidos no escoamento. O uso de agrotóxicos deste grupo em culturas agrícolas de uma bacia hidrográfica indica um alto risco de comprometer a qualidade da água dos mananciais para abastecimento humano. Esse critério é estabelecido a partir da variável 2. Dada à relevância do critério e as possibilidades apresentadas, propõe-se um peso entre 7 e 9, de acordo com o volume de agrotóxicos utilizados nas culturas agrícolas de cada região.

***Critério III: Agrotóxicos presentes nas análises publicadas no SISÁGUA nos últimos 5 anos.***

O objetivo deste critério é identificar quais regiões já registraram a presença de agrotóxicos nos seus sistemas de abastecimento de água. Esse critério é estabelecido a partir da variável 8. Os pesos são atribuídos considerando os percentuais encontrados acima dos Valores Máximos

Permitidos (VMP), conforme a Tabela 26.

**Tabela 26.** *Peso atribuído ao percentual de detecção de agrotóxicos nas análises disponíveis no SISÁGUA*

Concentrações superiores aos VMP dos IA. (%)	100	≥80	≥70	≥60	≥50	≥40	≥30	≥20	≥10
Peso	10	9	8	7	6	5	4	3	2

**Fonte:** da autora, 2023.

**Notas:** VMP = Valor Máximo Permitido; IA= Ingrediente Ativo do agrotóxico.

**Critério IV:** *Declividade média da sub-bacia.*

A topografia de uma bacia hidrográfica, aliada ao tipo de solo e vegetação, pode interferir de forma significativa no escoamento de agrotóxicos. Quanto mais acidentada a topografia da região, maior o potencial de escoamento e carreamento de sedimentos presentes na bacia para os mananciais (Paiva; Paiva, 2001).

A bacia hidrográfica pode ser dividida conforme faixas de declividade, que variam desde relevos planos, passando por ondulados até montanhosos. Esse critério é estabelecido a partir das variáveis 6 e 7. A Tabela 27 apresenta uma proposta de pontuação da declividade média da bacia, numa escala de 1 a 5, considerando a faixa de declividade mais representativa.

**Tabela 27.** *Pontuação do critério declividade média da sub-bacia com base em faixas de declividade*

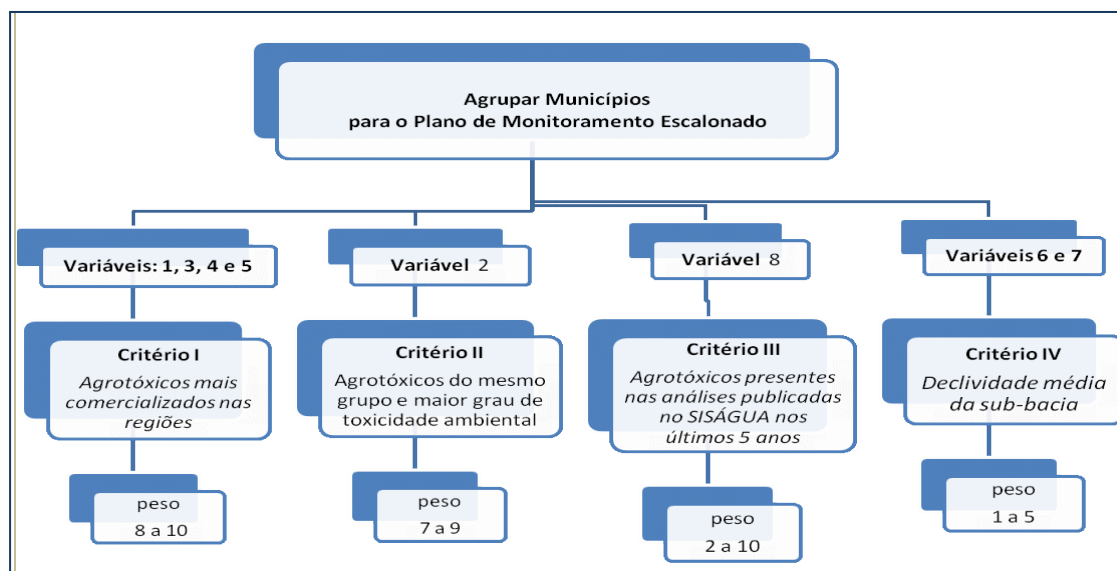
Classes de relevo	Declividade (%)	Pontuação
Plano	<3	1
Suave ondulado	3 a 12	2
Ondulado	12 a 24	3
Forte ondulado a montanhoso	24 a 45	4
Montanhoso	> 45	5

**Fonte:** Menezes, 2006.

Outras variáveis e/ou critérios podem ser adicionados à análise, tais como as características químicas dos agrotóxicos e os tempos de meia-vida.

A Figura 44 apresenta de forma esquemática os procedimentos utilizados para hierarquizar e ponderar a composição dos municípios que farão conjuntamente o monitoramento escalonado.

**Figura 44.** Ponderação de critérios para aplicar o monitoramento escalonado



Fonte: da Autora, 2023.

### 6.5.7 Método de monitoramento escalonado

O método de monitoramento escalonado foi desenvolvido e apresentado nesta tese, com o objetivo de auxiliar na elaboração dos planos de monitoramento de agrotóxicos requeridos pela Portaria n.º 888/21. Esse método mantém a frequência semestral estabelecida na Portaria n.º 888/2021, entretanto, ao final de 12 meses é possível obter 12 resultados para cada ingrediente ativo a partir da espacialização amostral. Ele consiste em identificar um grupo de municípios através de uma análise multicritérios, cujos respectivos sistemas de abastecimento de água serão monitorados conforme uma distribuição mensal escalonada ao longo dos dois semestres.

Ao elaborar o plano de monitoramento de agrotóxicos através do método proposto, os municípios são agrupados por meio da análise multicritérios. Por exemplo, é possível agrupar 6 municípios (A a F) e estabelecer uma distribuição escalonada semestral da frequência da amostragem. A distribuição escalonada consiste em amostrar em meses diferentes no mesmo semestre. Neste cenário, o primeiro semestre seria distribuído entre janeiro e junho e o segundo entre julho e dezembro, conforme o Quadro 20.

**Quadro 20.** Periodicidade semestral do monitoramento para 6 municípios agregados

Municípios	A	B	C	D	E	F
1º semestre	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
2º semestre	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro

Fonte: da autora, 2023.

Outras situações podem surgir. Quando for possível agregar apenas 4 municípios, a distribuição de amostras será quadrimestral, conforme o Quadro 21.

**Quadro 21.** Periodicidade quadrimestral de monitoramento para 4 municípios agregados

Municípios	A	B	C	D
1º quadrimestre	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
2º quadrimestre	Maio	Junho	Julho	Agosto
3º quadrimestre	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro

Fonte: da autora, 2023.

A partir dos resultados alcançados nos primeiros 12 meses, a frequência da amostragem pode ser alterada, assim como os municípios selecionados com suas respectivas captações e os agrotóxicos monitorados. É importante salientar que este método não esgota todas as variáveis intervenientes, uma vez que sua avaliação é contínua. Ele parte de um conjunto de dados disponíveis que torna possível a aplicação em diferentes regiões.

Um plano de monitoramento adequado deve incluir o planejamento das operações de campo, a disponibilidade de infraestrutura laboratorial adequada, o controle de qualidade, o armazenamento, tratamento e interpretação de dados, a elaboração de relatórios às autoridades de saúde pública e a comunicação com o público. Os custos para o monitoramento devem ser estimados e os recursos devidamente alocados (Bartram; Ballance, 1996).

Outro ponto relevante a ser considerado é a necessidade de auditar os resultados registrados pelos operadores dos sistemas de abastecimento. É necessário criar um mecanismo que agilize a notificação ao operador quando identificadas inconsistências nos seus procedimentos de controle e registro junto ao SISÁGUA. Com o método escalonado é possível avaliar as condições do abastecimento de água regional em relação ao monitoramento de agrotóxicos, partindo do princípio de que os municípios agrupados podem representar um número maior de cidades da mesma região. Ou seja, estão enquadrados nos critérios de semelhança, mas não



têm condições necessárias para realizar o monitoramento. Dessa forma, pode-se contemplá-los com a tendência observada nos resultados dos municípios em que foi aplicado o método de amostragem escalonada.

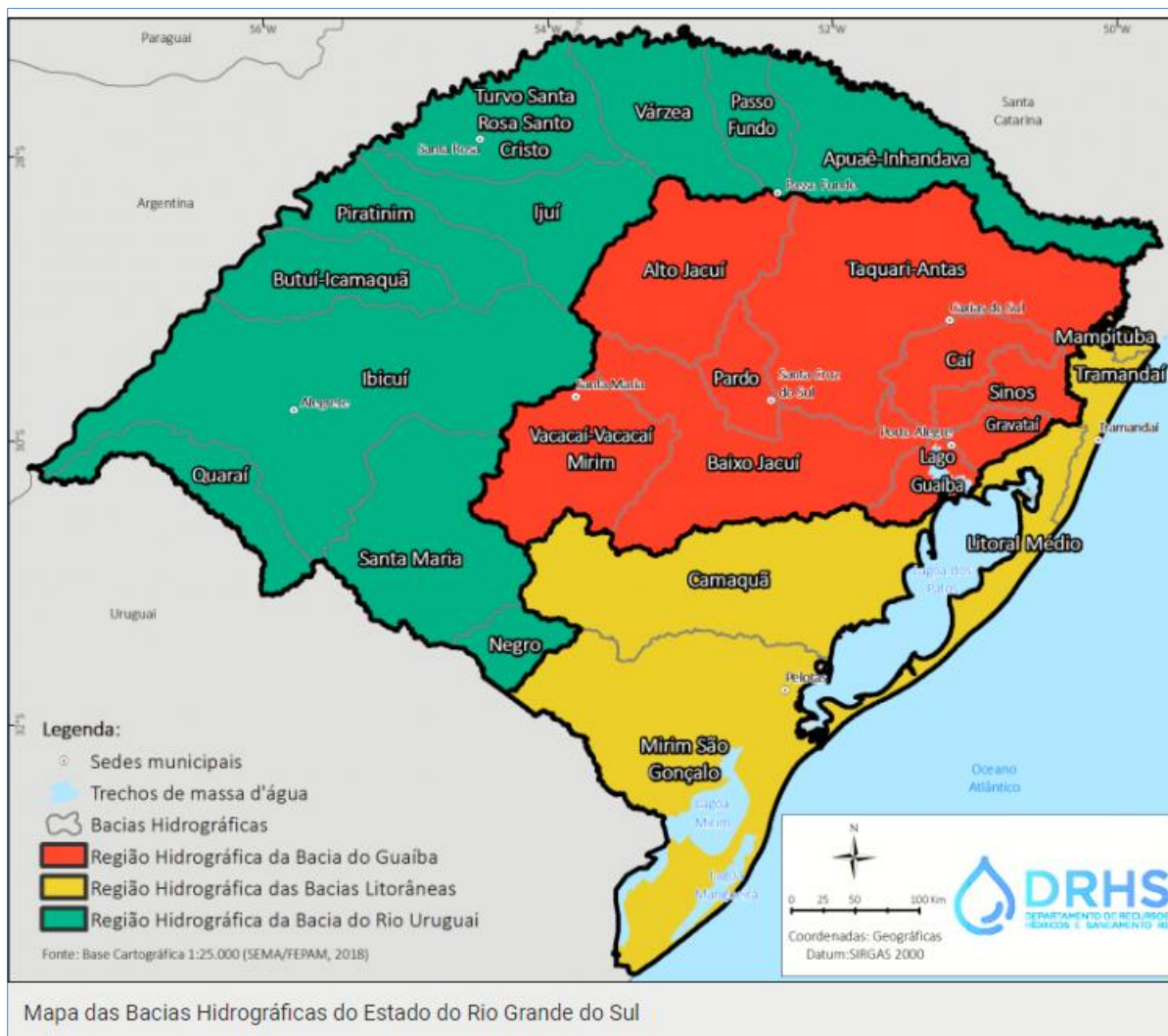
O diferencial do método de amostragem escalonada é que, ao final de 12 meses, será possível obter 12 amostras no total, 2 para cada município A, B, C, D, E e F. Se não for possível agrupar 6 municípios, outros arranjos devem ser verificados, conforme exemplificado anteriormente. Esses resultados permitirão aprimorar os planos de monitoramento, aumentando ou diminuindo as frequências em áreas que apresentaram maiores ou menores presenças de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água.

O método de monitoramento escalonado através da análise multicritérios permite uma série de combinações e alternativas que visam simplificar e ampliar o monitoramento de agrotóxicos, contemplando as diversidades regionais e aumentando as séries amostrais.

#### **6.6 ESTUDO DE CASO: MONITORAMENTO ESCALONADO DE AGROTÓXICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO RS**

A Região Norte do Rio Grande do Sul, composta por 32 municípios, foi selecionada para testar o método de monitoramento escalonado. Neste território há alta produção de cereais e consumo de agrotóxicos. Esses 32 municípios estão inseridos em 2 bacias hidrográficas, a U010 - Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê Inhandava e a U020 - Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, conforme ilustrado na Figura 45.

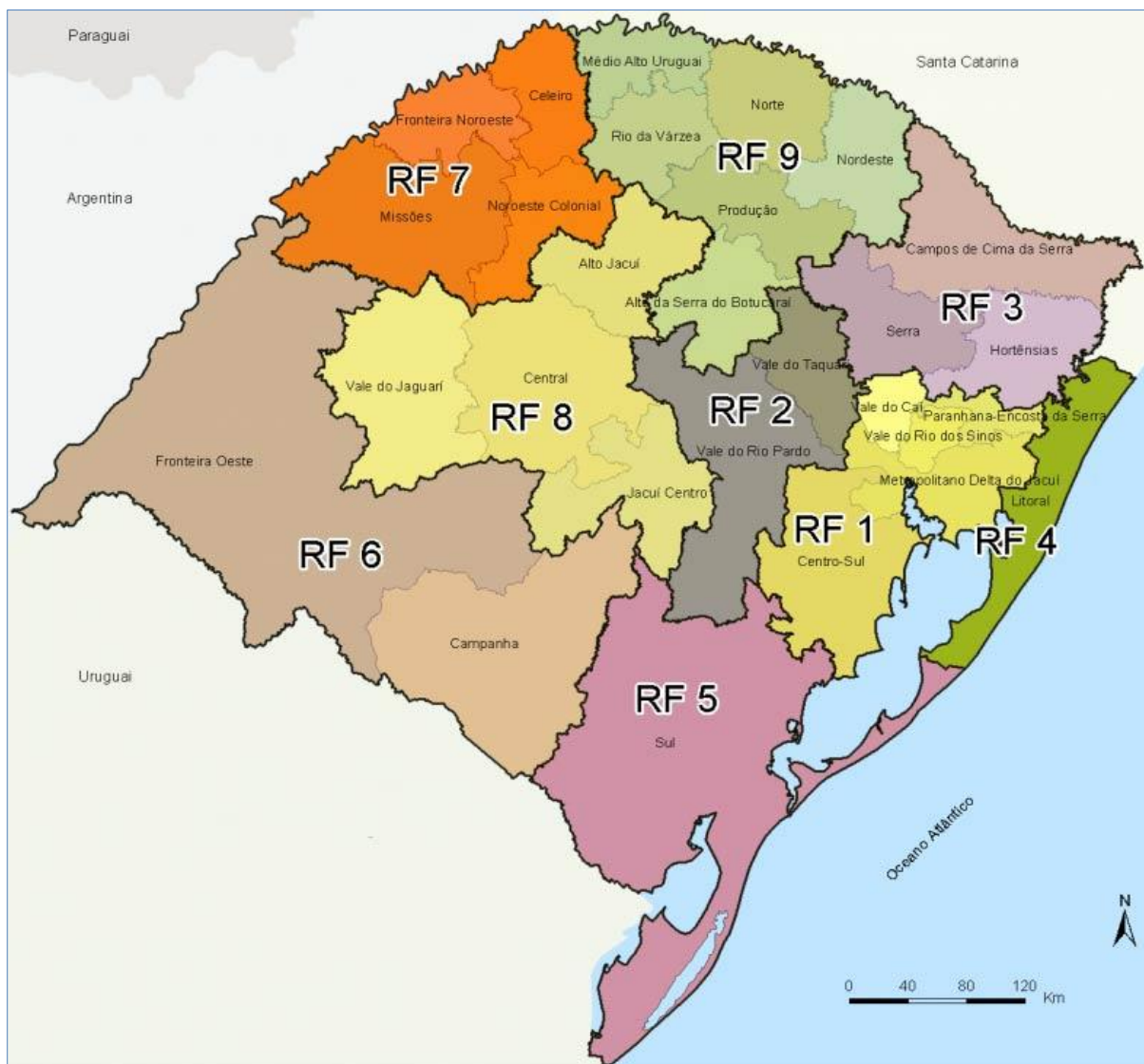
Figura 45. Bacias e sub-bacias hidrográficas do RS



Fonte: DRHS, 2020

A região Norte do Rio Grande do Sul está inserida na Região Funcional 9, uma das regiões definidas pelo COREDES – Conselho Regional de Desenvolvimento, conforme é possível observar na Figura 46.

**Figura 46.** Regiões Funcionais do RS

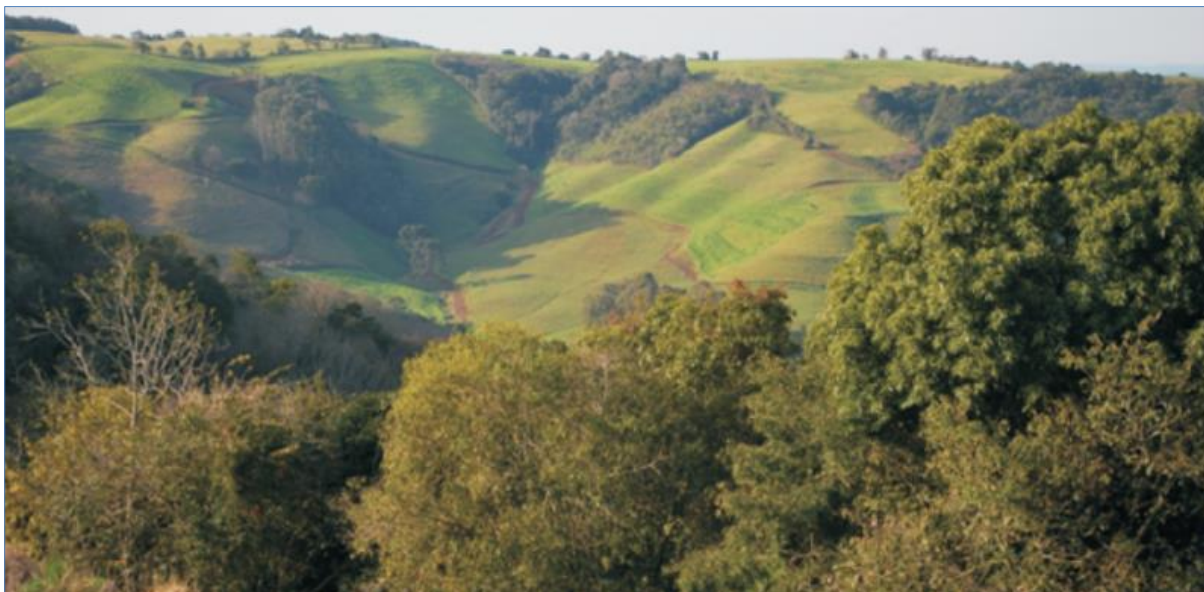


Fonte: SEPLAG/DEPLAN, 2020.

### 6.6.1 Caracterização da região

O RS possui uma grande diversidade cultural e de paisagens. O relevo apresenta altitudes que atingem até 1.398 m. O clima é subtropical, caracterizado pelas baixas temperaturas no inverno. A vegetação é rica e diversificada, com importantes áreas remanescentes da Mata Atlântica, que fazem parte do Bioma de mesmo nome, além de campos nativos que compõem o Bioma Pampa e as terras altas do Planalto Meridional. A Figura 47 apresenta uma paisagem típica da Região Norte do RS.

**Figura 47.** Paisagem característica da Região Norte do RS

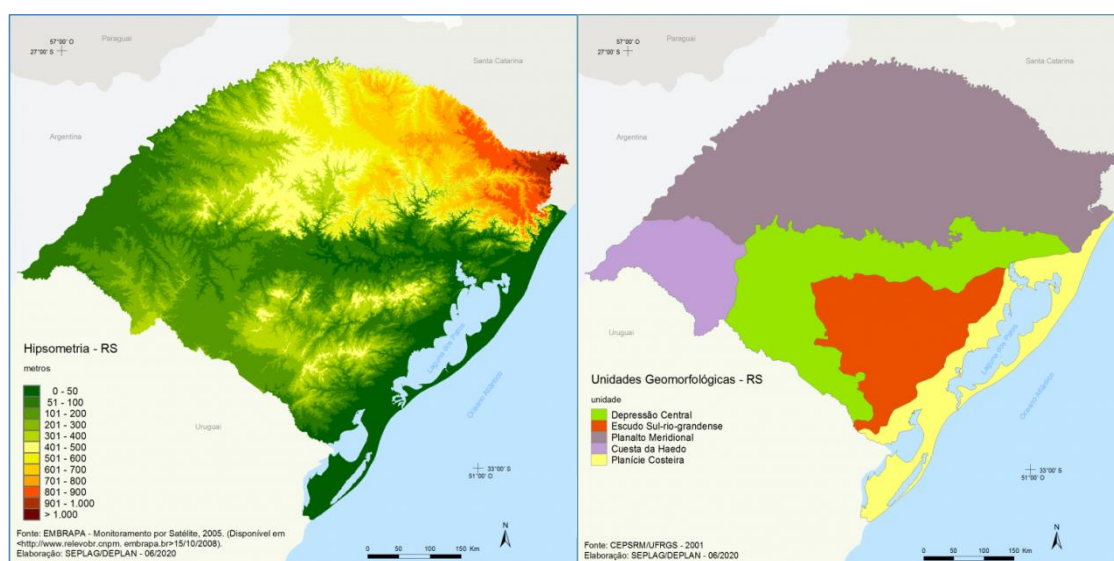


Fonte: DRHS, 2020.

### a. Hipsometria e Unidades Geomorfológicas - RS

Ao norte do Estado situa-se o Planalto Meridional, formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesozóica, conforme pode ser observado na Figura 48.

**Figura 48.** Mapas de Hipsometria e Unidades Geomorfológicas do RS



Fonte: SEPLAG/DEPLAN, 2020.

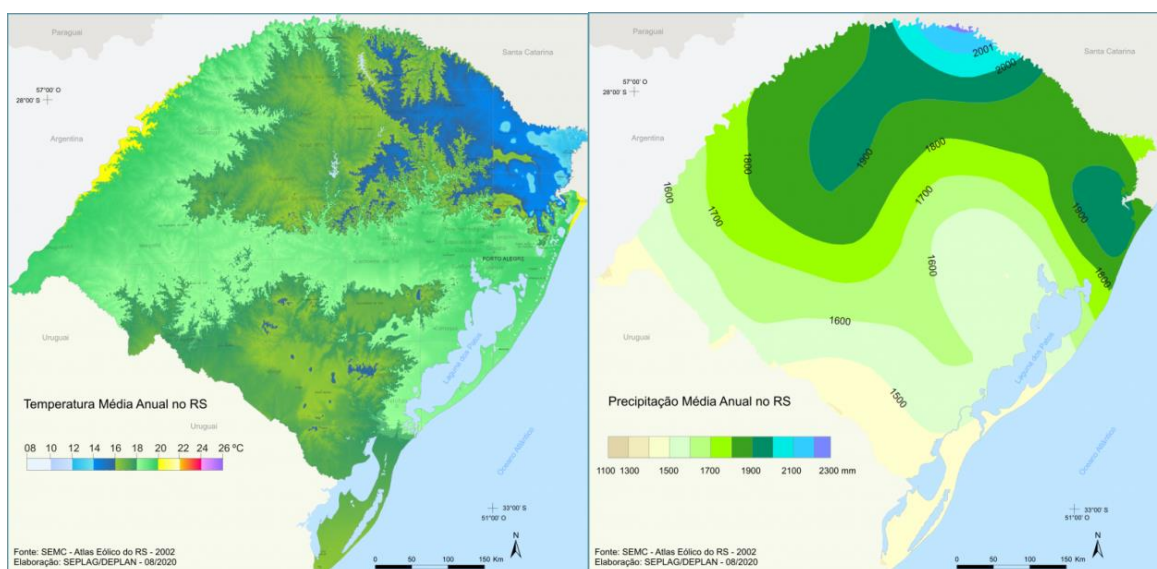
## b. Clima, temperatura e precipitação

O clima do Rio Grande do Sul é subtropical, classificado como Mesotérmico Úmido (classificação de Köppen). Devido à sua posição geográfica, situada entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" de latitude Sul, e 49°42'41" e 57°40'57" de longitude Oeste, apresenta grandes diferenças em relação ao Brasil. A latitude reforça as influências das massas de ar oriundas da região Polar e das zonas Tropical Continental e Atlântica. A movimentação e os encontros dessas massas são responsáveis por diversas particularidades climáticas do RS.

As temperaturas apresentam uma grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geadas e a precipitação eventual de neve. As temperaturas médias variam entre 15°C e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C.

Com relação às precipitações, o Estado apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo do ano, devido às massas de ar oceânica que chegam ao Estado. No entanto, o volume de chuvas é diferenciado. Ao sul a precipitação média situa-se entre 1.299mm e 1.500mm e, ao norte a média fica entre 1.500mm e 1.800mm, com maior intensidade chuvas registradas no norte e nordeste do Estado, especialmente na encosta do Planalto. A Figura 49 mostra os mapas de temperatura e precipitação média anual no RS.

**Figura 49.** Mapas de Temperatura e Precipitação médias anuais no RS



Fonte: SEPLAG/DEPLAN, 2020.

### c. Biomas

O RS possui dois importantes biomas: Mata Atlântica e Pampa. O bioma Mata Atlântica, que é caracterizado pela vegetação florestal predominante, está presente em cerca de 37% do território gaúcho, ocupando a metade norte do estado, embora existam apenas 7,5% de áreas remanescentes com alto grau de fragmentação em relação à cobertura vegetal original. Cerca de 2.931.900 ha destas áreas remanescentes encontram-se protegidas desde 1993, constituindo a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica do RS. Na Figura 50, é possível notar que a Região Norte do RS está inteiramente inserida no Bioma Mata Atlântica.

*Figura 50. Mapas dos Biomas do RS*



Fonte: SEPLAG/DEPLAN, 2020.

### d. Tipos de solo

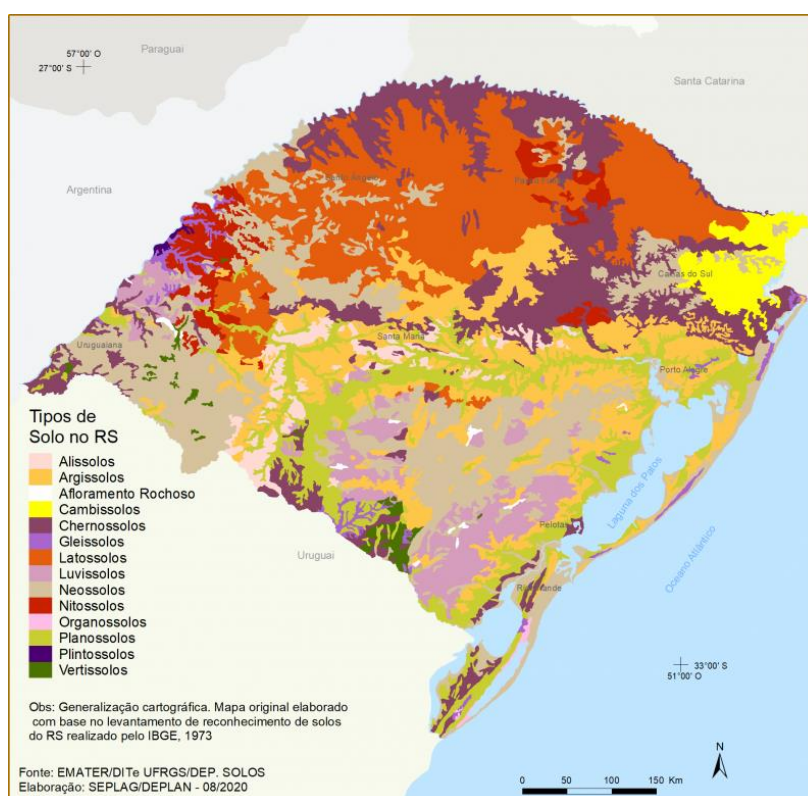
O RS apresenta grande variedade de tipos de solos. A Região Norte do RS é formada, em sua maioria, por:

*Latossolos*: são profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade, podendo apresentar toxidez para as plantas, causada pelo alumínio. Entretanto, a profundidade do solo e o relevo plano tornam-no adequado para a agricultura, desde que seja corrigida a fertilidade química, podendo ser usados com culturas de inverno e verão. Ocorrem, predominantemente, no norte do Estado na área do Planalto Meridional.

*Chernossolos*: são solos escuros no horizonte A, devido à presença de material orgânico.

Possuem alta fertilidade química e podem ser rasos ou profundos. Podem ser aproveitados com maior intensidade dependendo do relevo a que estão associados. As várzeas dos rios que apresentam maior potencial para culturas anuais, especialmente com arroz irrigado. Ocorrem no vale do rio Uruguai e na Encosta inferior do Planalto Meridional. Na Figura 51 pode-se observar a conformação geológica da região Norte do RS.

**Figura 51.** Mapas dos tipos de solo do RS

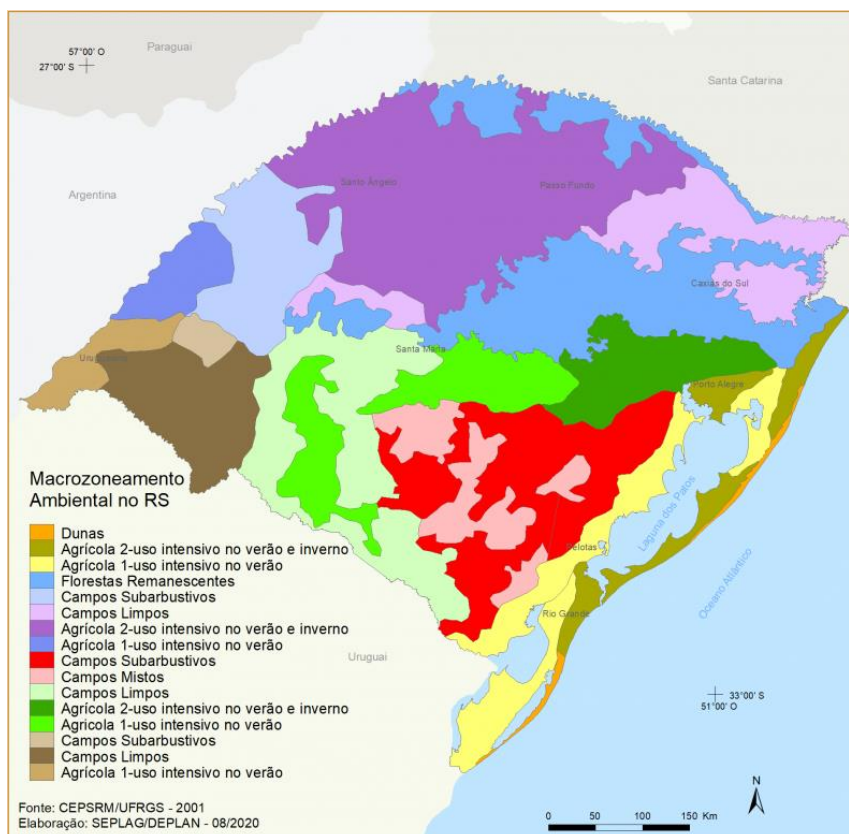


**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

### e. Macrozoneamento ambiental

O cruzamento de bases de dados permite a definição de zoneamentos que auxiliam no planejamento de ações de preservação ambiental. A região Norte do RS está localizada no Planalto. É constituído predominantemente de áreas de campos limpos e pastagens; campos subarbustivos; florestas de encosta; florestas do Alto Uruguai; zona agrícola de uso intensivo de verão e inverno e zona agrícola de uso intensivo de verão (Figura 52).

**Figura 52.** Mapa do macrozoneamento ambiental do RS



**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

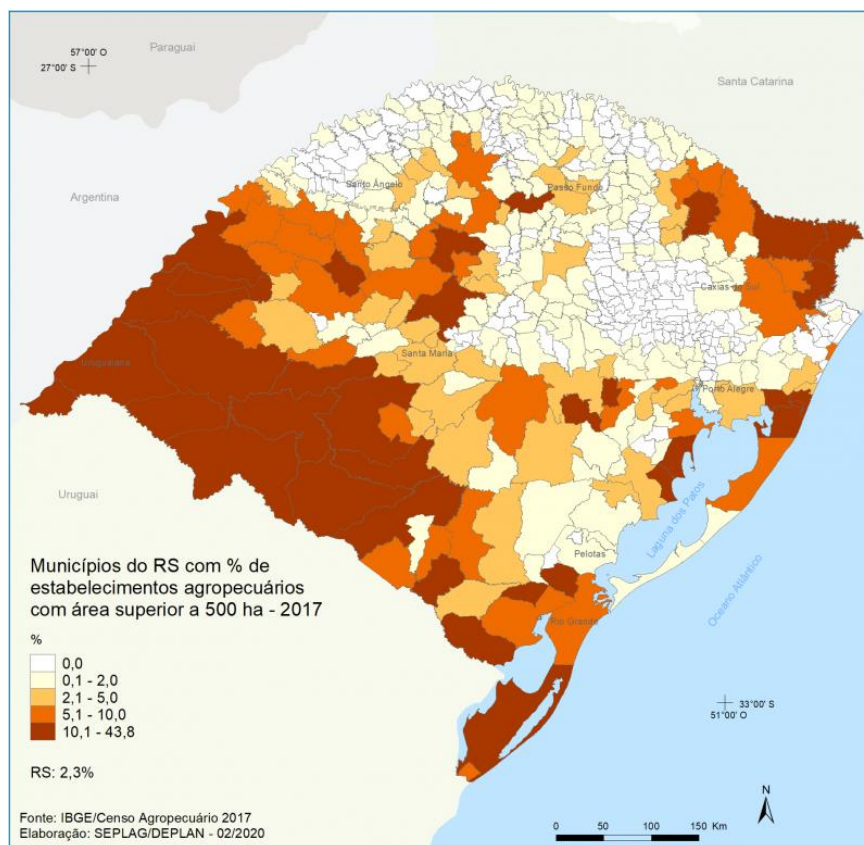
## f. Organização produtiva

A organização produtiva do RS é baseada na agricultura familiar e não familiar. Os estabelecimentos de agricultura familiar estão presentes em todas as regiões, embora mais concentrados no norte e centro-leste do Estado. Contavam, em 2017, com pessoal ocupado da ordem de 720.000 pessoas. Na Tabela 28 pode-se verificar o alto índice de agricultura familiar nos municípios da Região Norte, variando de 82 a 97%. Os principais produtos agrícolas da região norte do RS, são: arroz, cana, mandioca, milho, soja, trigo, laranja e uva.

A Figura 53 traz o Mapa do RS com o percentual de estabelecimentos agropecuários com área superior a 500 ha, no ano 2017. As informações apresentadas a seguir têm como objetivo confirmar as semelhanças existentes na Região Norte do Rio Grande do Sul em relação à sua produção agrícola.



**Figura 53.** Mapa do RS com % de estabelecimentos agropecuários



**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

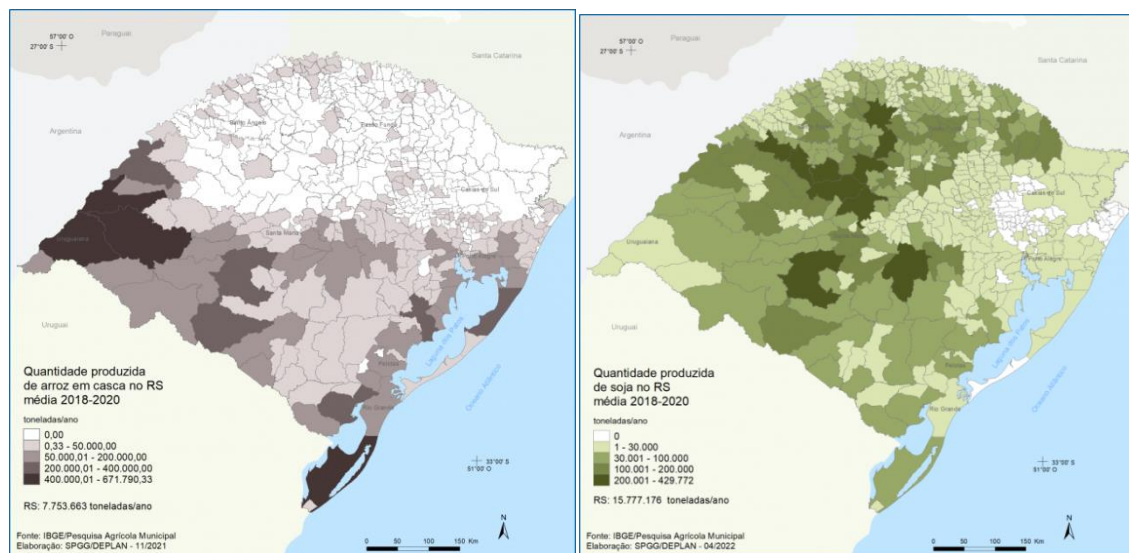
**Uva:** O RS é o maior produtor nacional de uva. A produção de uva, cultura permanente, é resultado da forte influência da colonização italiana e está concentrada principalmente no nordeste do Estado com destaque para região da Serra. É importante mencionar que outras regiões do Estado, como Fronteira Oeste, Campanha e Médio Alto Uruguai, também vêm se destacando na produção de uva destinada à vitivinicultura.

**Soja:** O RS é o terceiro maior produtor de soja em grão do Brasil. As áreas mais produtivas do Rio Grande do Sul encontram-se, principalmente no norte - noroeste e centro.

**Arroz:** O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casca do Brasil. O norte do RS apresenta uma produção expressiva do arroz de terras altas. É cultivado em áreas favorecidas pelo regime de chuvas ou, em algumas situações, sob sistema de irrigação por aspersão. Esse sistema de cultivo envolve vasta gama de ambientes, desde grandes lavouras mecanizadas até as pequenas, como as de produção para subsistência (EMBRAPA, 2023).

A Figura 54 apresenta os mapas da produção média de arroz e soja entre os anos de 2018 a 2020.

**Figura 54.** Produção de arroz e soja no RS

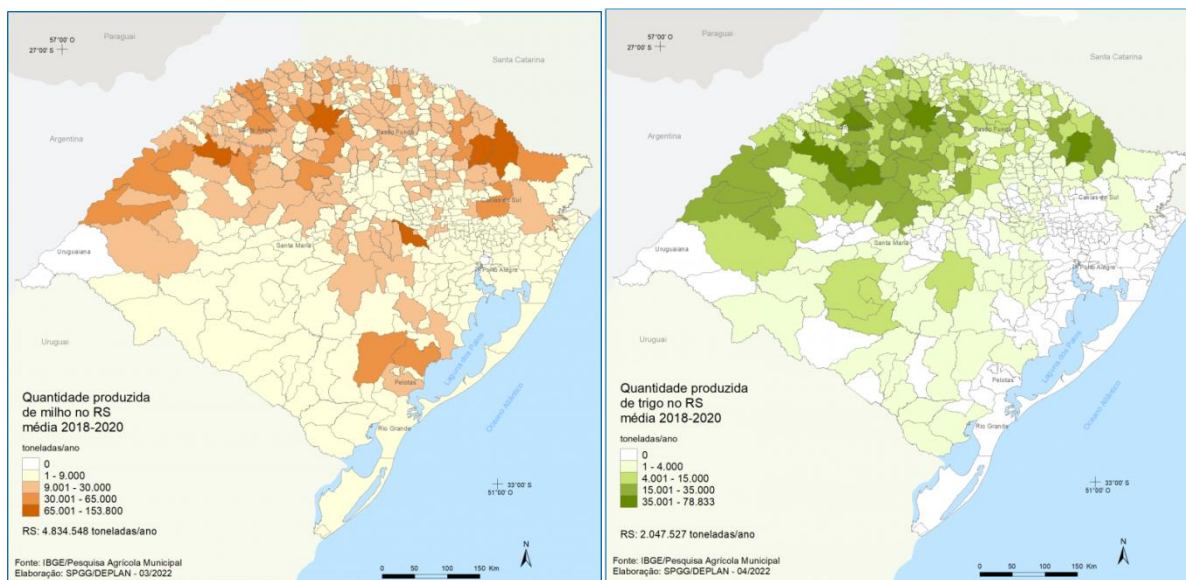


**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

**Milho:** O Rio Grande do Sul é atualmente o sexto maior produtor de milho em grão do Brasil. O cultivo do milho no Rio Grande do Sul é, em geral, consorciado com a cultura da soja, entre outras culturas, e que é possível obter o produto através de mais de uma safra anual. O cultivo do milho está fortemente relacionado com a cadeia de produção agroindustrial de aves e suínos (SEPLAG/DEPLAN, 2020).

**Trigo:** O Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de trigo em grão no Brasil. A produção de trigo no Estado, cultura de inverno altamente suscetível às oscilações de tempo e clima, se caracteriza pela consorciação com a produção de soja e de milho, cultivadas no verão. A Figura 55 apresenta os mapas da produção média de milho e trigo entre os anos de 2018 a 2020.

**Figura 55. Produção de milho e trigo no RS**

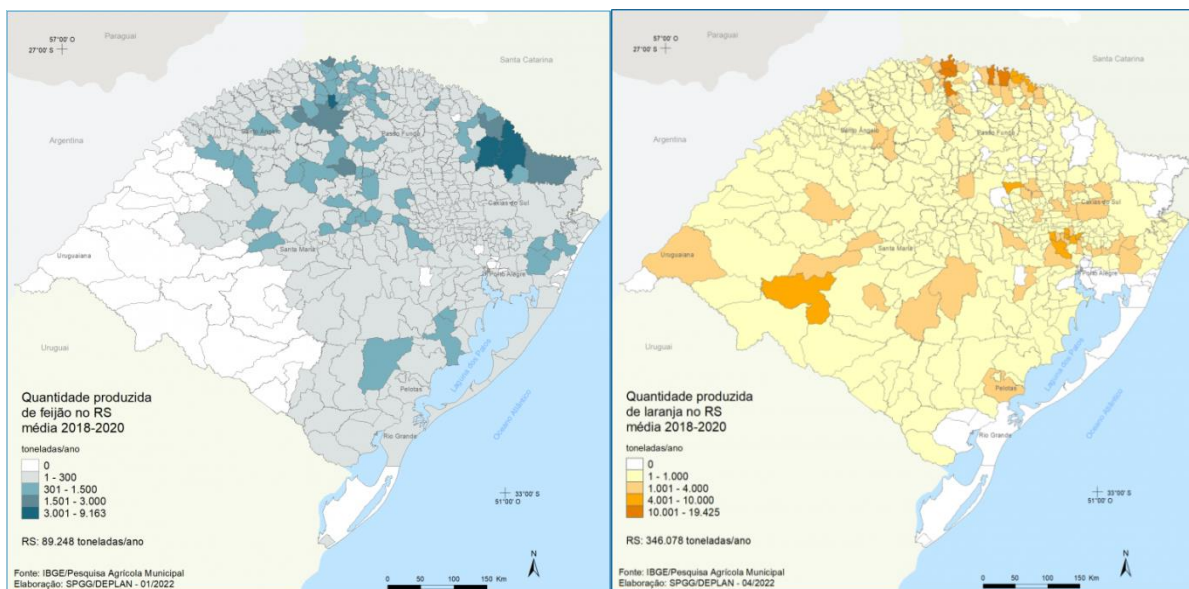


**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

**Feijão e Mandioca:** As culturas de feijão e mandioca estão presentes em mais de 90% dos municípios do RS. A produção de feijão no Estado é desenvolvida principalmente em pequenas propriedades familiares.

**Laranja e Tangerina:** O RS é o quarto maior produtor de tangerina no Brasil. Segundo a EMBRAPA, desde a década de 90, a cultura de citros tem se expandido especialmente no Médio Alto Uruguai e na Campanha gaúcha. No Médio Alto Uruguai, a citricultura é de base familiar. A Figura 56 apresenta os mapas da produção média de feijão e laranja entre os anos de 2018 a 2020.

**Figura 56. Produção de feijão e laranja no RS**



**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

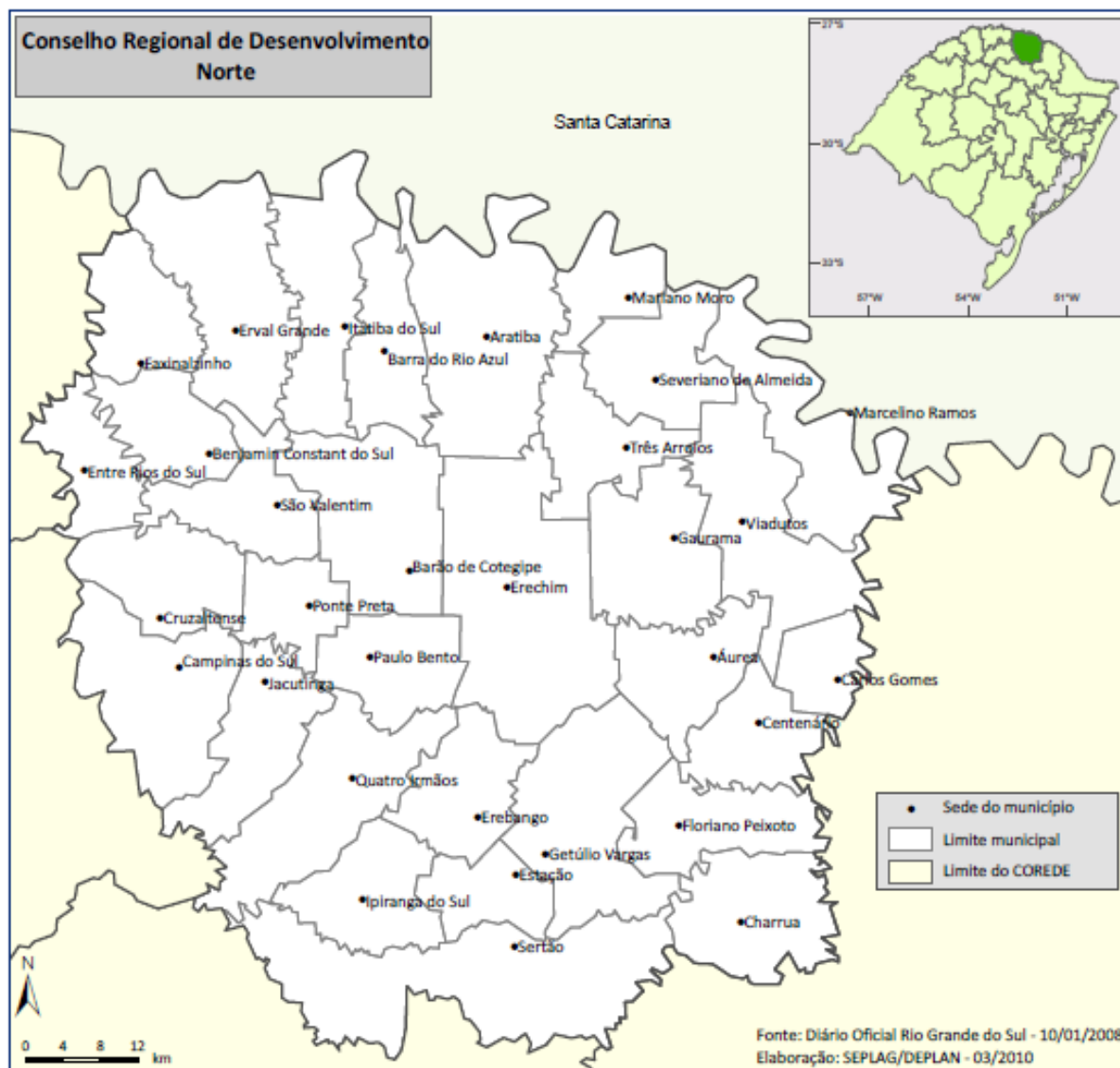
## 6.6.2 Base de dados

A base de dados utilizada para o presente estudo foi obtida através do Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, publicado no ano 2020 (SEPLAG/DEPLAN, 2020). O Rio Grande do Sul conta com os Conselhos Regionais de Desenvolvimento – COREDEs que se constitui em um fórum de discussão para a promoção de ações que visam o desenvolvimento regional.

Para fins de planejamento, os COREDEs, são agregados em nove Regiões Funcionais. Essa regionalização foi definida pelo Estudo RUMOS 2015 de autoria do governo do Estado do Rio Grande do Sul. Teve por base critérios de homogeneidade econômica, ambiental e social, além de variáveis relacionadas à identificação das polarizações de emprego, dos deslocamentos por tipo de transporte, da hierarquia urbana, da organização da rede de serviços de saúde e educação superior, entre outros.

Essa homogeneidade se constitui em fator importante para aplicar o método de monitoramento escalonado na elaboração dos planos de monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água. A região Norte do RS está inserida na Região Funcional de Planejamento – RF9 composta por 32 municípios, conforme pode ser observado na Figura 57.

**Figura 57. Regiões Funcionais de Planejamento – RF 9**



**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN, 2020.

Na Tabela 28 pode-se observar que os principais produtos agrícolas da região Norte do RS são o arroz, cana-de-açúcar, mandioca, milho, soja, trigo, laranja e uva. Observa-se também o alto emprego de agrotóxicos (%EA) em todos os municípios, com percentuais que variam de 89% a 99%.

**Tabela 28.** Municípios, principais cultivos, emprego de agrotóxicos (%EA) e de agricultura familiar (%AF)

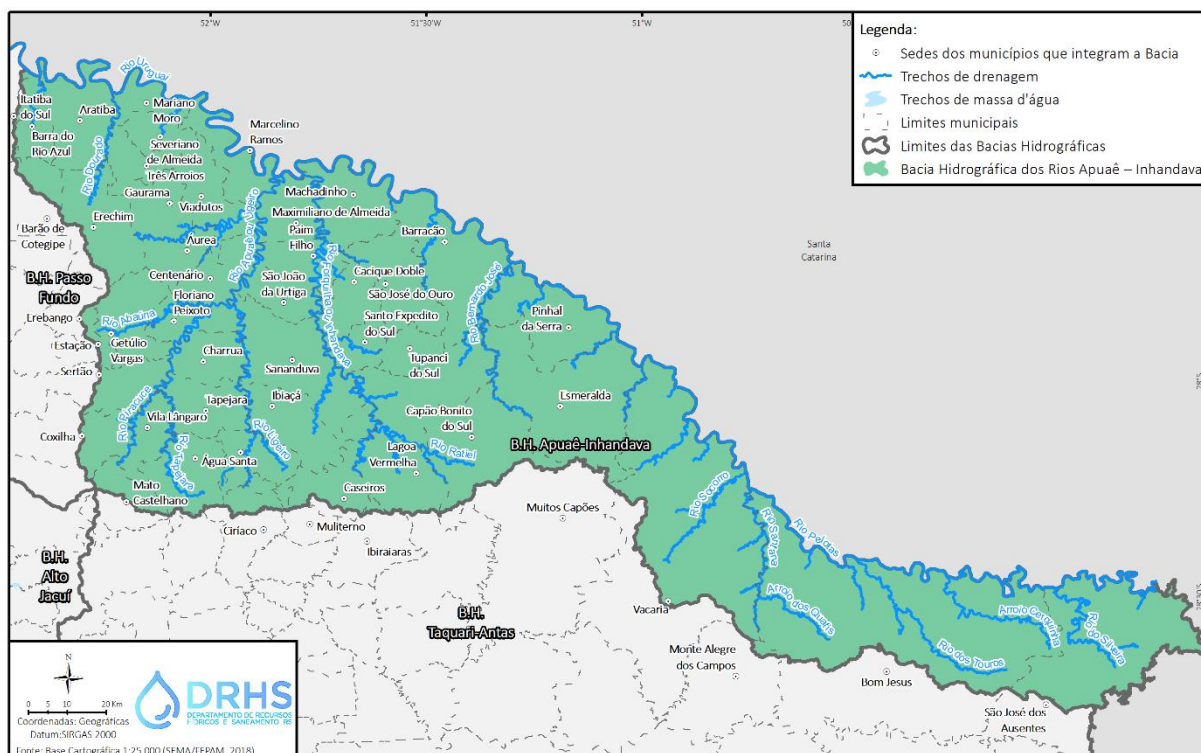
Município	Principais cultivos								% EA	%AF
	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva		
Aratiba	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	88,74	90,7
Áurea	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	95,01	89,56
Barão de Cotegipe	arroz		mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	94,27	97,18
Barra do Rio Azul			mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	92,24	92,9
Benjamin Constant do Sul	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	97,43	91,53
Campinas do Sul		cana	mandioca	milho	soja	trigo		uva	97,15	84,9
Carlos Gomes	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	98,52	93,77
Centenário	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	98,79	90,64
Charrua			mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	97,35	88,37
Cruzaltense	arroz		mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	95,94	93,31
Entre Rios do Sul	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo		uva	95,69	88,63
Erebango			mandioca	milho	soja	trigo		uva	88,51	81,9
Erechim		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	89,83	86,97
Erval Grande	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	84,33	81,97
Estação			mandioca	milho	soja	trigo			93,94	85,28
Faxinalzinho	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja		90,59	87,8
Florianópolis	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	97,26	88,14
Gaurama		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	97,37	91,89
Getúlio Vargas		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	94,76	85,52
Ipiranga do Sul			mandioca	milho	soja	trigo			97,1	90,82
Itatiba do Sul	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	87,54	92,41
Jacutinga		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja		98,17	89,94
Marcelino Ramos	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	94,41	93,01
Mariano Moro			mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	94,55	90,66
Paulo Bento	arroz		mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	98,27	87,89
Ponte Preta		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	91,97	90,64
Quatro Irmãos				milho	soja	trigo	laranja	uva	98,09	79,05
São Valentim	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	96,9	95
Sertão	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	92,53	85,6
Severiano de Almeida	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	94,43	88,43
Três Arroios		cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	90,17	89,12
Viadutos	arroz	cana	mandioca	milho	soja	trigo	laranja	uva	96,83	93,66

Fonte: da Autora. Dados: SEPLAG/DEPLAN, 2020.

Nota: Células em cinza = não há produção do cereal da coluna

Nas Figuras 58 e 59 podem-se identificar as sedes dos municípios das Bacias Apuaê Inhandava – Bacia U010 e Bacia Rio Passo Fundo - Bacia U020, nas quais estão inseridos os 32 municípios objeto do presente estudo.

**Figura 58.** Sedes dos Municípios da Bacia Apuaê Inhandava – Bacia U010



Fonte: DRHS, 2020.





**Tabela 29.** Municípios, suas bacias hidrográficas, meses de coleta de amostras de agrotóxicos, captação e sistema de abastecimento de água, população

Município	Sub-Bacia	%	Sub-Bacia	%	Coleta 1ºS	Coleta 2ºS	Captação	SAA	POP (Hab.)
Aratiba	U010	100			fev	ago	subterrânea	4 poços	6.483
Áurea	U010	100			fev	ago	superficial	ETA	3.396
Barão de Cotegipe	U010	32	U020	68	mar	set	subterrânea	6 poços	7.144
Barra do Rio Azul	U010	98	U020	2					1.696
Benjamin Constant do Sul			U020	100					2.082
Campinas do Sul			U020	100	mar	set	mista	ETA e 4 poços	5.284
Carlos Gomes	U010	100							1.368
Centenário	U010	100							2.721
Charrua	U010	100							2.768
Cruzaltense			U020	100					1.635
Entre Rios do Sul			U020	100	abr.	jul.	subterrânea	2 poços	2.685
Erebango	U010	12	U020	88	jun.	set	subterrânea	2 poços	3.054
Erechim	U010	83	U020	17	jun	nov	superficial	2 ETAs e 2 poços	105.705
Erval Grande			U020	100	jun	jul	subterrânea	2 poços	4.930
Estação	U010	33	U020	67	jun	set	subterrânea	4 poços	5.582
Faxinalzinho			U020	100	jun	jul	subterrânea	2 poços	2.520
Florianópolis	U010	100							1.668
Gaurama	U010	100			fev	ago	superficial	ETA	5.665
Getúlio Vargas	U010	100			jun	set	superficial	ETA e 2 poços	16.602
Ipiranga do Sul			U020	100					1.720
Itatiba do Sul	U010	7	U020	93	mar	set	superficial	ETA	3.208
Jacutinga			U020	100	mar	set	subterrânea	1 poço	3.338
Marcelino Ramos	U010	100			fev	ago	superficial	ETA	4.320
Mariano Moro	U010	100			fev	ago	subterrânea	3 poços	1.858
Paulo Bento			U020	100					2.144
Ponte Preta			U020	100					1.575
Quatro Irmãos			U020	100					1.552
São Valentim			U020	100	mar	set	superficial	ETA	3.264
Sertão	U010	42	U020	58	jun	set	superficial	ETA	5.541
Severiano de Almeida	U010	100			fev	ago	subterrânea	2 poços	3.406
Três Arroios	U010	100							2.591
Viadutos	U010	100			fev	ago	superficial	Integrado c/Gaurama	4.769
TOTAL									210.553

Fontes: da autora, Dados: IBGE 2022 e SISÁGUA, 2023b.

**Notas:**

1. Municípios hachurados em amarelo, não estão incluídos no SISÁGUA;

2. U010 - Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê Inhandava, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai;
3. U020 - Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai;
4. Os dados do SISÁGUA dos primeiro e segundo semestres da amostragem referem-se ao ano de 2022.

### **6.6.3 Variáveis**

As variáveis para este estudo de caso foram definidas a partir das informações sobre a caracterização da região e a base de dados, apresentadas nos itens 6.6.1 e 6.6.2, respectivamente. Foram consideradas as seguintes variáveis:

1. Relação dos municípios pertencentes à Região Norte do RS;
2. Relação dos principais produtos produzidos na Região Norte do RS e os respectivos municípios produtores;
3. Percentual de emprego de agrotóxicos em cada município;
4. Percentual de propriedades com agricultura familiar em cada município;
5. Identificação das bacias hidrográficas e suas características nas quais os municípios estão inseridos;
6. Mês da coleta em cada município informado pelo SISÁGUA;
7. Identificação dos agrotóxicos presentes nas análises de água realizadas nos últimos 5 anos, nas captações dos municípios;
8. Fonte de captação dos sistemas de abastecimento de água: superficial, subterrâneo ou misto (superficial + subterrâneo);
9. População dos municípios.

As variáveis aplicáveis neste estudo de caso podem ser simplificadas mediante a uniformidade da região em estudo.

### **6.6.4 Resultados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano - SISÁGUA**

Conforme a consulta ao SISÁGUA no ano de 2022, todos os resultados para agrotóxicos dos 20 municípios (12 não estão incluídos no SISÁGUA), estão abaixo do limite de detecção (LD). Isso se estende a todos os municípios do RS, não havendo casos de excedência do Valor Máximo Permitido (VMP). A Tabela 30 apresenta os meses que foram coletadas as amostras dos 20 municípios que informam seus dados ao SISÁGUA.

**Tabela 30.** Número de municípios que amostraram e seus respectivos meses

1º Semestre	Janeiro 0	Fevereiro 7	Março 5	Abril 1	Maió 0	Junho 7
2º Semestre	Julho 3	Agosto 7	Setembro 9	Outubro 0	Novembro 1	Dezembro 0

**Fonte:** da Autora, Dados: SISÁGUA, 2023b.

### 6.6.5 Critérios

Os critérios considerados para aplicar a análise multicritério com a finalidade de formar 6 grupos de municípios, dos 32 pertencentes a Região Norte do RS, e que atendam alguns requisitos iniciais de similaridade, são eles:

1. Cultivar as mesmas espécies e utilizar os mesmos agrotóxicos;
2. Aplicar os mesmos agrotóxicos na mesma época;
3. Possuir regime pluviométrico semelhante;
4. Possuir conformação geomorfológica semelhante;
5. Possuir nível de antropização semelhante;
6. Possuir cobertura vegetal semelhante no mesmo bioma;
7. Estar localizado na mesma região hidrográfica;
8. Localização na mesma Bacia Hidrográfica (B);
9. Forma de captação do sistema de abastecimento de água (A);
10. Se o município informa os resultados do monitoramento ao SISÁGUA (S);
11. Meses que faz o monitoramento informado no SISÁGUA (M);
12. População do município (P).

### 6.6.6 Ponderação de critérios

A Região Norte do RS se constitui em região com características homogêneas quanto aos critérios 1 a 7, para estes será atribuído o peso zero. Para os demais critérios será atribuída uma pontuação, distribuída da seguinte forma:

**Critérios 1 a 7:** são os mesmos para todos os municípios, atribuído o mesmo peso. P=0

**Critério 8:** bacias hidrográficas, aleatoriamente será atribuído: B=1 e B=2 para as bacias hidrográficas U10 e U20, respectivamente.

**Critério 9:** captações aleatoriamente será atribuído: A=1 superficial, A=2 Subterrânea, A= 3

mista

**Critério 10:** Dados registrados no SISÁGUA: S=1 sim; S= 2 não.

**Critério 11:** Meses que coletou (M): Janeiro/Julho (M=1), Fevereiro/ Agosto (M=2), Março/ Setembro (M=3), Abril/ Outubro (M=4), Maio/ Novembro (M=5), Junho/ Dezembro (M=6), se não informou a coleta M=0.

**Critério 12:** População (P) –  $P \leq 3000$  (P=1),  $3000 < P < 10000$  (P=2),  $P > 10000$  (P=3).

A Tabela 31 apresenta a distribuição da pontuação para os 32 municípios objeto de estudo. As cores servem para identificar os municípios que totalizaram o mesmo valor após a ponderação dos critérios.

**Tabela 31.** Ponderação dos critérios aplicada aos municípios

<b>Município</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>TOTAL</b>
Aratiba	2	1	1	2	2	8
Áurea	1	1	1	2	2	7
Barão de Cotegipe	2	2	1	2	3	10
Barra do Rio Azul	2	1	2	1	0	6
Benjamin Constant do Sul	2	2	2	1	0	7
Campinas do Sul	3	2	1	2	3	11
Carlos Gomes	2	1	2	1	0	6
Centenário	3	1	2	1	0	7
Charrua	2	1	2	1	0	6
Cruzaltense	2	2	2	1	0	7
Entre Rios do Sul	2	2	1	1	4	10
Erebango	2	2	1	2	6	13
Erechim	1	1	1	3	6	12
Erval Grande	2	2	1	2	6	13
Estação	2	2	1	2	6	13
Faxinalzinho	2	2	1	1	6	12
Florianópolis	2	1	2	1	0	6
Gaurama	1	1	1	2	2	7
Getúlio Vargas	3	1	1	3	6	14
Ipiranga do Sul	2	2	2	1	0	7
Itatiba do Sul	1	2	1	2	3	9
Jacutinga	2	2	1	2	3	10
Marcelino Ramos	2	1	1	2	2	8
Mariano Moro	2	1	1	1	2	7
Paulo Bento	2	2	2	1	0	7
Ponte Preta	2	2	2	1	0	7
Quatro Irmãos	2	2	2	1	0	7
São Valentim	3	2	1	2	3	11
Sertão	1	2	1	2	6	12
Severiano de Almeida	2	1	1	2	2	8
Três Arroios	2	1	2	1	0	6
Viadutos	1	1	1	2	2	7

**Fonte:** da Autora

**Notas:**

A = forma de captação superficial;

B = bacia hidrográfica;

S = se o município está ou não incluído no SISÁGUA;

P = população do município;

M = mês da coleta, registrado no SISÁGUA.

### 6.6.6 Monitoramento escalonado

Para aplicar o método de monitoramento escalonado inicialmente foram verificados os períodos em que as coletas foram realizadas nos municípios.

Observa-se na Tabela 30 que as coletas se concentram nos meses de fevereiro e março (no primeiro semestre) e agosto e setembro (segundo semestre). Os resultados do SISÁGUA indicam que todos os parâmetros de agrotóxicos analisados apresentaram resultados inferiores ao Limite de Detecção (LD), mesmo considerando que a região apresenta um alto consumo de agrotóxicos. A detecção praticamente inexistente causa estranheza e, ao mesmo tempo preocupação, uma vez que são, na maioria, municípios de pequeno porte com sistemas de tratamento de água simplificados que não removem traços de agrotóxicos.

A ausência de detecção de agrotóxicos nas fontes de captação requer a análise de alguns fatores, tais como:

(i) a avaliação mais otimista: os resultados estão corretos e os mananciais estão preservados;

Mesmo ao considerar a avaliação otimista, o número de análises não é suficiente para afirmar assertivamente que não há contaminação por agrotóxicos, nos mananciais que suprem os sistemas de abastecimento de água no Norte do RS. Além disso, conforme os dados do SISÁGUA, em 2022, não foram detectados níveis de agrotóxicos acima do Limite de Detecção (LD) em todo o estado do Rio Grande do Sul. Dado que o efeito antrópico é intenso nas áreas de produção agrícola no RS, a avaliação otimista necessita de comprovação.

(ii) pode haver problemas na coleta, preservação e análise das amostras;

A complexidade que envolve o monitoramento de agrotóxicos, mesmo que existam laboratórios acreditados no estado, pode apresentar resultados que não correspondem a realidade da presença dos ingredientes ativos na água.

(iii) a época em que estão sendo realizadas as coletas não é a mais adequada;

A coleta para análise de todos os 40 agrotóxicos, no mesmo dia, pode não ser representativa da presença de alguns, pois é sabido que existem variações nas propriedades dos diferentes ingredientes ativos. É importante definir o período adequado para a coleta das amostras.

(iv) pode haver problemas na inserção dos resultados das análises registrados no SISÁGUA pelos operadores dos sistemas de abastecimento de água.

Os registros feitos pelos operadores não são auditados, dessa forma também podem ocorrer erros de preenchimento que podem ser voluntários ou involuntários.

Nesse sentido, ao aplicar a metodologia de monitoramento escalonado desenvolvida nesta tese, é possível obter 12 amostras para cada parâmetro mantendo a coleta semestral, conforme preconiza a Portaria n.º 888/2021. A amostragem é distribuída ao longo dos 12 meses do ano em municípios que atendam aos critérios de similaridade, como os 32 municípios da Região Norte do RS selecionados para desenvolver este estudo de caso.

Assim, os 32 municípios foram distribuídos conforme o Quadro 22, resultante da ponderação dos critérios apresentada na Tabela 31, onde cada município obteve uma pontuação total e foi identificada a pontuação por cores para facilitar a identificação. A mesma pontuação define a homogeneidade entre os municípios e, a partir desta, eles são distribuídos de forma escalonada no conjunto de meses. Além da homogeneidade definida pela pontuação, foram estabelecidos 2 critérios adicionais, que consistem em escalonar os municípios pertencentes a mesma bacia hidrográfica e os que possuem a mesma forma de captação. Dessa forma há um equilíbrio na composição do escalonamento, com o seguinte resultado:

**Janeiro/julho:** 4 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial e 1 em misto;

- Bacia U010: 3 coletas, Bacia U020: 3 coletas;

**Fevereiro/ Agosto:** 4 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial e 1 em misto

- Bacia U010: 3 coletas, Bacia U020: 3 coletas;

**Março/ Setembro:** 4 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial

- Bacia U010: 2 coletas, Bacia U020: 3;

**Abril/ Outubro:** 3 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial e 1 em misto

- Bacia U010: 2 coletas, Bacia U020: 3;

**Maió/ Novembro:** 4 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial

- Bacia U010: 3 coletas, Bacia U020: 2;

**Junho/ Dezembro:** 3 coletas em manancial subterrâneo, 1 em superficial e 1 em misto

- Bacia U010: 2 coletas, Bacia U020: 3.

Como se pode observar no Quadro 22 os municípios com fonte de abastecimento superficial e misto por serem em menor número foram distribuídos de forma escalonada para não coincidirem suas coletas no mesmo conjunto de meses. Dessa forma haverá uma série completa (janeiro/julho a junho/dezembro) de coletas para os municípios com manancial




superficial e subterrâneo. Os municípios com suprimento misto são em número de 4, o critério para sua distribuição foi equilibrar o número de bacias hidrográficas amostradas por coleta.

**Quadro 22.** Proposta de distribuição escalonada para o monitoramento dos agrotóxicos na região de estudo

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Barra do Rio Azul (6) U010	Carlos Gomes (6) U010	Charrua (6) U010	Floriano Peixoto (6) U010	Três Arroios (6) U010	Viadutos (7) U010
Áurea (7) U010	Benjamin Constant do Sul (7) U020	Cruzaltense (7) U020	Centenário (7) U010	Gaurama (7) U010	Ipiranga do Sul (7) U020
Paulo Bento (7) U020	Mariano Moro (7) U010	Ponte Preta (7) U020	Quatro Irmãos (7) U020	Aratiba (8) U010	Marcelino Ramos (8) U010
Severiano de Almeida (8) U010	Itatiba do Sul (9) U020	Barão de Cotegipe (10) U020	Entre Rios do Sul (10) U020	Jacutinga (10) U020	Campinas do Sul (11) U020
São Valentim (11) U020	Faxinalzinho (12) U020	Erechim (12) U010	Sertão (12) U020	Erebango (13) U020	Ervai Grande (13) U020
Estação (13) U020	Getúlio Vargas (14) U010				

Fonte: da Autora

**Notas:**

-  Captação subterrânea
-  Captação superficial
-  Captação mista (subterrânea + superficial).

Ao monitorar ao longo de um ano todos os 40 agrotóxicos semestralmente, seguindo o esquema proposto no Quadro 22, haverá, no mínimo, uma amostra mensal de cada agrotóxico, ao final de 12 meses. Os resultados desse monitoramento escalonado permitirão identificar quais os meses com maior incidência de traços de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água. Se, ainda assim, a detecção não for confirmada, será possível, a exemplo das diretivas internacionais, reduzir o número de agrotóxicos a serem monitorados ou até amostrar em períodos mais espaçados.

Se houver uma maior detecção com a metodologia proposta, pode-se aumentar o monitoramento nos locais em que houve maior detecção e diminuir em outros onde houver menor presença. Desta forma, seria possível otimizar recursos, viabilizando planos de monitoramento mais consistentes.



## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A contaminação por agrotóxicos caracteriza-se por ser uma fonte difusa de poluição, dependendo de uma série de fatores climáticos, do solo, da antropização na bacia hidrográfica e das características físico-químicas dos ingredientes ativos. Assim, a coleta de amostras representativas para análise de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano é um grande desafio. Ao monitoramento interessa saber as épocas do ano e condições climáticas que favorecem a detecção de agrotóxicos na água.

Ao analisar os dados oficiais disponíveis no SISÁGUA referentes ao monitoramento de agrotóxicos, é possível concluir que estes resultados podem não ser representativos, uma vez que não atendem na íntegra aos requisitos da Portaria n.º 888/21. Além disso, quando comparados ao volume de agrotóxicos utilizados no Brasil, causa estranheza o baixo índice de detecção de agrotóxicos na água.

Há uma série de incertezas em relação à avaliação dos resultados, como a determinação da melhor periodicidade face ao comportamento diverso dos agrotóxicos quando descartados no ambiente. Outras incertezas incluem a existência ou não de condições adequadas para realizar as análises considerando os cuidados necessários com a coleta, a preservação e a capacidade analítica. Além dessas, se há um número suficiente e qualificado de profissionais envolvidos no monitoramento, nas atividades de campo, laboratório, administrativas e fiscalização. Finalmente, se os resultados das análises fornecidas pelos operadores ao SISÁGUA foram registrados de forma correta.

A Portaria n.º 888/2021 revisou e ampliou a relação de parâmetros de agrotóxicos de 27 para 40, mas manteve as demais exigências de monitoramento inalteradas. É necessário avaliar as condições que os municípios dispõem para análise semestral dos 40 agrotóxicos. Atualmente, como é possível notar no gráfico dos percentuais de cumprimento de vigilância (Figura 42), nem mesmo as análises microbiológicas são efetivas em um grande percentual de municípios brasileiros.

Nesse sentido, os planos de monitoramento de agrotóxicos precisam ser aprimorados para ampliar a sua representatividade. Os requisitos das práticas internacionais, como foram vistos, não são uniformes entre os países, assim como as exigências de monitoramento para os diferentes ingredientes ativos. O Brasil poderia aproveitar as experiências internacionais para

adequar o monitoramento dos agrotóxicos, considerando, por exemplo, os volumes e tipos de agrotóxicos usados nas diversas regiões, se já houve detecções nas águas, os riscos à saúde, as características das bacias hidrográficas e dos aquíferos, o número de habitantes servidos pelos sistemas, as características químicas e o comportamento ambiental dos agrotóxicos na água.

Portanto, é recomendado estabelecer critérios metodológicos para determinar a periodicidade amostral adequada para cada agrotóxico. A exemplo das diretivas internacionais seria possível estabelecer um período inicial de avaliação de cinco anos. No primeiro ano, seria realizada uma série amostral completa dos 40 agrotóxicos. Conforme a avaliação dos resultados obtidos neste ano, em termos de detecção ou não, bem como da relação entre os valores encontrados e os valores máximos permitidos (VMP), seriam estabelecidas novas periodicidades para cada agrotóxico. Essas periodicidades podem ser aumentadas, mantidas ou reduzidas, bem como sugerir a incorporação de novos compostos de acordo com critérios previamente estabelecidos.

Assim, esta tese propõe uma metodologia para a elaboração de *Planos de Monitoramento Escalonado de Agrotóxicos*. Por meio deste método, é possível obter 12 amostras anuais de cada ingrediente ativo, através da coleta semestral em cada sistema de abastecimento de água. Ao amostrar um agrotóxico em todos os meses do ano, é possível identificar os meses com maior incidência e, a partir desses resultados adequar os planos de monitoramento. O método oferece uma variedade de combinações e alternativas, que permitem aprofundar o conhecimento sobre a presença de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água. Ele torna possível personalizar as diversidades regionais e ampliar as séries históricas de amostras.

Adicionalmente, os resultados podem ser transferidos para outros municípios que atendam aos critérios de similaridade e não possuam condições estruturais para realizar o seu próprio monitoramento. Isso os beneficia com o conhecimento adquirido ao contemplá-los com as tendências observadas nos dados dos locais em que houve monitoramento.

O método de monitoramento escalonado proposto nesta tese pretende contribuir para identificar as épocas em que há maior probabilidade de ocorrência de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água e otimizar recursos públicos destinados ao monitoramento. Devido ao grande número de fatores que interferem no sucesso do monitoramento de agrotóxicos,

existem incertezas que talvez não possam ser sanadas integralmente. Mas, ao obter um número maior de parâmetros amostrados, eles auxiliam na verificação da tendência. Permitem, também, priorizar as estações de tratamento de água que necessitam ser dotadas de tecnologias avançadas para prevenir a presença de agrotóxicos na água de consumo distribuída à população.

É importante salientar que este método não responde a todas as incógnitas inerentes ao monitoramento de agrotóxicos, mas oferece uma alternativa para obter um maior número de amostras ao longo de um ano, sem alterar a determinação da Portaria n.º 888/2021, de uma amostra semestral. A obtenção de uma série maior só será consistente se houver auditoria nos dados registrados pelos operadores dos sistemas de abastecimento de água.

As principais recomendações para aperfeiçoar o monitoramento de agrotóxicos nos municípios brasileiros são: (i) espacializar o monitoramento utilizando o método de monitoramento escalonado; (ii) identificar as diferenças regionais brasileiras em termos de recursos humanos e infraestrutura; (iii) estabelecer um programa de treinamento para os profissionais envolvidos no monitoramento de agrotóxicos; (iv) criar mecanismos para auditar os dados inseridos no SISÁGUA pelos controle (operadores dos sistemas de abastecimento de água); (v) criar programa de incentivo, orientação e acompanhamento para aqueles municípios que ainda não informam os seus dados junto ao SISÁGUA ou não monitoram os seus sistemas de abastecimento de água; (vi) quando não houver uma base de dados adequada para aplicar a análise multicritério, será possível utilizar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

Considera-se fundamental para o sucesso e incentivo ao aprimoramento do monitoramento de agrotóxicos abordar, inicialmente, aspectos relevantes e de baixa e média complexidade na sua resolução, como o monitoramento escalonado e a auditoria dos dados do SISÁGUA, respectivamente.

A pesquisa revelou limitações significativas quanto à representatividade dos dados oficiais disponíveis no SISÁGUA. Dessa forma, não foi possível concluir sobre a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água brasileiros. No entanto, essa limitação foi o que motivou o desenvolvimento da metodologia para elaboração de planos de monitoramento escalonados. Este método de baixa complexidade e adaptável permite que

qualquer município brasileiro elabore o seu plano de monitoramento com base em um fundamento técnico.

O método proposto apresenta limitações quanto à compreensão de sua estrutura, uma vez que os critérios são subjetivos, assim como a pontuação atribuída. Outra questão que pode torná-lo um pouco mais complexo na sua execução é a identificação do conjunto de municípios em regiões mais heterogêneas. Nesse caso, é necessário encontrar um denominador comum com o auxílio da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

A presente tese tem como objetivo contribuir para ampliar o conhecimento sobre a presença de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água brasileiros. O método proposto possibilita otimizar os recursos atualmente empregados, em monitoramentos que não fornecem informações precisas. Esses recursos podem ser destinados, como por exemplo, para aparelhar laboratórios, treinar pessoal e desenvolver pesquisas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR ISO/IEC 17025. *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro.
- ADEGAS, F. S., GAZZIERO, D. L. P. (2020). *Tecnologia de aplicação de agrotóxicos*. Tecnologias de produção de soja. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). p. 281-292. ISSN: 2176-2902. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219421/1/p.-281-292-de-SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- AGROFIT. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. (1998). AGROFIT 98: *Uso adequado de agrotóxicos*. Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento: FAEAB.
- AGROFIT. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. (2023). Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit.cons/principal.agrofit.cons>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- ALOIZOU, A. M., SIOKAS, V., VOGIATZI, C. (2020). Pesticides, cognitive functions and dementia: A review. *Toxicology Letters*, Volume 326, Pages 31-51. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.03.005>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378427420300771>) *Google Scholar*. Acesso em: 27 ago. 2023.
- ALSHARIF, A. M. A., *et al.* (2017). Efficiency of hollow fiber liquid-phase micro-extraction chromatography methods in the separation of organic compounds: A Review, *Journal of Chromatographic Science*, Volume 55, Issue 3, March 2017, Pages 378–391, Disponível em: <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmw188>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ANA. Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. (2007). *Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília: ANA, 124 p. il. (*Caderno de Recursos Hídricos*, 5) ISBN: 978-85-89629-29-4.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2017). *Base Hidrográfica Ottocodificada. – Bacias nível 2*. Disponível em: [https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4db0ad90eca84da0836cef9458dcb285\\_7/explore](https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4db0ad90eca84da0836cef9458dcb285_7/explore). Acesso em: 11 mar. 2023.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento. (2012). *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil*. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/PanoramaAguasSuperficiaisPortugues.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento. (2021). *Atlas Águas: Segurança hídrica do abastecimento urbano*. Disponível em:

[https://static.poder360.com.br/2021/10/ANA\\_ATLAS\\_Aguas\\_AbastecimentoUrbano2021\\_compressed.pdf](https://static.poder360.com.br/2021/10/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021_compressed.pdf). Acesso em: 12 set. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento. (2022). *Programa Qualiágua*. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-qualiagua>. Acesso em: 12 set. 2023.

ANASTASSIADES, M., *et al.* (2019). Quick method for the analysis of numerous polar pesticides in foods of plant origin via LC-MS/MS Involving simultaneous extraction with methanol (QuPPE-Method) II. Food of animal origin (QuPPE-AO-Method), *EU Reference Laboratories for Residues of Pesticides – SRM: Single Residue Methods*. Disponível em: [https://www.eurl-pesticides.eu/library/docs/srm/meth\\_QuPPE.pdf](https://www.eurl-pesticides.eu/library/docs/srm/meth_QuPPE.pdf). Acesso em: 8 set. 2023.

ANDREU, V., PICÓ, Y. (2004). Determination of pesticides and their degradation products in soil: critical review and comparison of methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23(10-11), 772-789. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-9644281694&origin=inward&txGid=42f74edd65d4267695000571837c1ce3>. Acesso em: 12 set. 2023.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2019). *Reclassificação toxicológica de agrotóxicos*. Disponível em: [http://antigo.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=5578706&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=219201&\\_101\\_urlTitle=publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos-&inheritRedirect=true](http://antigo.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=5578706&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos-&inheritRedirect=true). Acesso em: 27 out. 2022.

ANZECC. Australia and New Zealand Environment and Conservation Council and ARMCANZ. Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. (2000). *Australian Guidelines for Monitoring and Reporting. National Water Quality Management Strategy Paper No. 7*, ANZECC and ARMCANZ, Canberra. Disponível em: <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000>. Acesso em: 30 ago. 2023.

ARAÚJO, I. M. M., OLIVEIRA, A. G. R. C. (2017). Agronegócio e agrotóxicos: Impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas do nordeste brasileiro. *Revista Trabalho, Educação e Saúde*. Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 117-129. jan./abr. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tes/a/Ny5PpLyDMmSjBhNc8CBfKVf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 ago. 2023.

ASIRI, H. F. M., *et al.* (2020). Monitoring and health risk assessment of some pesticides and organic pollutants in fruit and vegetables consumed in Asir Region, Saudi Arabia (Article). Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076190464&origin=inward&txGid=1b91af5ce581b8e7c8717b71bb715994>. Acesso em: 30 ago. 2023.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2022). Disponível em:

<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>. Acesso em: 30 ago. 2023.

AZNAR-ALEMANY, Ò., ELJARRAT, E. (2020). Introduction to pyrethroid insecticides: Chemical structures, properties, mode of action and use. In: ELJARRAT, E. (Eds) Pyrethroid Insecticides. *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 92. Springer International Publishing, Cham. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/698\\_2019\\_435](https://doi.org/10.1007/698_2019_435). Acesso em: 30 ago. 2023.

BALAJI, K., KUMAR, V.S. S. (2014). Multicriteria inventory ABC classification in an automobile rubber components manufacturing industry. *Procedia*, India. p.463 – 468. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/82157084.pdf>. Acesso em: 23 set. 2023.

BANIHABIB, M. E., HASHEMI-MADANI, F. S., FORGHANI, A. (2017). Comparison of compensatory and non-compensatory multi criteria decision making models in water resources strategic management. *Water Resources Management*, 31(12), 3745–3759. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1702-x>. Acesso em: 15 ago. 2023.

BARBOSA, A. M. C., Solano, M. de L. M., Umbuzeiro, G. de A. (2015). Pesticides in Drinking Water – The Brazilian-Monitoring Program. *Frontiers in Public Health*. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2015.00246>. Acesso em: 12 abr. 2022.

BARTRAM, J., Balance, R. (1996). *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/253953121\\_Water\\_quality\\_monitoring\\_a\\_practical\\_guide\\_to\\_the\\_design\\_and\\_implementation\\_of\\_freshwater\\_quality\\_studies\\_and\\_monitoring\\_programmes/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/253953121_Water_quality_monitoring_a_practical_guide_to_the_design_and_implementation_of_freshwater_quality_studies_and_monitoring_programmes/citation/download). Acesso em: 25 set. 2023.

BELTON, V., STEWART, T. J. (2002). Multiple criteria decision analysis (K. A. Publishers (Ed.)). *Springer US*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. (2014). Adoção da agricultura de precisão no Brasil. *Agricultura de Precisão: Resultados de Um Novo Olhar*. Embrapa. São Carlos, SP. p.559-18. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002959/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BRASIL. *Decreto nº 4.074, de 4 de Janeiro de 2002*. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/D4074compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074compilado.htm). Acesso em: 22 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2012). *Portaria nº 2.938, de 20 de dezembro de 2012*. Secretaria de Vigilância Sanitária. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2012/prt2938\\_20\\_12\\_2012.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2012/prt2938_20_12_2012.html). Acesso em: 10 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2017). *Anexo XX do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011). Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em: 17 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2021). *Portaria GM/MS N.º 888, de 4 de maio de 2021*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. (2016). *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano*. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz\\_nacional\\_plano\\_amostragem\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf). Acesso em: 12 mar. 2022.

BRONDI, S. H. G.; LANÇAS, F. M. (2006). Development and validation of a multi-residue analytical methodology to determine the presence of selected pesticides in water through liquid chromatography. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 16, n. 3b, 650-653, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000400026>. Acesso em: 25 set. 2023.

BROVINI, E. M., *et al.* (2023). Water treatment technologies for removing priority pesticides. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 53,103730. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103730>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714423002490>). Acesso em: 15 out. 2022.

CALAMARIA, D., BARG, U. C. (1993). Hazard assessment of agricultural chemicals by simple simulation models. Prevention of water pollution by agriculture and related activities. *Water reports* (FAO), FAO, Roma (Italia). Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Hazard%20assessment%20of%20agricultura%20chemicals%20by%20simple%20simulation%20models.%20Prevention%20of%20water%20pollution%20by%20agriculture%20and%20related%20activities&publication\\_year=1993&author=D.%20Calamaria&author=U.C.%20Barg](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Hazard%20assessment%20of%20agricultura%20chemicals%20by%20simple%20simulation%20models.%20Prevention%20of%20water%20pollution%20by%20agriculture%20and%20related%20activities&publication_year=1993&author=D.%20Calamaria&author=U.C.%20Barg). Acesso em: 25 nov. 2022.

CALDAS, E. D., SOUZA, L. C. K. R. de. (2000). Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de agrotóxicos na dieta brasileira. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 529-8, out. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102000000500014&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102000000500014&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 23 jan. 2021.

CALDAS, S. S., *et al.* (2011). Principais técnicas de preparo de amostra para a determinação de resíduos de agrotóxicos em água por cromatografia líquida com detecção por arranjo de diodos e por espectrometria de massas. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/ND6HMPzwNTDspYcZWCF3YWq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2023.

CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C.(2019). Suscetibilidade à erosão dos



solos da bacia hidrográfica lagos–São João, no Estado do Rio de Janeiro. Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.04, p.1415-1430. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/239000>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CAMPANALE, C., *et al.* (2021). The monitoring of pesticides in water matrices and the analytical criticalities: A review, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, Volume 144, 116423, ISSN 0165-9936. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116423>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993621002466>). Acesso em: 20 dez. 2023.

CARRETTA, L., *et al.* (2019). A new rapid procedure for simultaneous determination of glyphosate and AMPA in water at sub  $\mu\text{g/L}$  level. *Journal of Chromatography A*, Volume 1600, P. 65-72. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.04.047>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967319304315>). Acesso em: 20 set. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Organizadores: Carlos Jesus Brandão [*et al.*]. São Paulo; Brasília: ANA. 326 p.: il. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015). *Histórico e legislação de poluentes orgânicos persistentes (POPs) no Brasil*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/pops/wp-content/uploads/sites/19/2018/06/Hist%C3%B3rico-e-legisla%C3%A7%C3%A3o-de-poluente-org%C3%A2nicos-persistentes-POPs-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2019). Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. (recurso eletrônico): *Boletim 2019*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2020/09/Aguas-Subterraneas-Boletim-2019.pdf>. Acesso em: 09 set. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2020). *Ficha de Informação Toxicológica. FIT*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Acefato.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023). *Poluentes orgânicos persistentes*. (2023). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/a-convencao/poluente-organico-persistentes-pops/>. Acesso em: 10 set. 2023.

CHEN, X., *et al.* (2019). Removal of nine pesticide residues from water and soil by biosorption coupled with degradation on biosorbent-immobilized laccase. *Chemosphere*, 233, pp. 49-56. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.144>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519310562>). Acesso em: 10 set. 2023.

CHOW, R., *et al.* (2020) A review of long-term pesticide monitoring studies to assess surface water quality trends, *Water Research X*, Volume 9,100064. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914720300244?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email#bib64](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914720300244?dgcid=raven_sd_recommender_email#bib64). Acesso em: 11 mar. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos – V.6 – Safra 2018/2019 – Nº 12*. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 01 mar. 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. Safra 2022/2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CONTIERO, R. L., BIFFE, D. F., CATAPAN, V. (2018). Tecnologia de aplicação. In: Brandão Filho, J. U. T., Freitas, P. S. L., Berian, L. O. S., Goto, R., *Comps. Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, pp. 401-449. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0015>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas. (2023). Disponível em: [https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/?\\_gl=1\\*md0qev\\*\\_ga\\*ODcxOTQwMDMyLjE2OTAwNTU5MjM.\\*\\_ga\\_HYCRRWGXHJ\\*MTY5MTk4MjU5Ny43LjEuMTY5MTk4MjYxMC4wLjAuMA](https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/?_gl=1*md0qev*_ga*ODcxOTQwMDMyLjE2OTAwNTU5MjM.*_ga_HYCRRWGXHJ*MTY5MTk4MjU5Ny43LjEuMTY5MTk4MjYxMC4wLjAuMA). Acesso em: 10 ago. 2023.

DE ALMEIDA, A. T., *et al.* (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive trade off. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 179–191. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2015.08.058>. Acesso em: 01 set. 2023.

DOPPLER, T., *et al.* (2012). Spatial variability of herbicide mobilization and transport at catchment scale: Insights from a field experiment. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16 (7), pp.1947-1967. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/16/1947/2012/hess-16-1947-2012.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.

DRHS. Departamento de Recursos Hídrico e Saneamento. (2020). *Dados gerais das bacias hidrográficas*. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/u010-bh-apuae-inhandava>. Acesso em: 10 set. 2023.

EDWARDS, W., BARRON, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multi attribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60(3), 306–325. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/obhd.1994.1087>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749597884710879>). Acesso em: 10 set. 2023.

ELFIKRIE, N., *et al.* (2020). Occurrence of pesticides in surface water, pesticides removal efficiency in drinking water treatment plant and potential health risk to consumers in Tenggi river basin, Malaysia. *Science of the Total Environment*, volume 712. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136540>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720300504>). Acesso em: 15 out. 2023.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. (2020). *Agricultura e Meio Ambiente*. Disponível em:

[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTAG01\\_39\\_210200792814.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_39_210200792814.html). Acesso em: 15 ago. 2021.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. (2009). *Aspectos fundamentais sobre a tecnologia de aplicação de agrotóxicos*. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355291/12497989/Aspectos+Fundamentais+sobre+a+Tecnologia+de+Aplica%C3%A7%C3%A3o+de+Agrotoxicos.pdf/bd0041ec-59fe-476a-98bd-f1343fb43d00?version=1.0>. Acesso em: 25 set. 2022.

EPA. Environmental Protection Agency. (2011). *Finalization of guidance on incorporation of water treatment effects on pesticide removal and transformations in drinking water exposure assessments*. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/finalization-guidance-incorporation-water-treatment>. Acesso em: 25 ago. 2023.

EPA. Environmental Protection Agency. (2021). *What is a pesticide? Basic information about pesticides ingredients*. Disponível em: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basicinformation-about-pesticide-ingredients>. Acesso em: 17 set. 2021.

EPA. Environmental Protection Agency. (2022). *Human health issues related to pesticides*. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/human-health-issues-related-pesticides>. Acesso em: 4/Abr./2022.

EU. European Union. (2020) *Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2020, sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano (reformulação)*. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/AUTO/?uri=CELEX:32020L2184&qid=1689980852765&rid=9>. Acesso em: 21 jul. 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2023). *Emprego mundial de agrotóxicos*. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Acesso em: 10 jun. 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2021). *Definitions and classifications of pesticides*. Disponível em: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/faoweb/statistics/questionnaires/FAO\\_Definitions\\_and\\_classifications\\_of\\_pesticides\\_2021.xlsx](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/statistics/questionnaires/FAO_Definitions_and_classifications_of_pesticides_2021.xlsx). Acesso em: 07 set. 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2022). *Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators – Global, regional and country trends, 1990–2020*. FAOSTAT. Analytical Briefs, no. 46. Rome. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0918en>. Acesso em: 26 ago. 2023.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Emprego*

*mundial de agrotóxicos*. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Acesso em 10 set. 2023.

FARAJZADEH, R., *et al.* (2019). Life-cycle assessment of water injection into hydrocarbon reservoirs using energy concept. *Journal of Cleaner Production*. Volume 235, Pages 812-821, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.034>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261932373X>). Acesso em: 26 ago. 2023.

FAUST, S. D., Aly, O. M. (1999). *Chemistry of water treatment*. 2nd ed. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. Disponível em: [http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/abfaeng.ir\(Chemistry%20of%20Water%20Treatment\)\\_185.pdf](http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/abfaeng.ir(Chemistry%20of%20Water%20Treatment)_185.pdf). Acesso em: 26 ago. 2023.

FERNANDES NETO, M. de L.; SARCINELLI, P. de N. (2009). Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição no processo de atualização da legislação brasileira. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 69-78. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YxJ97Sgv3VZNYNLx7nRb6dw/?lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2020.

FILIZOLA, H. F. (2006). Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: Solo, água e sedimentos. Jaguariúna: *Embrapa Meio Ambiente*. 169 p. il. Disponível em: <file:///C:/Users/sarab/Downloads/2006OL-008.pdf>. Acesso em: 06 out. 2022.

FU, Y., *et al.* (2020). Comprehensive assessment for the residual characteristics and degradation kinetics of pesticides in *Panax notoginseng* and planting soil. *Science of the Total Environment*, 714 Article 136718. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31982747/>. Acesso em: 06 out. 2022.

GAMA, A. F., OLIVEIRA, A. H. B.; CAVALCANTE, R. M. (2013). Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense. *Química Nova*, Vol. 36, No. 3, 462-467. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/DLymcgv3vtN4bxM5X8WCx4G/?lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2020.

GANIEV, M. M.; NEDOREZKOV, V. D. (2006). *Plant protection chemicals*. M., Colossus, 248 s.

GBLER, L., SPADOTTO, C. A. (2008). Comportamento ambiental dos herbicidas. *Manual de manejo e controle de plantas daninhas*. EMBRAPA. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4456155/mod\\_resource/content/1/Gebler%20e%20Spadotto%20%282008%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4456155/mod_resource/content/1/Gebler%20e%20Spadotto%20%282008%29.pdf). Acesso em: 26 jun. 2022.

GOMES, L. F. A. M., GONZÁLEZ ARAYA, M. C., CARIGNANO, C. (2004). Tomada de decisões em cenários complexos. *Cengage Learning*. Disponível em: <https://www.cengage.com.br/livro/tomada-de-decisoes-em-cenarios-complexos/>. Acesso em:

6 jul. 2023.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. (2006) *Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério*. 2ª. Ed. São Paulo: Atlas. Disponível em: [https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc\\_number=000708875&local\\_base=UFR01](https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000708875&local_base=UFR01). Acesso em: 5 jul. 2023.

GOMES, M. A. F., CERDEIRA, A. L., SPADOTTO, C. A. (2021). *Agricultura e meio ambiente: dinâmica*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica>. Acesso em: 24 ago. 2023.

GONÇALVES, P. C. (2019). *Propriedades físico-químicas dos agrotóxicos*. Grupo de estudos agrônômicos em grãos e algodão na Universidade Federal de Goiás (UFG). Disponível em: <https://pt.slideshare.net/GeagraUFG/propriedades-fsicoquimicas-de-agrotoxicos>. Acesso em: 24 ago. 2023.

GRAY, N. F. (2008). *Drinking water quality. Problems and solutions*. 2 ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press; 978-0-521-70253-9.

GRÜTZMACHER, D. D., *et al.* (2008). Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(6), 632–637. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600010>. Acesso em: 24 ago. 2023.

GUAN, K. L., *et al.* (2020). Short- and medium-chain chlorinated paraffin's in aquatic organisms from an e-waste site: Biomagnification and maternal transfer. *Science of the Total Environment*, 708, Article 134840. Disponível em: [10.1016/j.scitotenv.2019.134840](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134840). Acesso em: 26 ago. 2023.

HAJKOWICZ, S. A. (2008). Supporting multi-stakeholder environmental decisions. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 607–614. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2007.03.020>. Acesso em: 26 ago. 2023.

HALOUANI, N., CHABCHOUB, H., e MARTEL, J. M. (2009). PROMETHEE-MD-2T Method for project selection. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 841–849. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2007.11.016>. Acesso em: 28 ago. 2023.

HANSON, B., *et al.* (2015). Pesticide half-life fact sheet; *National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services*. Disponível em: <http://npic.orst.edu/factsheets/half-life.html>. Acesso em: 27 out. 2022.

HARALAMBOPOULOS, D. A., POLATIDIS, H. (2003). Renew able energy projects: Structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable Energy*, 28(6), 961–973. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00072-1). Acesso em: 27 nov. 2022.

HASSAAN, M. A., EL NEMR, A. (2020). Pesticides pollution: classifications, human health

impact, extraction and treatment techniques. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. Volume 46, Issue 3, Pages 207-220. Disponível em:

[\(https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.08.007\)](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.08.007). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687428520300625>). Acesso em: 27 nov. 2022.

HELLER, L., PÁDUA, V. L. de. (2006). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte; Editora UFMG, 859 p. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=XFnnhzqetCoC&oi=fnd&pg=PA29&q=tratamento+de+%C3%A1+gua+para+ab%20astecimento&ots=Hx5usf8Xfr&sig=53oPXBhQ7DBqrNsHCRiywB0jgI#v=onepage&q&f=true>. Acesso em: 13 mai. 2023.

HWANG, E. S.; CASH, J. N.; ZABIK, M. J. (2003). Determination of degradation products and pathways of mancozeb and ethylenethiourea (ETU) in solutions due to ozone and chlorine dioxide treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5):1341-6. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/10897897\\_Determination\\_of\\_Degradation\\_Products\\_and\\_Pathways\\_of\\_Mancozeb\\_and\\_Ethylenethiourea\\_ETU\\_in\\_Solutions\\_Due\\_to\\_Ozone\\_and\\_Chlorine\\_Dioxide\\_Treatments](https://www.researchgate.net/publication/10897897_Determination_of_Degradation_Products_and_Pathways_of_Mancozeb_and_Ethylenethiourea_ETU_in_Solutions_Due_to_Ozone_and_Chlorine_Dioxide_Treatments). Acesso em: 13 mai. 2023.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, (2022). *Relatório de comercialização de agrotóxicos*. Disponível em:

<https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#sobreosrelatorios>. Acesso em: 18 mai. 2023.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2022). *Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola*. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos>. Acesso em: 22 ago. 2023.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (1996). *Portaria 84, de 15 de outubro de 1996*. Dispõe sobre o efeito de registro e avaliação do potencial de periculosidade ambiental (PPA) de agrotóxicos, seus componentes e afins, e institui o sistema permanente da avaliação e controle dos agrotóxicos, segundo disposições do decreto nº 98.816 em seu art. 2º. Disponível em:

<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=99498>. Acesso em: 18 mai. 2023.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. (2022). *Instrução Normativa 13, de 04 de novembro de 2022*. Regulamenta o processo administrativo de apuração, determinação e cobrança de crédito tributário decorrente da taxa de manutenção de registro ou da classificação do potencial de periculosidade ambiental (PPA) de agrotóxicos e afins. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/182-quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/1156-ppa>. Acesso em: 11 abr. 2023.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. (2019). *Perfis ambientais dos agrotóxicos*. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/perfis-ambientais#perfis-ambientais>. Acesso em: 11 fev. 2021.

- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. (2023). *Relatórios de comercialização de agrotóxicos*. Disponível em: [https://www.ibama.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=594&Itemid=5](https://www.ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=594&Itemid=5). Acesso em: 28 jul.2023.
- IBGE. Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). *Atlas de saneamento*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?edicao=28244&t=destaques>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- IBGE. Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Bacias e divisões hidrográficas do brasil*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- IBGE. Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo demográfico*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 25 set. 2023.
- ISRAEL. Department of Environmental Health Public Health Services Ministry of Health State of Israel Public Health Regulations (2013). The sanitary quality of drinking water and drinking water facilities. *Records collection of regulations*. Number 7262 June 26, 2013. Disponível em: [https://www.health.gov.il/Subjects/Environmental\\_Health/drinking\\_water/Documents/Briut47-Eng.pdf](https://www.health.gov.il/Subjects/Environmental_Health/drinking_water/Documents/Briut47-Eng.pdf). Acesso em: 25 abr. 2022.
- JANNUZZI, P. M., MIRANDA, W. L., SILVA, D. S. G. (2009). Análise Multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. *Informática Pública*, 11(1), 69-87. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228421871\\_Analise\\_Multicriterio\\_e\\_Tomada\\_de\\_Decisao\\_em\\_Politicas\\_Publicas\\_Aspectos\\_Metodologicos\\_Aplicativo\\_Operacional\\_e\\_Aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/228421871_Analise_Multicriterio_e_Tomada_de_Decisao_em_Politicas_Publicas_Aspectos_Metodologicos_Aplicativo_Operacional_e_Aplicacoes). Acesso em: 18 set. 2023.
- JIA, Z. Q., *et al.* (2020). Acute toxicity, bioconcentration, elimination, action mode and detoxification metabolism of broflanilide in zebra fish, *Daniorerio*. *Journal of Hazardous Materials*, 394, Article 122521. Disponível em: [10.1016/j.jhazmat.2020.122521](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122521). Acesso em: 23 set. 2023.
- JMM. James M. Montgomery Consulting Engineers. (1985) Inc., *Water treatment: Design and design*. John Wiley& Sons, New York. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1523560>. Acesso em: 20 set. 2023.
- JONES, R. L. (1995). Sampling, sample preparation and preservation. In: Stan, HJ., Ebing I.R., W., Börner, H., Martin, D., Sjut, V., Stetter, J. (eds) *Analysis of Pesticides in Ground and Surface Water I. Chemistry of Plant Protection*, vol 11. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3-18, Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-03156-8\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-03156-8_2). Acesso em: 20 set. 2023.

JORDÃO, B. M. da C., PEREIRA, S.R. (2006). *A Análise multicritério na tomada de decisão – O método analítico hierárquico de T. L. Saaty*. Instituto Politécnico de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, 2006. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3795706/mod\\_folder/content/0/Tomada\\_de\\_decisao/AHP\\_exemplo.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3795706/mod_folder/content/0/Tomada_de_decisao/AHP_exemplo.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 20 jun. 2023.

KALANTARY, R. R., BARZEGAR, G., JORFI, S. (2022). Monitoring of pesticides in surface water, pesticides removal efficiency in drinking water treatment plant and potential health risk to consumers using Monte Carlo simulation in Behbahan city, Iran, *Chemosphere*, Volume 286, Part 1, 2022, 131667, ISSN 0045-6535. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.131667>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521021391>. Acesso em: 20 ago. 2023.

KARASALI, H., MARAGOU, N. (2016). Pesticides and herbicides: Types of pesticide. Editor(s): Benjamin Caballero, Paul M. Finglas, Fidel Toldrá, *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press. Pages 319-325, ISBN 9780123849533. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00535-3>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849472005353>). Acesso em: 29 ago. 2023.

KEENEY, R. L., RAIFFA, H. (1993). Decisions with multiple objectives. In decisions with multiple objectives. *Cambridge University Press*. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174084>. Acesso em: 29 ago. 2023.

KHAN, S. H., PATHAK, B. (2020). Zinc oxide based photo catalytic degradation of persistent pesticides: A Comprehensive review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 13, Article 100290. Disponível em: [10.1016/j.enmm.2020.100290](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100290). [Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Zinc+oxide+based+photo+catalytic+degradation+of+persistent+pesticides:+A+Comprehensive+review.&author=Khan+S.H.&author=Pathak+B.&publication_year=2020). Acesso em: 29 ago. 2023.

KUMAR, P. S., CAROLIN, F. C, VARJANI, S. J. (2018). Pesticides bioremediation. In: Varjani SJ, Agarwal AK, Gnansounou E, Gurunathan B, editors. *Bioremediation: applications for environmental protection and management*. Singapore: *Springer Nature*; pp. 197–222. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Bioremediation:+applications+for+environmental+protection+and+management&author=PS+Kumar&author=FC+Carolin&author=SJ+Varjani&publication\\_year=2018&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Bioremediation:+applications+for+environmental+protection+and+management&author=PS+Kumar&author=FC+Carolin&author=SJ+Varjani&publication_year=2018&). Acesso em: 29 set. 2023.

LANÇAS, F. M. (2015). Avanços recentes e tendências futuras das técnicas de separação: uma visão pessoal. *Scientia Chromatographica*. vol. 7 número 3, pág. 17-44. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7067267/mod\\_resource/content/1/Te%CC%81cnicas%20de%20Preparo%20de%20Amostras.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7067267/mod_resource/content/1/Te%CC%81cnicas%20de%20Preparo%20de%20Amostras.pdf). Acesso em: 20 dez. 2023.

LARA, W. H., BATISTA, G. C. (1992). Agrotóxicos. *Química Nova*, v.15, p.161-166. Disponível em: [https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol15No2\\_161\\_v15\\_n2\\_%288%29.pdf](https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol15No2_161_v15_n2_%288%29.pdf). Acesso em: 08 set. 2023.



- LEU, C., SCHNEIDER, M. K., STAMM, C. (2010). Estimating catchment vulnerability to diffuse herbicide losses from hydrograph statistics. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), pp.1441-1450. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2009.0323>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- LEWIS, K. A., *et al.* (2016) Um banco de dados internacional para avaliações e gerenciamento de risco de pesticidas. Avaliação de risco humano e ecológico: *An International Journal*, 22 (4), 1050-1064. Disponível em: [10.1080/10807039.2015.1133242](https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242). Acesso em: 07 jul. 2023.
- LEWIS, S. E.; *et al.* (2016). Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: an overview of the current state of knowledge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/302594190\\_Pesticide\\_behaviour\\_fate\\_and\\_effects\\_in\\_the\\_tropics\\_an\\_overview\\_of\\_current\\_state\\_of\\_knowledge](https://www.researchgate.net/publication/302594190_Pesticide_behaviour_fate_and_effects_in_the_tropics_an_overview_of_current_state_of_knowledge). Acesso em: 15 jul. 2023.
- LOFRANO, G., *et al.* (2020). Occurrence and potential risks of emerging contaminants in water. In: Sacco, O., Vaiano, V. (eds.), Visible light active structured photo catalysis for the removal of emerging contaminants. *Elsevier*, pp. 1–25. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338312989\\_Occurrence\\_and\\_potential\\_risks\\_of\\_emerging\\_contaminants\\_in\\_water](https://www.researchgate.net/publication/338312989_Occurrence_and_potential_risks_of_emerging_contaminants_in_water). Acesso em: 15 jul. 2023.
- LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, S. C. A. (2018). Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: Uma Revisão Sistemática. *Revisão. Saúde Debate* 42 (117). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- LUCAS, E. de O., *et al.* (2020). Contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7128>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- MACKAY, D., *et al.* (2006). Handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. 2. ed. v. 1. Boca Raton: *CRC press*, 925 p.
- MACKAY, D., Shiu, W., Ma, K. (1997). Illustrated handbook of physical-chemical and environmental fate for organic chemicals. Boca Raton: *Lewis Publishers*, v. 5, 812 p.
- MARINS, C. S., SOUZA, D. de O., BARROS, M. da S. (2009). O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – Um estudo de caso. XLI SBPO 2009 - *Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*. Pág. 1778-1788. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.
- MARQUES, J. G. de C., *et al.* (2019). Comparação entre índices de potencial de lixiviação para agrotóxicos utilizados na sub-bacia do Natuba, Vitória de Santo Antão-Pernambuco. *Águas Subterrâneas*, 33(1), 58–67. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i1.29239>. Acesso em: 31 out. 2023.
- MAZHAR, M. A., *et al.* (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *Journal of Cleaner Production*. Volume 273, 123159. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620332042>). Acesso em: 21 nov. 2023.

MDENI, N. L., *et al.* (2022). Analytical evaluation of carbamate and organophosphate pesticides in human and environmental matrices: A Review. *Molecules*. 27, 618. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27030618>. Acesso em: 31 out. 2023.

MENEZES, C. T. (2006). *Método para priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais: um estudo em Minas Gerais*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/203M.PDF>

MILTNER, R. J., *et al.* (1989). Treatment of seasonal pesticides in surface waters. *Jour. AWWA* 81: 43-52. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41292310>. Acesso em: 31 out. 2023.

MISHRA, A. K., DEEP, S., CHOUDHARY, A. (2015). Identification of suitable sites for organic farming using AHP e GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v.18, n.2, p.181-193. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.005>. Acesso em: 31 out. 2023.

MOHEBBI, A., *et al.* (2020). Combination of poly (caprolactone) grafted grapheme quantum dots–based dispersive solid phase extraction followed by dispersive liquid–liquid micro extraction for extraction of some pesticides from fruit juices prior to their quantification by gas chromatography. *Microchemical Journal*, 153, Article104328. Disponível em: [10.1016/j.microc.2019.104328](https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104328). [Google Scholar](#). Acesso em: 31 out. 2023.

MOURA, A. C. M., *et al.* (2020). Rapid monitoring of pesticides in tomatoes (*solanum lycopersicum* l.) during pre-harvest intervals by paper spray ionization mass spectrometry. *Food Chemistry*, 310, Article 125938. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Rapid%20monitoring%20of%20pesticides%20in%20tomatoes%20during%20pre-harvest%20intervals%20by%20paper%20spray%20ionization%20mass%20spectrometry&publication\\_year=2020&author=A.C.M.%20Moura&author=I.N.%20Lago&author=C.F.%20Cardoso&author=A.%20dos%20Reis%20Nascimento&author=I.%20Pereira&author=B.G.%20Vaz](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Rapid%20monitoring%20of%20pesticides%20in%20tomatoes%20during%20pre-harvest%20intervals%20by%20paper%20spray%20ionization%20mass%20spectrometry&publication_year=2020&author=A.C.M.%20Moura&author=I.N.%20Lago&author=C.F.%20Cardoso&author=A.%20dos%20Reis%20Nascimento&author=I.%20Pereira&author=B.G.%20Vaz). Acesso em: 12 mar. 2022

MPF. Ministério Público Federal. (2020). *Ação civil pública sobre a suspensão do dicloreto de paraquate*. Disponível em: [http://www.mpf.mp.br/rs/sala-de-imprensa/galeria-de-imagens/inicial\\_acp\\_paraquate-1](http://www.mpf.mp.br/rs/sala-de-imprensa/galeria-de-imagens/inicial_acp_paraquate-1). Acesso em: 12 mar. 2022.

MS. Ministério da Saúde. (2020). *Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação n.º 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria MS Nº 2914/2011). Padrão de potabilidade e planos de amostragem substâncias químicas – Agrotóxicos subsídios para discussão e orientações para revisão substâncias listadas na PRC nº 5/ 2017*. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas->

[publicas/2020/arquivos/DOCSNTESEAGROTXICOS1METODOLOGIADESELEO.pdf](#).

Acesso em: 28 jul. 2022.

MU, E., PEREYRA-ROJAS, M. (2018). Practical decision making using super decisions v3: an introduction to the analytic hierarchy process (*Springer Briefs in Operations Research*) (English Edition) 1<sup>st</sup>, Edição, eBook Kindle. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/322184781\\_Practical\\_Decision\\_Making\\_using\\_Super\\_Decisions\\_v3\\_An\\_Introduction\\_to\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/322184781_Practical_Decision_Making_using_Super_Decisions_v3_An_Introduction_to_the_Analytic_Hierarchy_Process). Acesso em: 31 jan. 2023.

NOVAIS, C. M., QUEIROZ, T. M. de, SEABRA, S. J.(2021). Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos no Estado do Mato Grosso: Risco para o abastecimento urbano. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, e23010111667, 2021 (CC BY 4.0)

Universidade do Estado do Mato Grosso, Brasil. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11667>. Acesso em: 31 jan. 2023.

NOWELL, L. H., CAPEL, P. D., DILEANIS, P. D., (1999). Pesticides in stream sediment and aquatic biota—distribution, trends, and governing factors: Boca Raton, Fla., CRC Press, *Pesticides in the Hydrologic System* series, v. 4, 1001 p. Disponível em:

[https://books.google.com.br/books/about/Pesticides\\_in\\_Stream\\_Sediment\\_and\\_Aquatic.html?id=vwadDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Pesticides_in_Stream_Sediment_and_Aquatic.html?id=vwadDwAAQBAJ&redir_esc=y). Acesso em: 31 jan. 2023.

NRMCM. National Resource Management Ministerial Council. (2022). *Australian drinking water guidelines paper 6 national water quality management strategy*. Commonwealth of Australia, Canberra. Disponível em:

<https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>. Acesso em: 14 mar. 2023.

OHCHR. Human Rights Council. (2017). *Report of the special rapporteur on the right to food*. Disponível em: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/1701059.pdf>.

Acesso em: 10 mar. 2022.

OLIVEIRA, A. D., LADWIG, N. I., CONTO, D. (2020). Mapeamento temático na análise da paisagem: bacia hidrográfica do rio Urussanga, Santa Catarina, Brasil. *Geosul*, v.35, n.75, p.418- 440. Disponível em: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p418>.

OMAF. (1991). Grower pesticide safety course. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, Ontario, Canada. Disponível em:

[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Grower%20Pesticide%20Safety%20Course&publication\\_year=1991&author=OMAF](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Grower%20Pesticide%20Safety%20Course&publication_year=1991&author=OMAF). Acesso em: 09 set. 2023.

OMS. Organização Mundial da Saúde. (2019). *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification*. Disponível em:

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662>. Acesso em: 09 set. 2023.

PAIVA, J. B. D. de., PAIVA, E. M. C. D. (2001). *Hidrologia aplicada á gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH., 625 pp. Disponível em:

[https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=4&LIVRO=141&TITULO=hidrologia\\_aplicada\\_a\\_gestao\\_de\\_pequenas\\_bacias\\_hidrograficas](https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=4&LIVRO=141&TITULO=hidrologia_aplicada_a_gestao_de_pequenas_bacias_hidrograficas). Acesso em: 09 jul. 2023

PEIXOTO, R. A. O., *et al.* (2019). Análise multicritério com uso da AHP para avaliação temporal na vulnerabilidade ambiental: Estudo de caso na bacia hidrográfica do Uberabinha, MG. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v.8, n.3, p.141-158, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa>. Acesso em: 31 abr. 2023.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. (2003). Org. É veneno ou é Remédio? *Agrotóxicos, Saúde e Ambiente* [online]. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 384 p. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/sg3mt/pdf/peres-9788575413173.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PERESTRELO, R., *et al.* (2019). QuEChERS - Fundamentals, relevant improvements, applications and future trends. *Analytica Chimica Acta*. Sep 6; 1070:1-28. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31103162/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PIRSAHEB, M., MORADIHAMADANI, N. (2020). Sonochemical degradation of pesticides in aqueous solution: investigation on the influence of operating parameters and degradation pathway – a systematic review. *RSC Advances*. 10. 7396-7423. 10.1039/C9RA11025A. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339370004\\_Sonochemical\\_degradation\\_of\\_pesticides\\_in\\_aqueous\\_solution\\_investigation\\_on\\_the\\_influence\\_of\\_operating\\_parameters\\_and\\_degradation\\_pathway\\_-\\_a\\_systematic\\_review](https://www.researchgate.net/publication/339370004_Sonochemical_degradation_of_pesticides_in_aqueous_solution_investigation_on_the_influence_of_operating_parameters_and_degradation_pathway_-_a_systematic_review). Acesso em: 25 ago. 2023.

POSSAVATZ, J. (2014). Pesticide residue in bottom sediment in the Cuiabá river watershed, Mato Grosso, Brazil. *Revista Ambiente & Água* [online]. v.9, n.1, p.83-96. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/WpPx4MvhwVbQNZgCmNKvPpm/abstract/?lang=en>. Acesso em: 31 out. 2023.

PRIMEL, E. G., *et al.* (2005). Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do Estado do Rio Grande Do Sul, Brasil: Predição teórica e monitoramento. Disponível em: [https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol28No4\\_605\\_09-AR04127.pdf](https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol28No4_605_09-AR04127.pdf). Acesso em: 20 dez. 2023.

REBELO, R., CALDAS, E. D. (2014). Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. *Química Nova*. vol. 37, n.7, pp.1199-1208. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140165>. Acesso em: 20 dez. 2023.

RISSATO, S. R., *et al.* (2007) Multiresidue determination of pesticides in honey samples by gas chromatography-mass spectrometry and application in environmental contamination. *Food Chemistry*. Oxford: Elsevier B. V., v. 101, n. 4, p. 1719-1726. Disponível em:

RNLVISA. Rede Nacional de Laboratórios de Vigilância Sanitária. (2022). Perfil analítico. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMTVkJmI2N2FmMjNmLWZjZjMtNGQzNS04MGM3LWI3MDg1ZjVlZGQ4MSJ9>. Acesso em: 25 abr. 2022.

ROY, B. (1996). Multicriteria methodology for decision aiding. *Springer US*. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>. Acesso em: 31 out. 2023.

RUTKOWSKA, E., Łozowicka, B., Kaczyński, P. (2019). Three Approaches to Minimize Matrix Effects in Residue Analysis of Multiclass Pesticides in Dried Complex Matrices Using Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Food Chemistry*, 279, pp. 20-29, Disponível em: [10.1016/j.foodchem.2018.11.130](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.130). [View PDFView article](#)

SAATY, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Company. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Xxi7AAAAIAAJ>. Acesso em: 31 out. 2023.

SAATY, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v.48, n.1, p.9-26. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/0377-2217>. Acesso em: 31 out. 2023.

SAATY, T. L. (1996). The analytic network process. *RWS Publications*, Pittsburgh. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-33987-6\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-33987-6_1). Acesso em: 21 out. 2023.

SAATY, T. L., VARGAS, L. G. (2013). Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks (2nd ed., Vol. 195). *Springer US*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>. Acesso em: 21 out. 2023.

SALEH, I. A., ZOUARI, N., AL-GHOUTI, M. A. (2020). Removal of pesticides from water and wastewater: chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation*, 19, p. 101026, Disponível em: [10.1016/j.eti.2020.101026](https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101026). Acesso em: 13 ago. 2023.

SAMSIDAR, A., SIDDIQUEE, S., SHAARANI, S. Md. (2018). A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 71, Pages 188-201. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.011>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224417303783>). Acesso em: 10 ago. 2023.

SAVOY, V. L. T. (2011). Classificação dos agrotóxicos. *Biológico*, São Paulo, v.73, n.1, p.91-92, jan./jun. Disponível em: [http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v73\\_1/savoy\\_palestra.pdf](http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v73_1/savoy_palestra.pdf). Acesso em: 10 ago. 2023.

SCHÄFER, R. B., *et al.* (2012). Thresholds for the effects of pesticides on invertebrate communities and leaf breakdown in stream ecosystems. *Environmental Science Technologies*. 46 (9), pp. 5134-5142. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22455566/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SCORZA JÚNIOR, R. P.(2010). Critérios essenciais na escolha de um agrotóxico: Eficiência e comportamento ambiental. *Artigo em Hypertexto*. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/it>. Acesso em: 25 ago. 2023.

SEPLAG/DEPLAN. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do Rio Grande do Sul. Departamento de Planejamento. (2020). *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul - 6ª edição*. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/edicao>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. (2023). Disponível em: [https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/?\\_gl=1\\*19zekek\\*\\_ga\\*ODcxOTQwMDMyLjE2OTAwNTU5MjM.\\*\\_ga\\_HYCRRWGXHJ\\*MTY5MTAwOTcxOC41LjEuMTY5MTAxMDI4Ni4wLjAuMA](https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/?_gl=1*19zekek*_ga*ODcxOTQwMDMyLjE2OTAwNTU5MjM.*_ga_HYCRRWGXHJ*MTY5MTAwOTcxOC41LjEuMTY5MTAxMDI4Ni4wLjAuMA). Acesso em: 10 ago. 2023.

SILVA, C. M. M. de S, FAY, E. F.(2004). Agrotóxico e ambiente. Brasília, DF: *Embrapa Informação Tecnológica*, 400 p.: il. ISBN 85-7383-282-7. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00075610.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SILVA, F. R. da . (2020). *Gestão de riscos em laboratórios de instituições públicas de ensino superior para atendimento à norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017*. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/210578/001115282.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 set. 2023.

SILVA, L. de B., SCHMIDT, F., SANTOS, A. M. dos (2021). Ciência ambiental: Reflexões sobre o monitoramento de resíduos de agrotóxicos em águas potável, superficial e subterrânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.26 n.2 .mar/abr. 193-200. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/T9d3xxh6bP58rXBpgvkgz3j/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2023.

SILVA, P. T. de S., *et al.* (2017). Contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos em áreas de produção de uva — Petrolina: *Embrapa Semiárido*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1088285/1/BPD133.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

SISÁGUA. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. (2023a). *Percentual de atendimento da diretriz nacional da vigilância*. Disponível em: <https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/login.jsf>. Acesso em: 12 set. 2023.

SISÁGUA. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. (2023b). *Monitoramento semestral realizado pelos prestadores de serviço*. Disponível em: <http://ads.saude.gov.br/servlet/mstrWeb?src=mstrWeb.3140&evt=3140&hiddensections=header%2Cpath%2CdockTop%2CdockLeft%2Cfooter&currentViewMedia=1&visMode=0&documentID=BEBAA98511EBD4A500000080EF55555A&Server=SRVBIPDF03&Port=0&Project=DMSISAGUA&>. Acesso em: 10 set. 2023.

SISÁGUA. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. (2022). *Dados de monitoramento de agrotóxicos*. Disponível em: <https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/login.jsf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2021). *Abastecimento de água*.

Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>. Acesso em: 20 out. 2022.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2023). *Abastecimento de água*  
Disponível em:

[https://www.gov.br/mdr/acl\\_users/credentials\\_cookie\\_auth/require\\_login?came\\_from=https%3A//www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis](https://www.gov.br/mdr/acl_users/credentials_cookie_auth/require_login?came_from=https%3A//www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis). Acesso em 10 jun. 2023.

SOARES, D. F., FARIA, A. M., ROSA, A. H. (2017) Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. [online]. 2017, vol.22, n.2, pp.277-284.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/k65RfZykKnXYkqRbVJvpZSc/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2023.

SOUZA, J. L., *et al.* (2023). Principais ingredientes ativos dos agroquímicos: Comercialização e uso no Brasil. *Revista de Gestão e Secretariado*. São Paulo, SP, Brasil v.14, n.6, p.9842-9863. Disponível em:

<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2345/1258>. Acesso em: 22 set. 2023.

SPADOTTO, C. A., *et al.* (2010) Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos. Campinas: *Embrapa monitoramento por satélite, documentos*, 78. 46 p.:

Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31128/1/Doc-78.pdf>.

Acesso em: 25 ago. 2023.

SPARLING, D. W. (2016). Organochlorine pesticides. *Ecotoxicology Essentials*, pp. 69-107. Disponível em:

[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Organochlorine%20Pesticides&publication\\_year=2016&author=D.W.%20Sparling](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Organochlorine%20Pesticides&publication_year=2016&author=D.W.%20Sparling). Acesso em: 20 nov. 2021.

SPYCHER, S., *et al.* (2018). Pesticide risks in small streams-how to get as close as possible to the stress imposed on aquatic organisms. *Environmental Science Technologies*, 52 (8) p. 4526 – 4535. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29584952/>. Acesso em: 22 set. 2023.

STEHLE, S.; SCHULZ, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18):5750-5755.

Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1500232112>. Acesso em: 16 jun. 2022.

TEODOSIU, C., *et al.* (2018). Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. *Journal of Cleaner Production*, Volume 197, Part. 1, Pages 1210-1221. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.247>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618319061>. Acesso em: 16 jun. 2022.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. (1989). *Technologies for upgrading*

*existing or designing new drinking water treatment facilities*. EPA/625/4-89/023. Disponível em:

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/300048WU.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986+Thru+1990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C86thru90%5CTxt%5C00000004%5C300048WU.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>. Acesso em: 16 jun. 2022.

USGS. United States Geological Survey (2006). *Pesticides in the nation's streams and groundwater*, 1992-2001. Reston, VA. Disponível em:

<https://pubs.usgs.gov/circ/2005/1291/pdf/circ1291.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2022.

VALARINI, P. J., *et al.* (2003). *Dinâmica e efeitos de agrotóxicos no meio ambiente*.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076674/dinamica-e-efeitos-de-agrotoxicos-no-meio-ambiente>. Acesso em: 24 ago. 2023.

VINCKE, P. (1992). *Multicriteria decision-aid wiley*. Disponível em:

<https://www.wiley.com/en-us/Multicriteria+Decision+Aid-p-9780471931843>. Acesso em: 30 mai. 2023.

VRYZAS, Z. (2018). Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Volume 4, Pages 5-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.001>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584417300454>). Acesso em: 31 out. 2023.

WAUCHOPE, R. D., *et al.* (1992). The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Reviews of environmental contamination and toxicology*.123:1-155. PMID: 1732992. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1732992/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

WHO. World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=567>. Acesso em: 31 ago. 2023.

YADAV, I. C., *et al.* (2015). Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: a comprehensive review of India. *Science of Total Environment* 511: 123-137. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25540847/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

YANG, K. (2015). *From administration to management*. In: Guy, Mary; Rubin, Marilyn.



Public Administration Evolving: From Foundations to the Future. London: Routledge.  
Disponível em: [https://www.academia.edu/81312246/Public\\_Administration\\_Evolving](https://www.academia.edu/81312246/Public_Administration_Evolving).  
Acesso em: 21 set. 2023.

YUAN, J., *et al.* (2016). Linear and nonlinear models for predicting fish bioconcentration factors for pesticides. *Chemosphere*, 156, pp. 334-340. Disponível em: [10.1016/j.chemosphere.2016.05.002](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.002). Acesso em: 21 set. 2023.





**Tabela 12. Padrões de Potabilidade para agrotóxicos, comparativo entre as portarias Anexo XX da PRC nº 5/2017 e a Portaria nº 888/2021**

Parâmetro	Un.	VMP (1)	Parâmetro	VMP (2)	Observações
2,4D+2,4,5T	µg/L	30	2,4 D	30	Exclusão do 2,4,5T: Não possui uso autorizado
Alacloro	µg/L	20			
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	µg/L	10			
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,03			
	µg/L		Ametrina	60	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
Atrazina	µg/L	2	Atrazina+S-Clorotriazinas (Deetil-Atrazina - Dea, Deisopropil-Atrazina - Dia em Diaminoclorotriazina - Dact)	2	Inclusão de seus principais metabólitos
Carbendazim + Benomil	µg/L	120	Carbendazim	120	Exclusão do Benomil: rápida degradação em carbendazim; Não possui uso autorizado
Carbofurano	µg/L	7			
	µg/L		Ciproconazol	30	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
Clordano	µg/L	0,2			
	µg/L		Clorotalonil	45	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade (como possível carcinogênico)
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	µg/L	30			
DDT+DDD+DDE	µg/L	1			
	µg/L		Difenoconazol	30	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
	µg/L		Dimetoato + Ometoato	1,2	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
Diuron	µg/L	90	Diuron	20	Revisão da fundamentação toxicológica
Endossulfan (a b sais)	µg/L	20			
Endrin	µg/L	0,6			
	µg/L		Epoxiconazol	60	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
	µg/L		Fipronil	1,2	
	µg/L		Flutriafol	30	
Glifosato + AMPA	µg/L	500			
	µg/L		Hidroxi-Atrazina	120	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
Lindano (gama HCH)	µg/L	2			
	µg/L		Malationa	60	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade

**Tabela 12. Padrões de Potabilidade para agrotóxicos, comparativo entre as portarias Anexo XX da PRC nº 5/2017 e a Portaria nº 888/2021**

Parâmetro	Un.	VMP (1)	Parâmetro	VMP (2)	Observações
Mancozebe	µg/L	180	Mancozebe + ETU	8	Revisão do VMP com base no ETU (rápida conversão e maior toxicidade)
Metamidofós	µg/L	12	Metamidofós + Acefato	7	Inclusão do acefato (metamidofós metabólito)
Metolacoloro	µg/L	10			
	µg/L		Metribuzim	25	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
Molinato	µg/L	6			
Parationa Metílica	µg/L	9			Reduzida ocorrência e baixa comercialização
Pendimentalina	µg/L	20			
Permetrina	µg/L	20			Baixa solubilidade; Fotodegradação; Baixa comercialização; Remoção em tratamento convencional
	µg/L		Paraquate	13	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
	µg/L		Picloram	60	
Profenofós	µg/L	60	Profenofós	0,3	Revisão da fundamentação toxicológica
	µg/L		Propargito	30	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
	µg/L		Protioconazol + Proticonazol Destio	3	
Simazina	µg/L	2			
Tebuconazol	µg/L	180			
Terbufós	µg/L	1,2			
	µg/L		Tiametoxam	36	Selecionado com base nas informações de exposição e toxicidade
	µg/L		Tiodicarbe	90	
	µg/L		Tiram	6	
Trifluralina	µg/L	20			

Fonte: Brasil, 2021.

**Notas:**

**I** Parâmetro mantido **Inalterado** em ambas as Portarias;

**N** Parâmetro **Novo**;

**E** Parâmetro **Excluído**;

**R** Parâmetro **Revisto**.

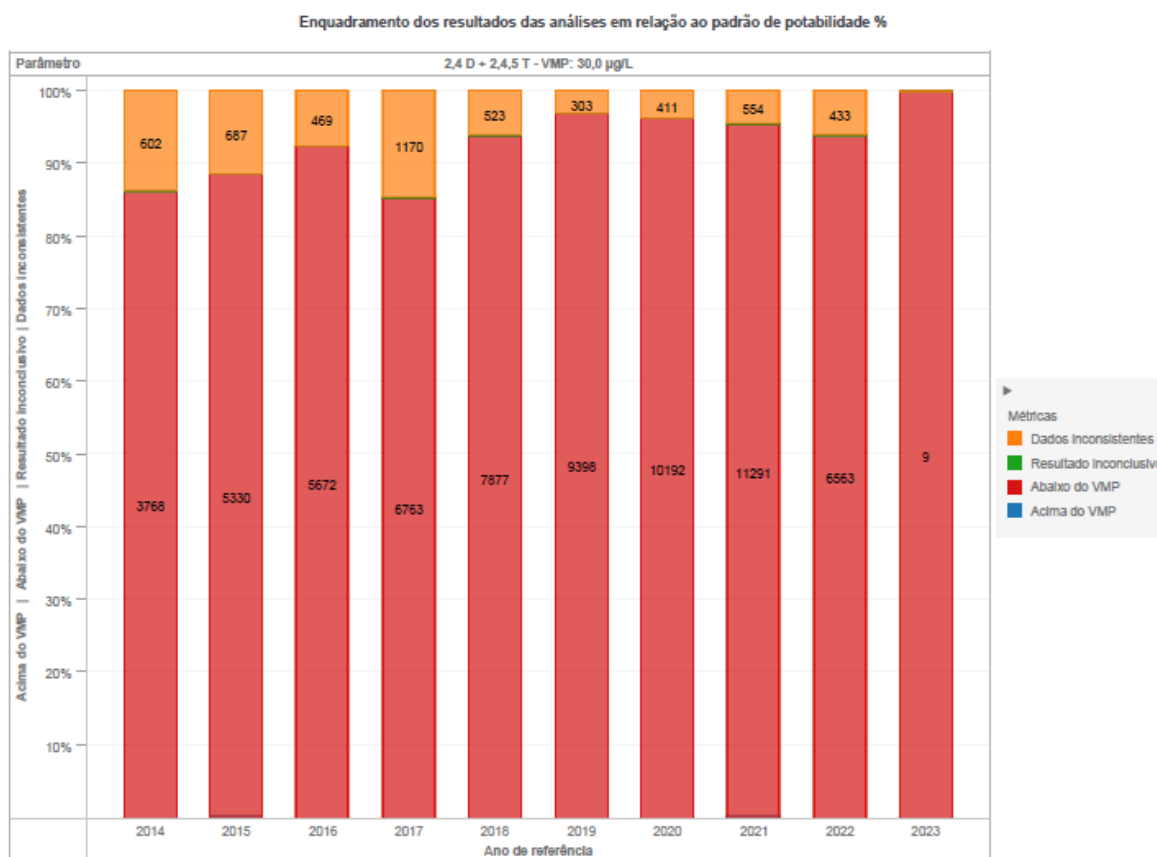
(1)

(2)

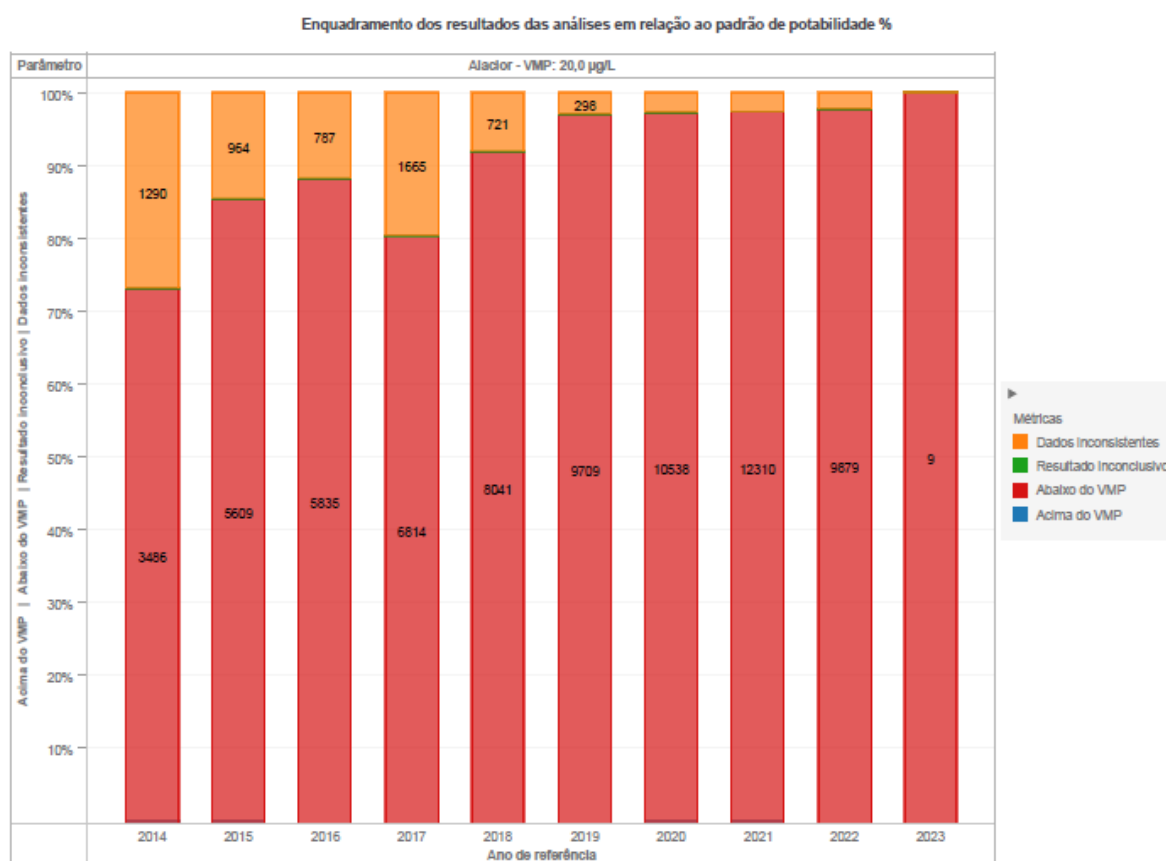


Os dados apresentados entre as Figuras 14 e 40 referem-se à totalidade dos municípios brasileiros que informam ao SISÁGUA o resultado das análises de agrotóxicos.

**Figura 14. Resultados do 2,4 D**

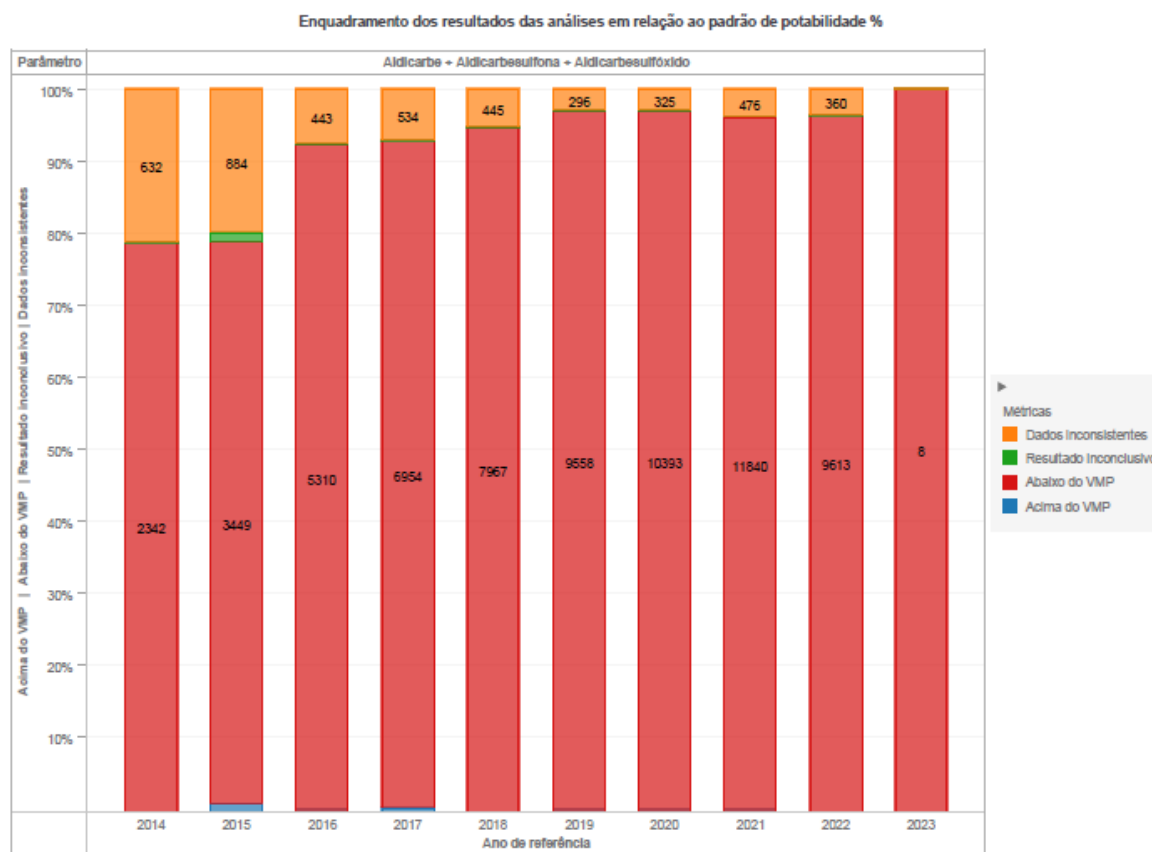


**Figura 15. Resultados do alaclor**

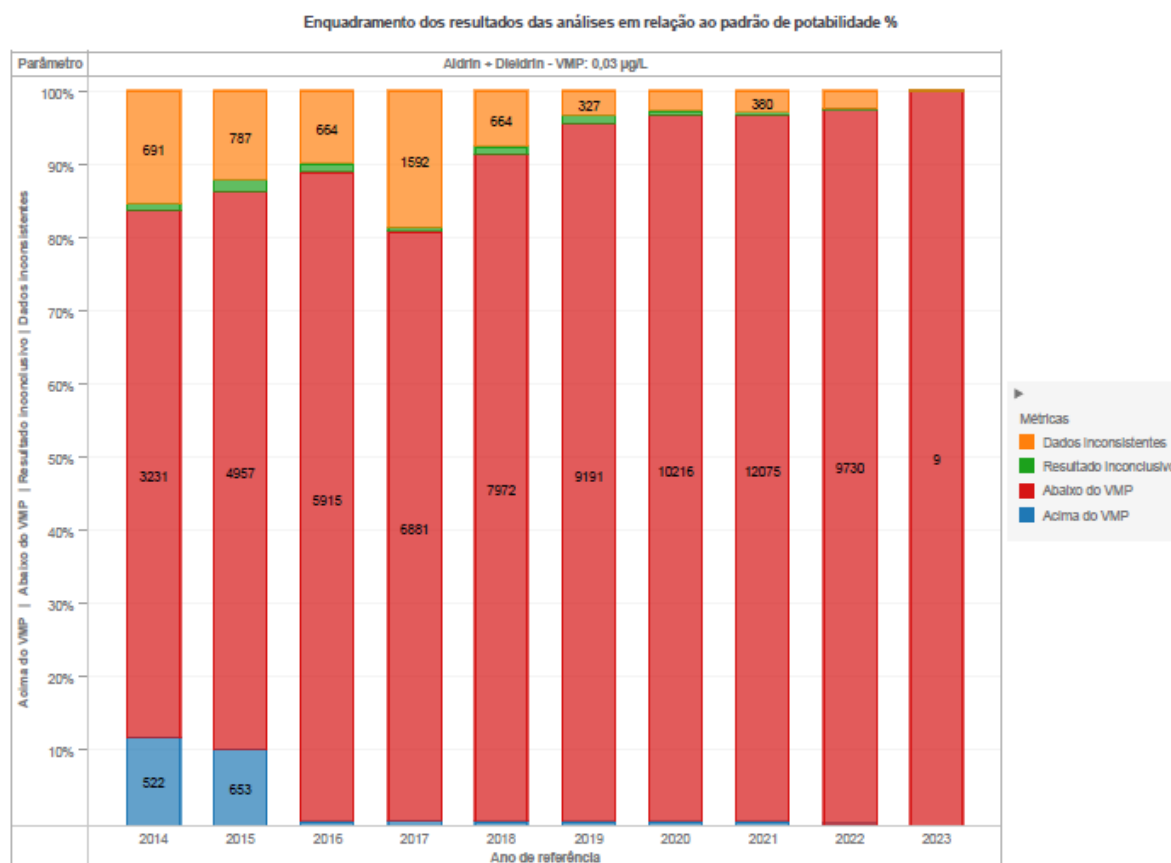




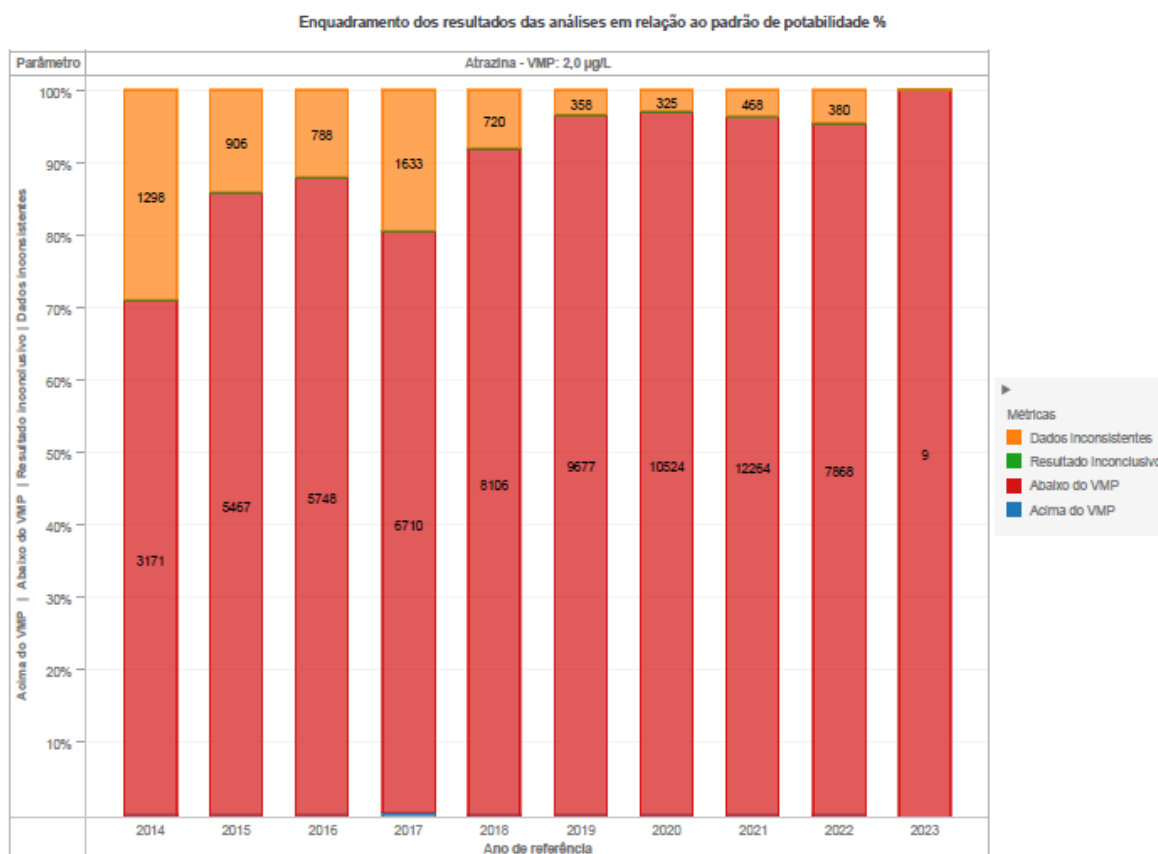
**Figura 16. Resultados do aldicarbe**



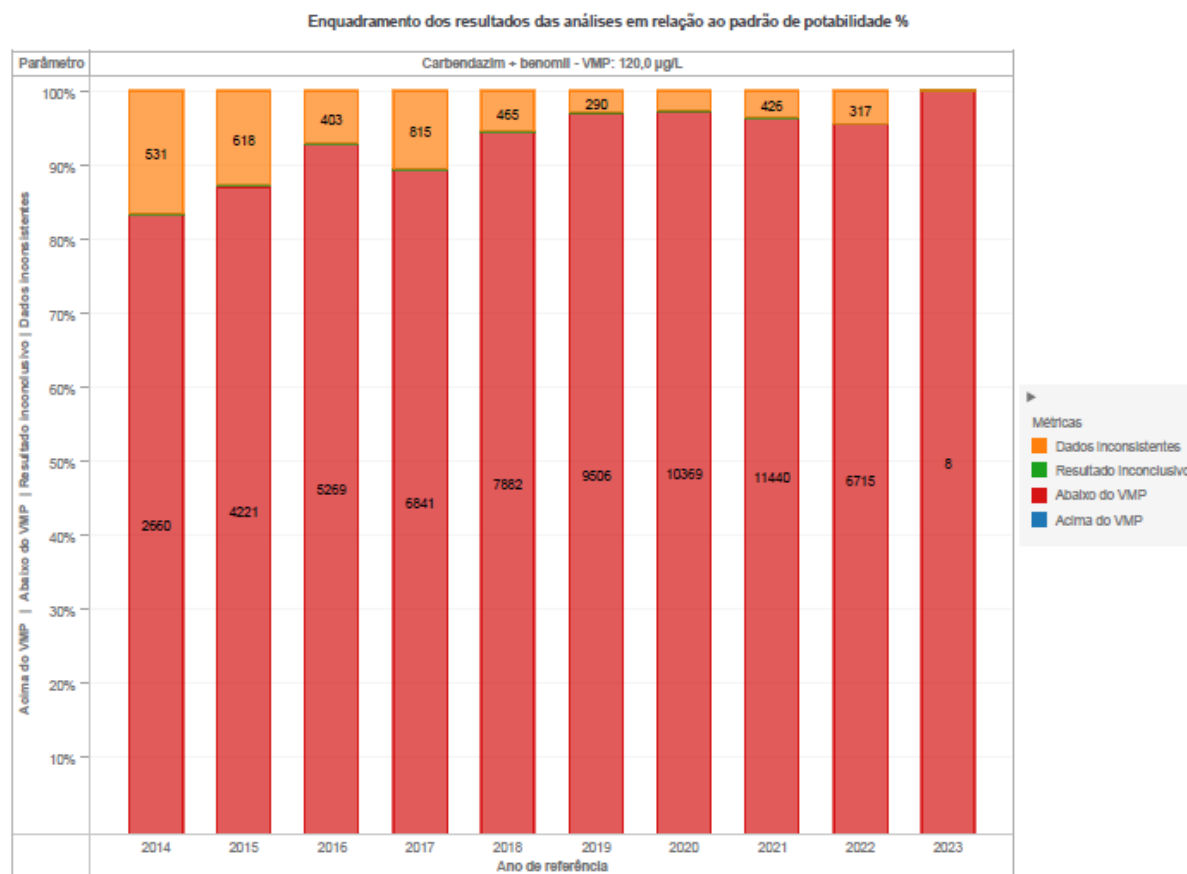
**Figura 17. Resultados do aldrin**



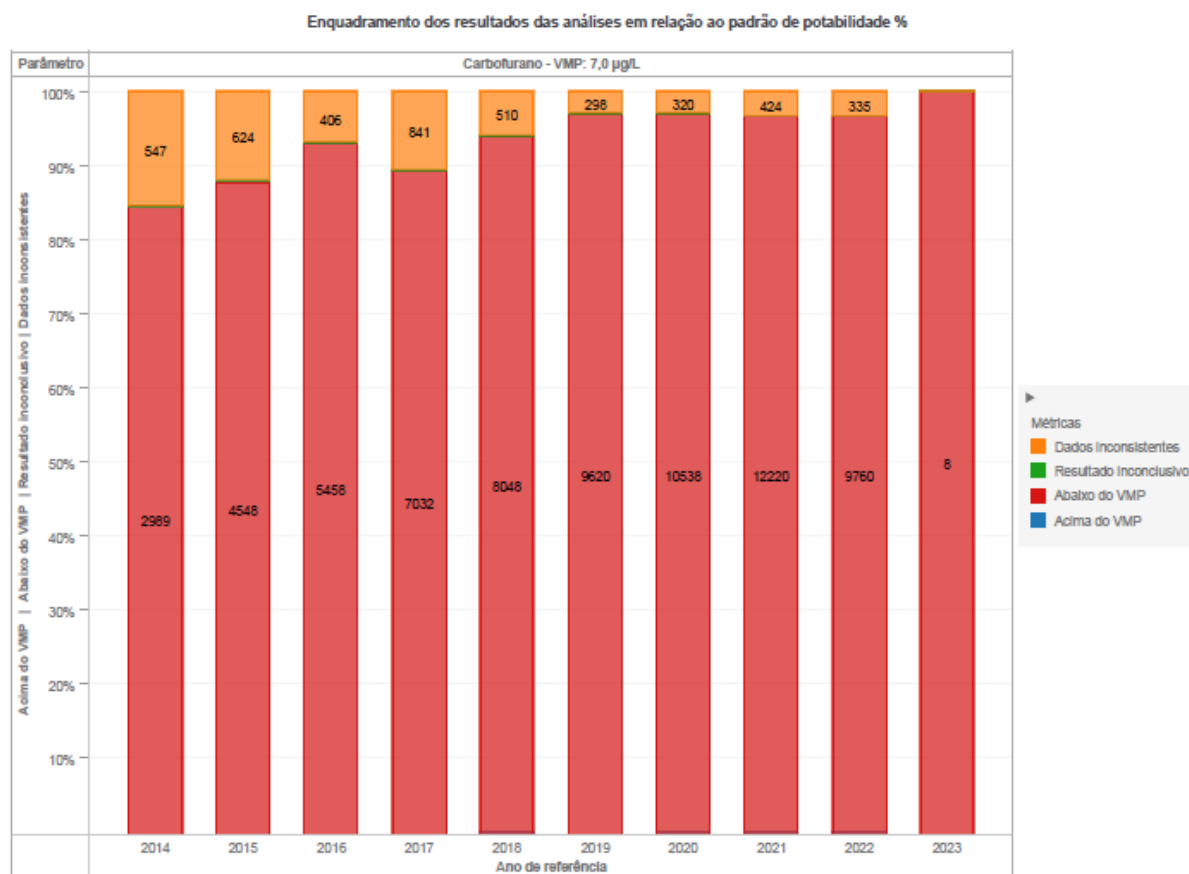
**Figura 18. Resultados da atrazina**



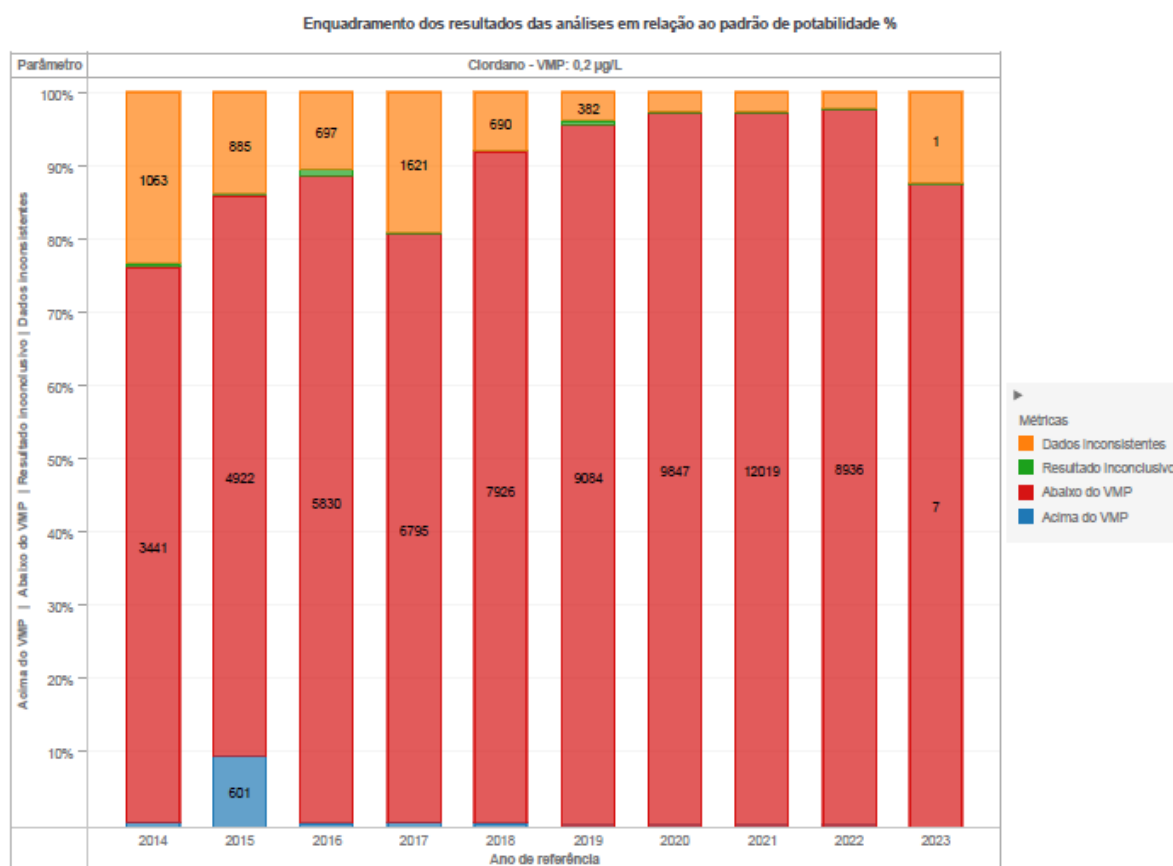
**Figura 19. Resultados do carbendazim**



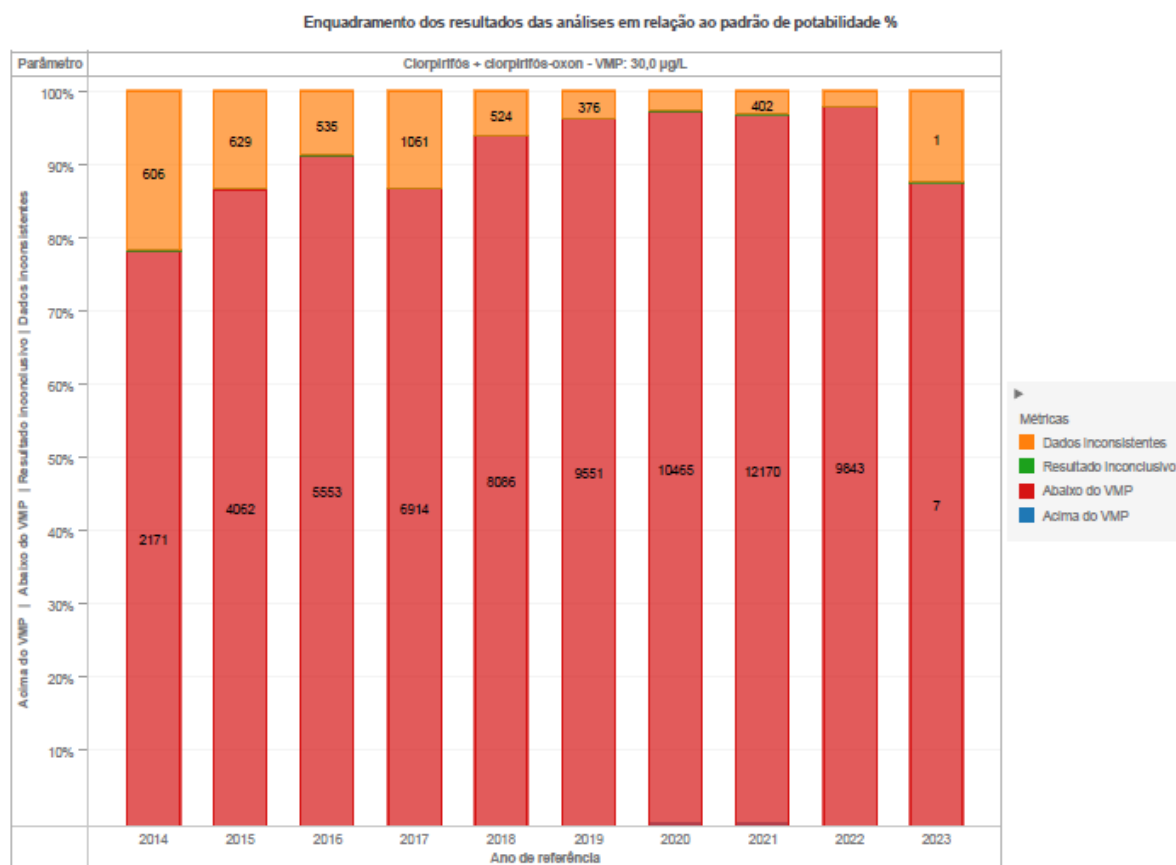
**Figura 20. Resultados do carbofurano**



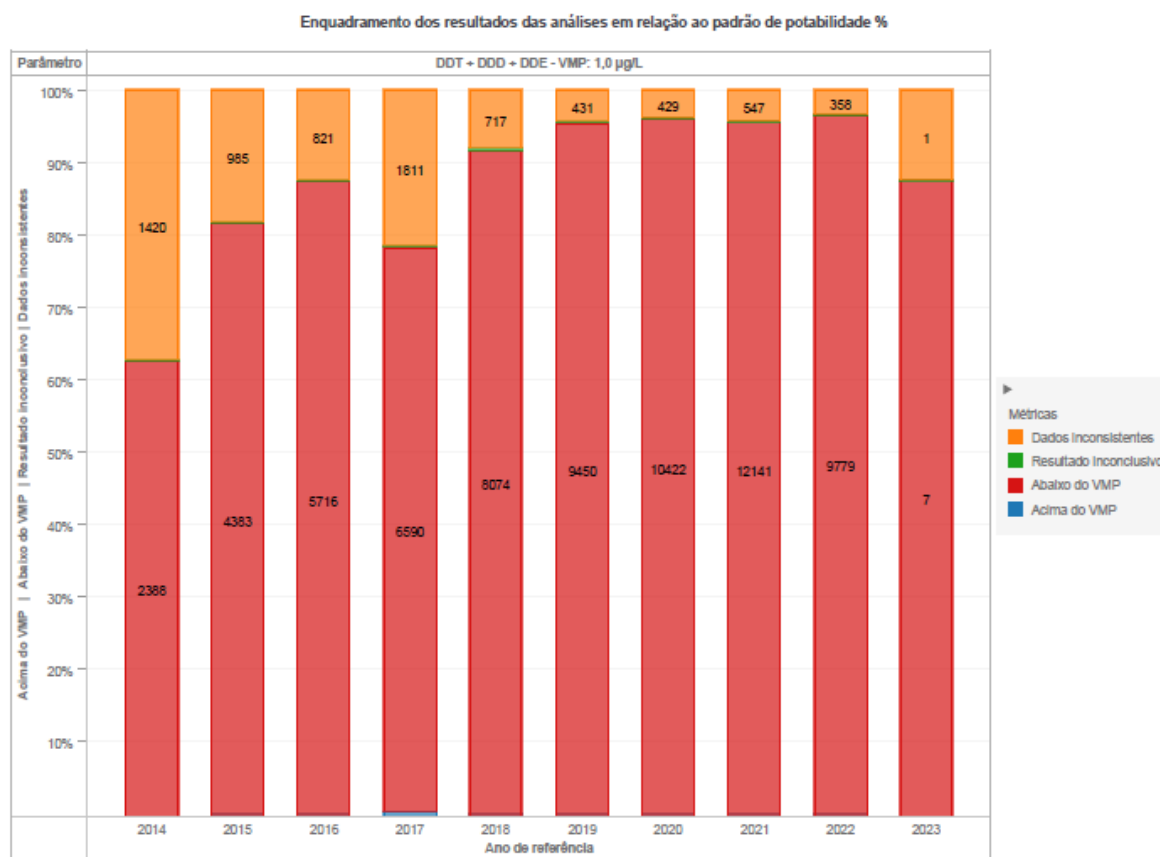
**Figura 21. Resultados do clordano**



**Figura 22. Resultados do clorpirifós**

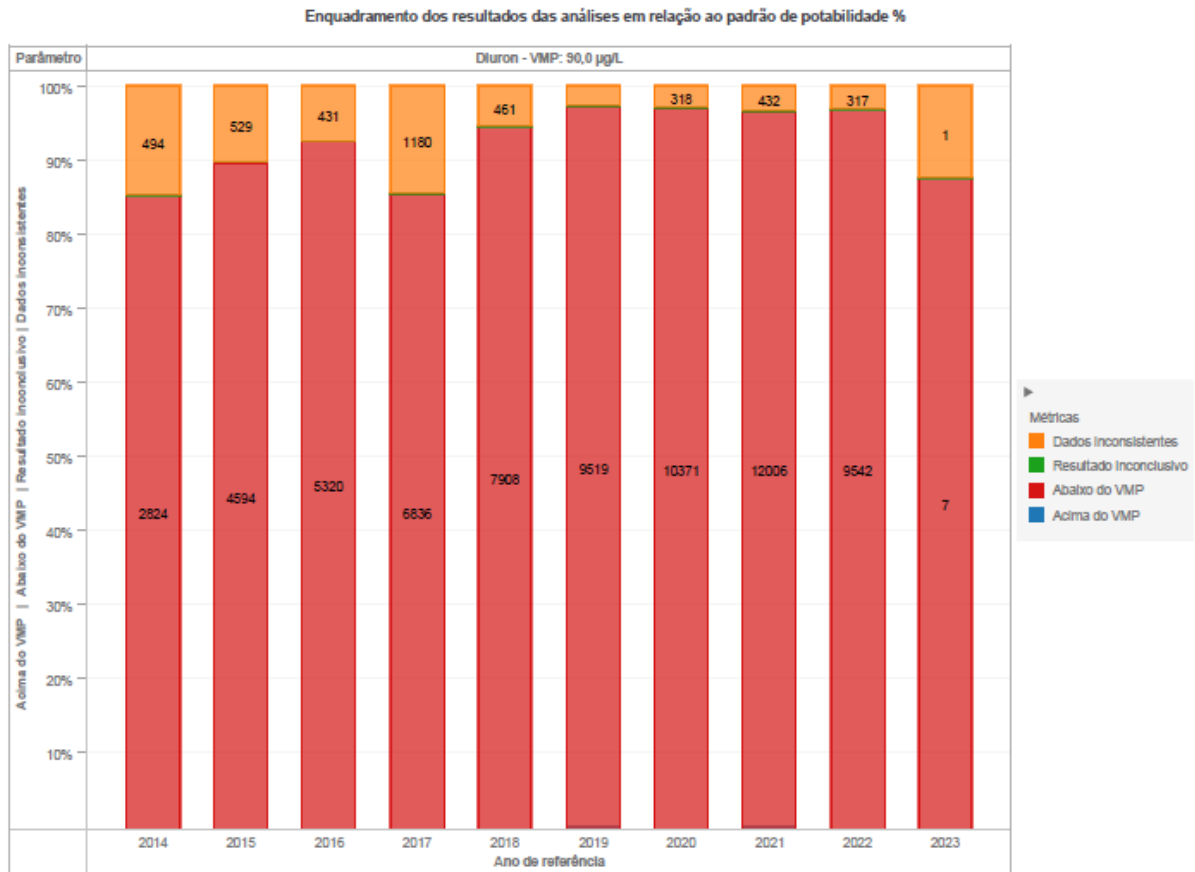


**Figura 23. Resultados do DDT**

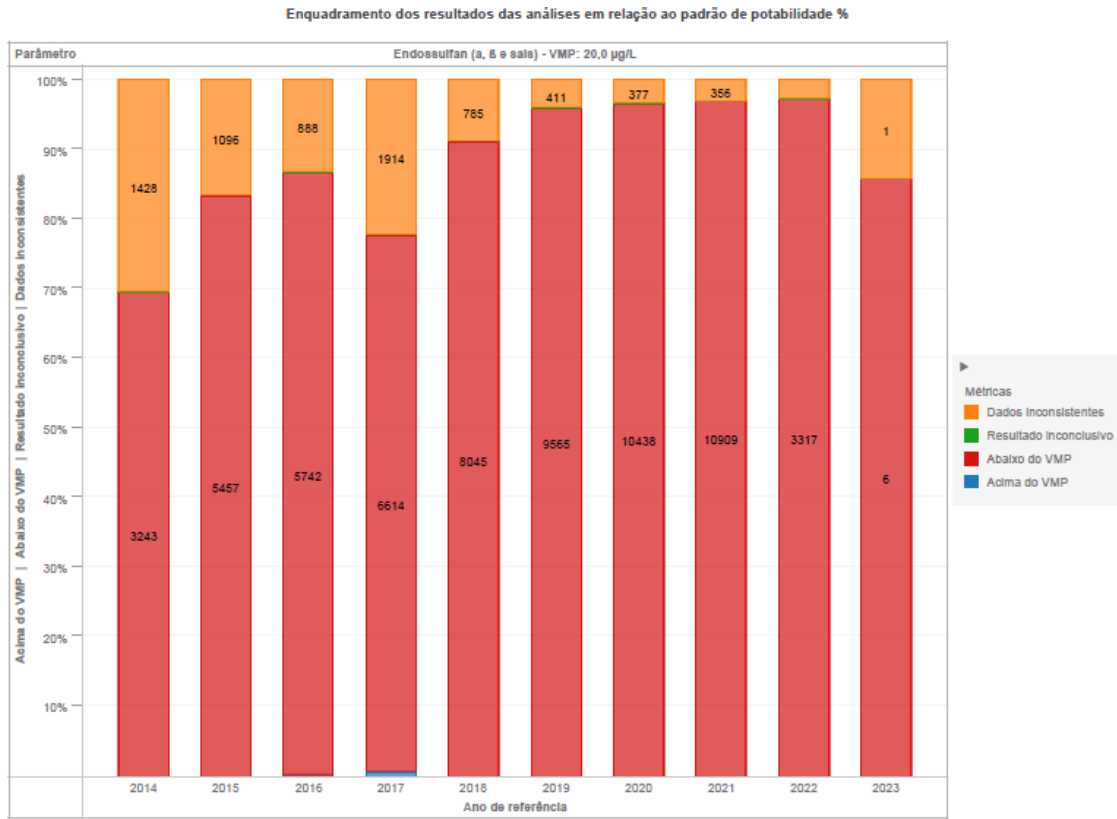




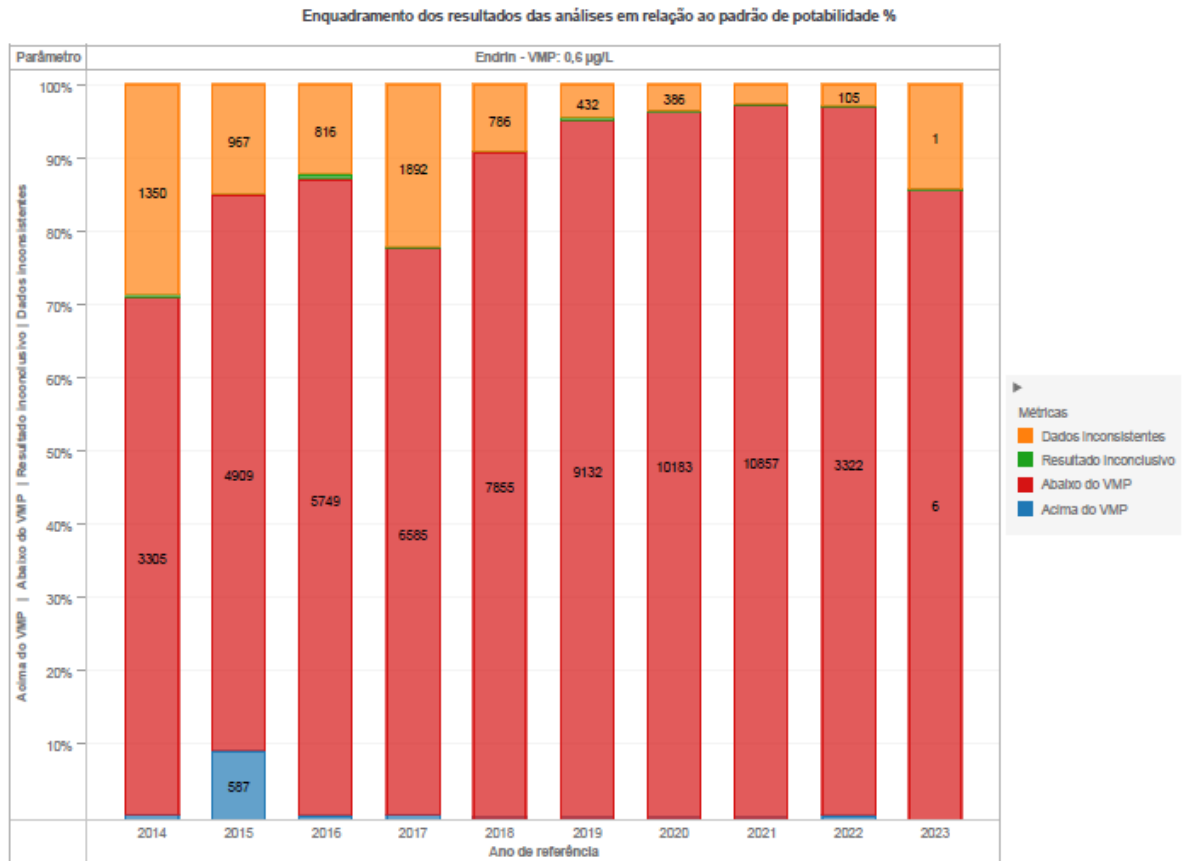
**Figura 24. Resultados do diuron**



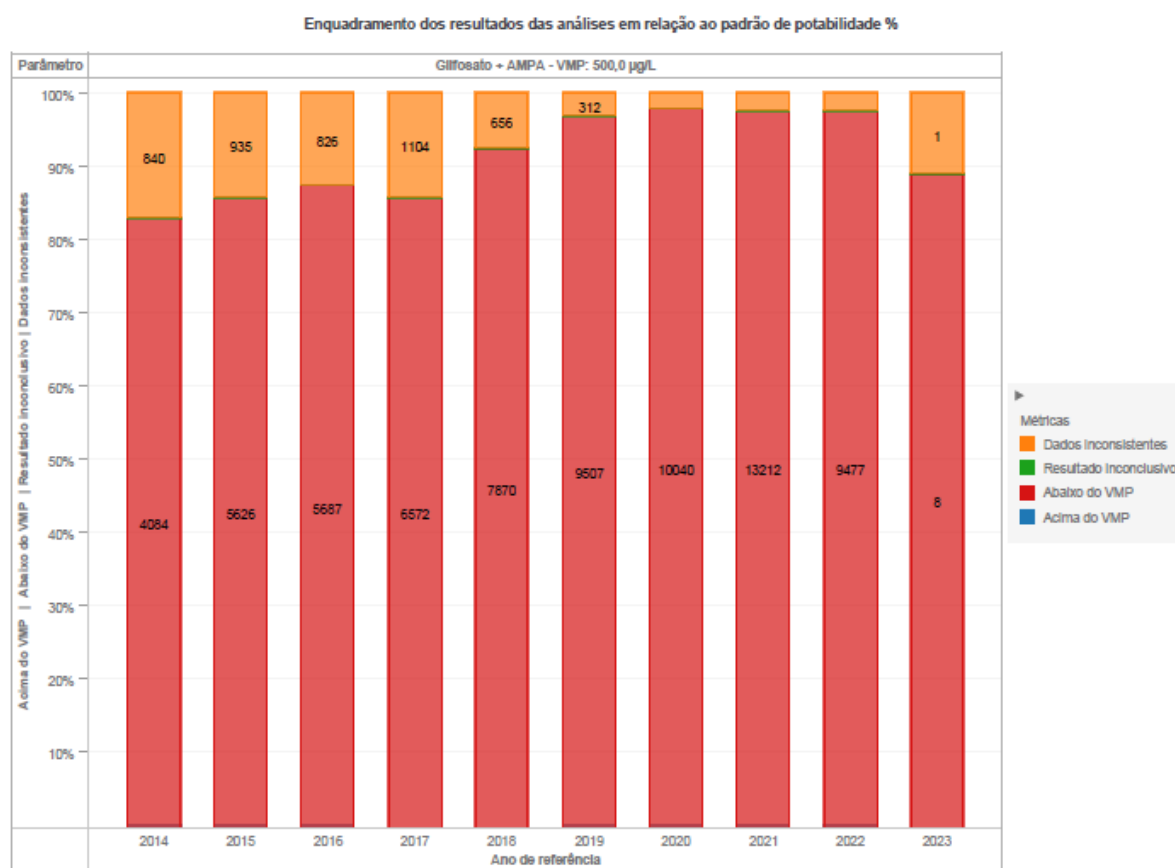
**Figura 25. Resultados do endossulfan**



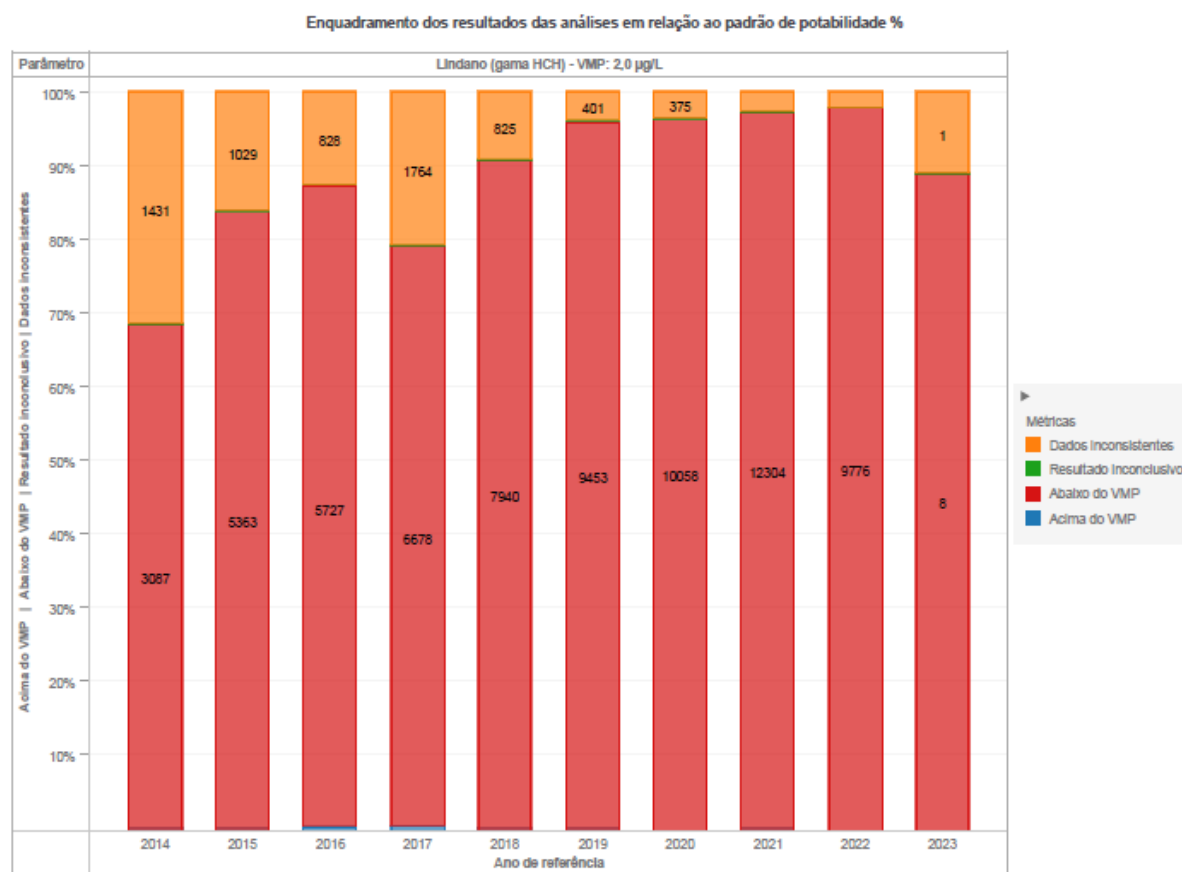
**Figura 26. Resultados do endrin**



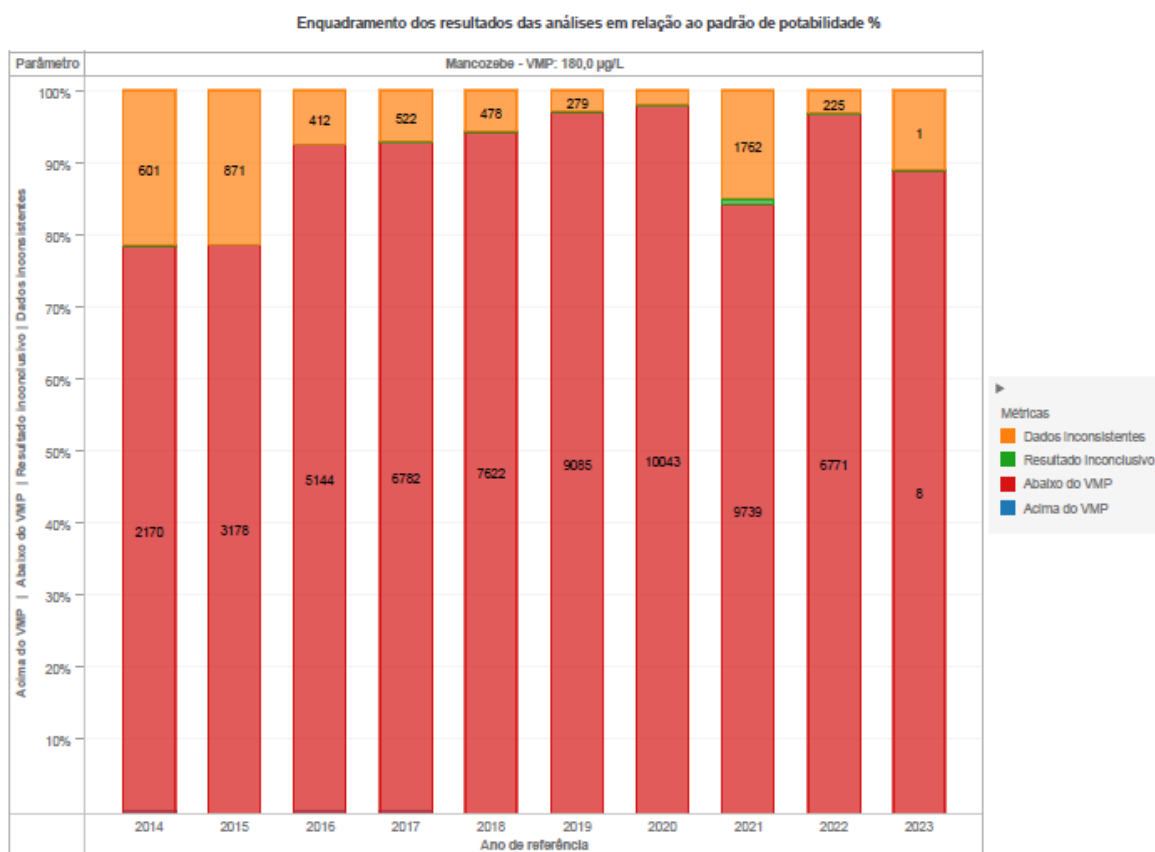
**Figura 27. Resultados do glifosato**



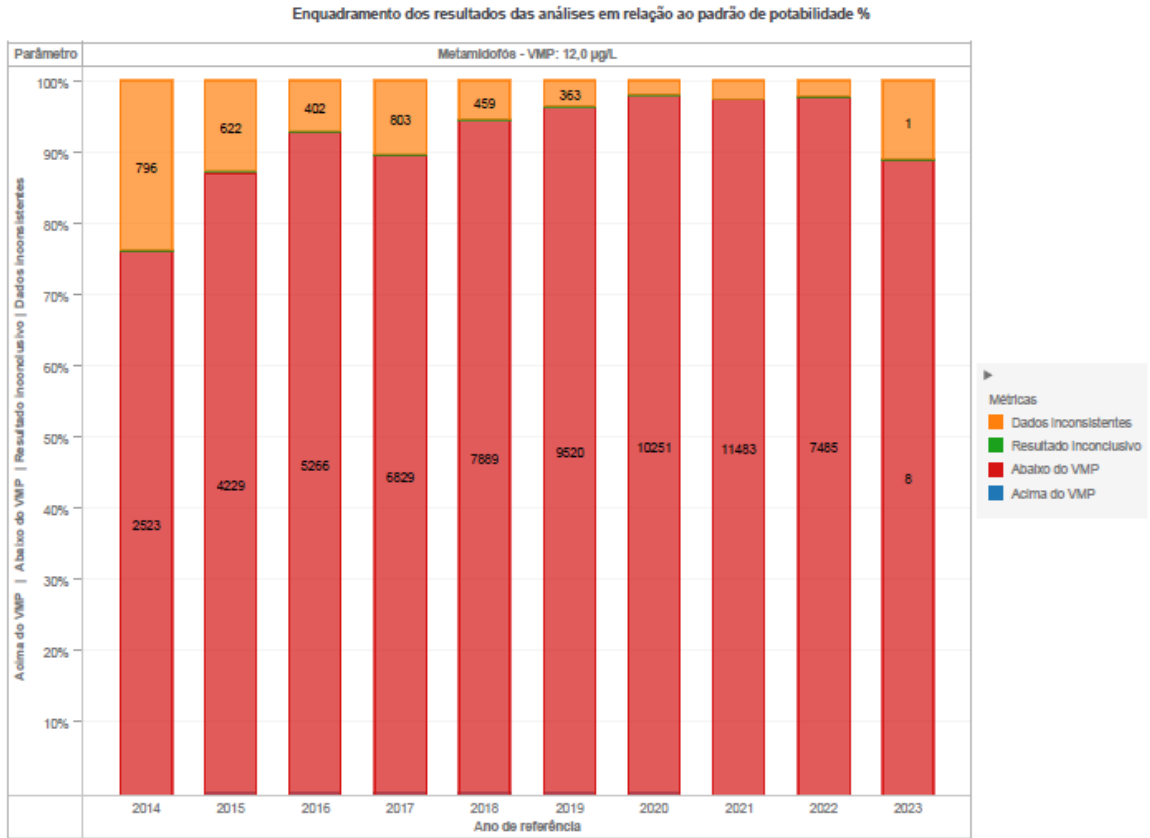
**Figura 28. Resultados do lindano**



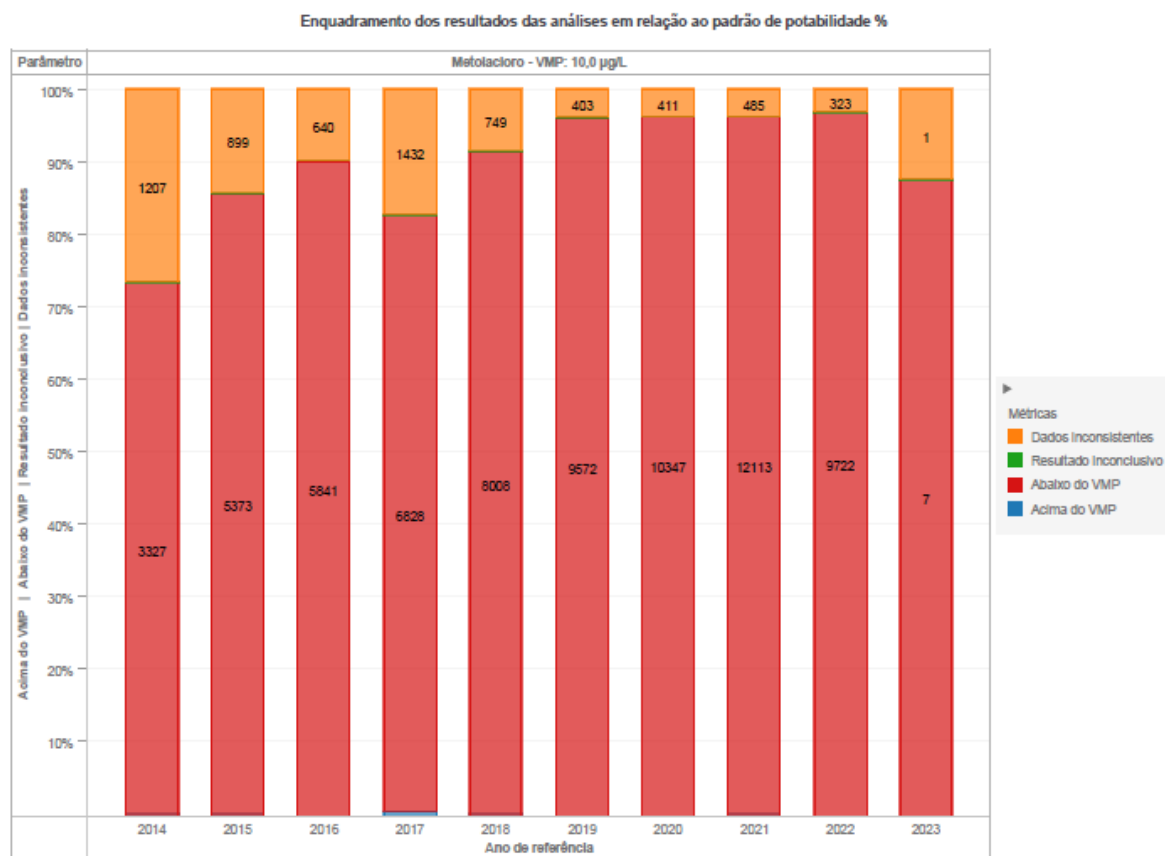
**Figura 29. Resultados do mancozebe**



**Figura 30. Resultados do metamidofós**

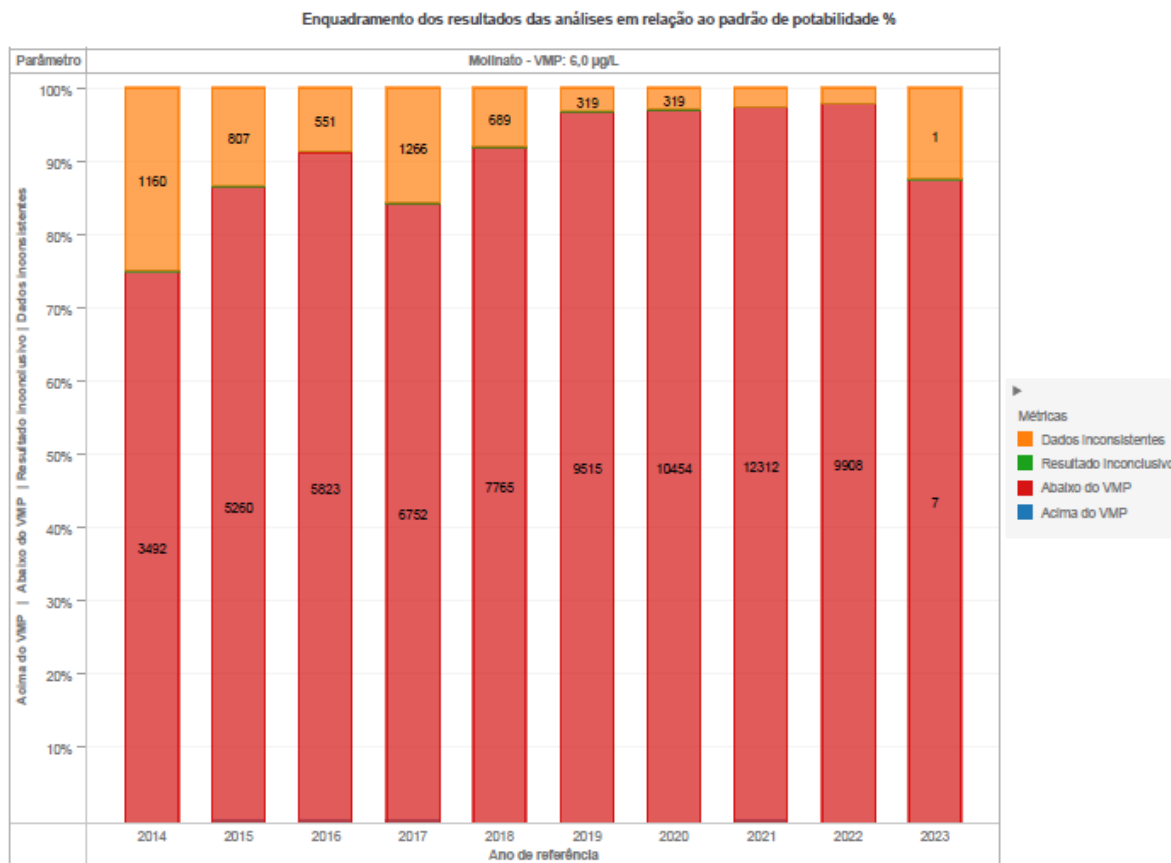


**Figura 31. Resultados do metolacoloro**

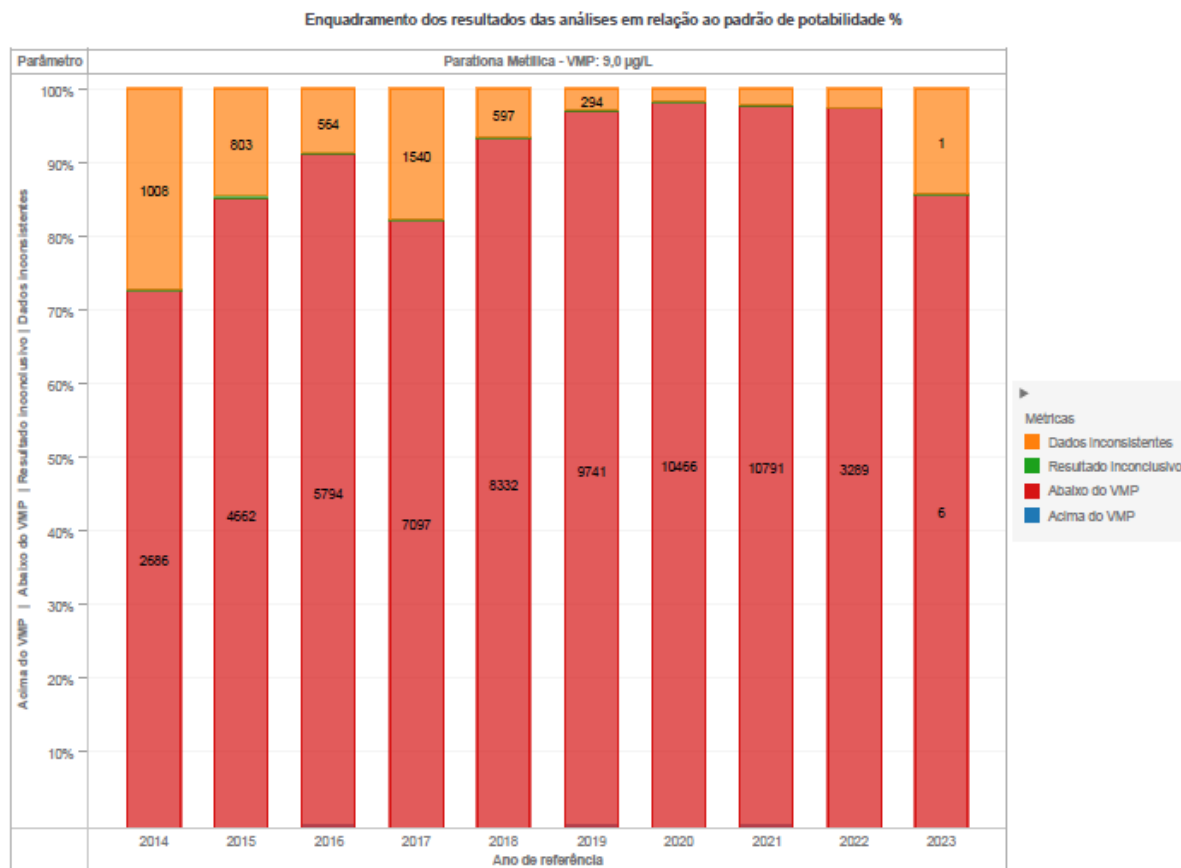




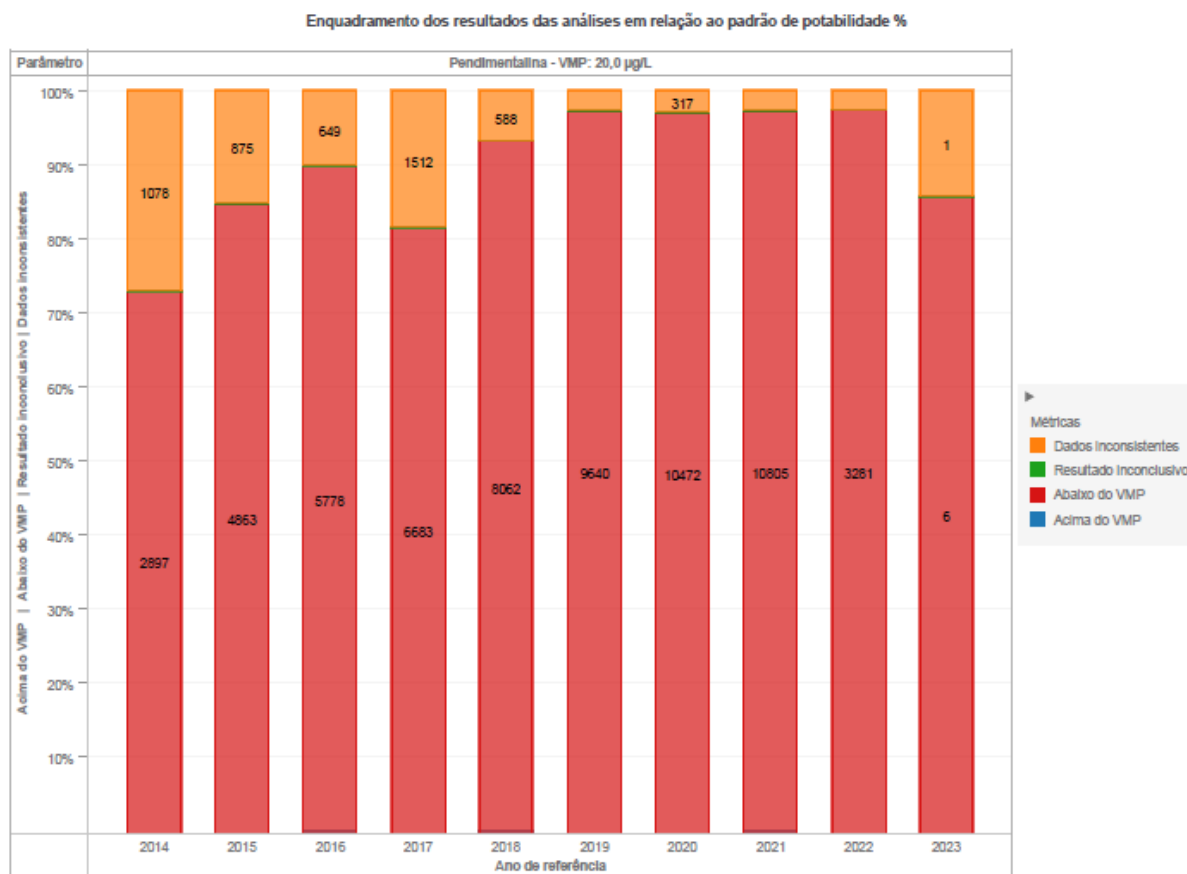
**Figura 32. Resultados do molinato**



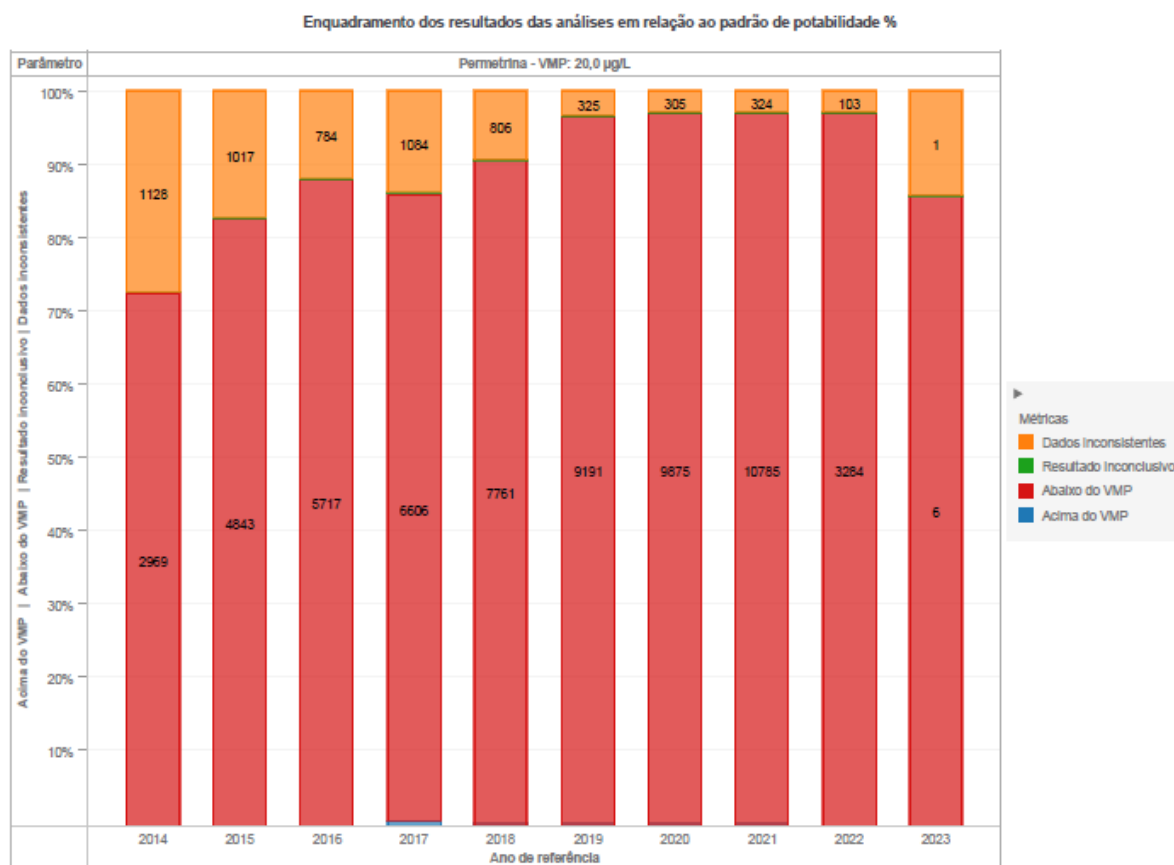
**Figura 33. Resultados do parationa metilica**



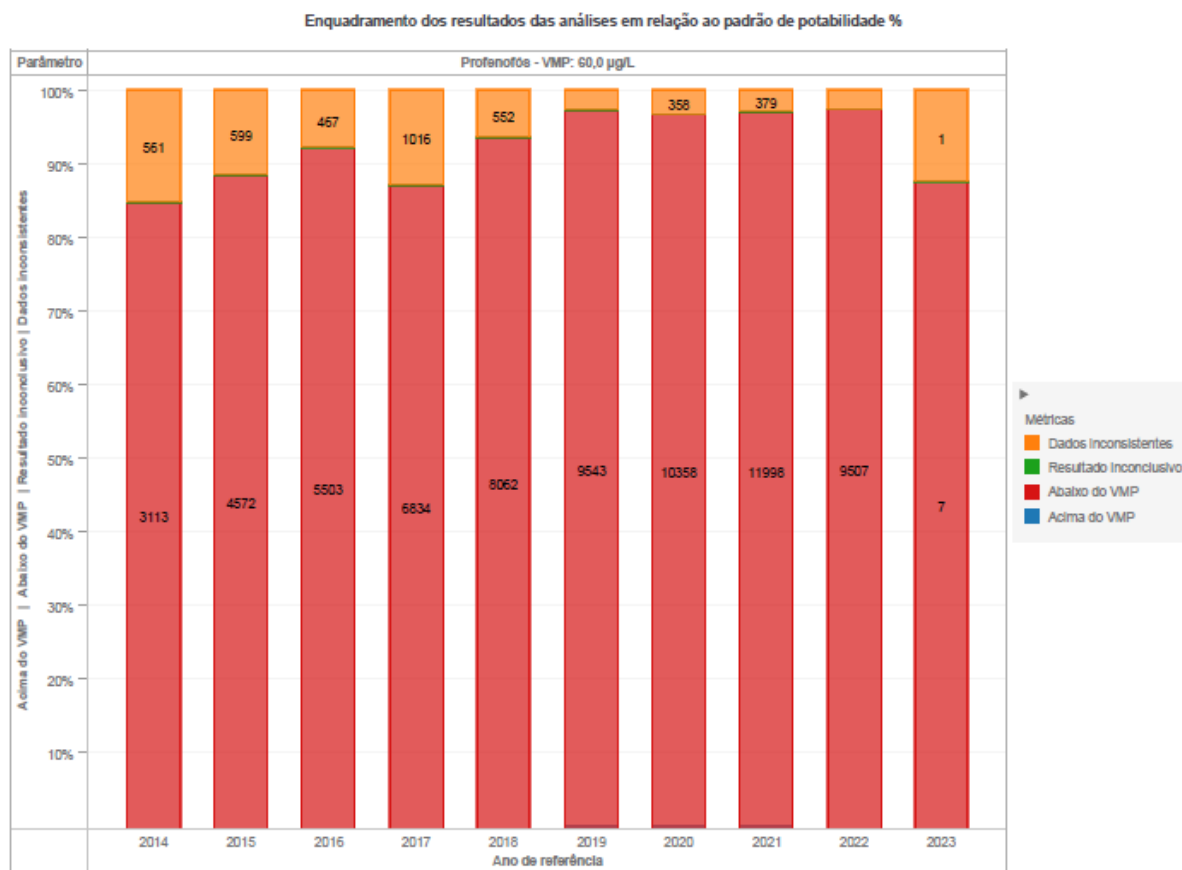
**Figura 34. Resultados do pendimentalina**



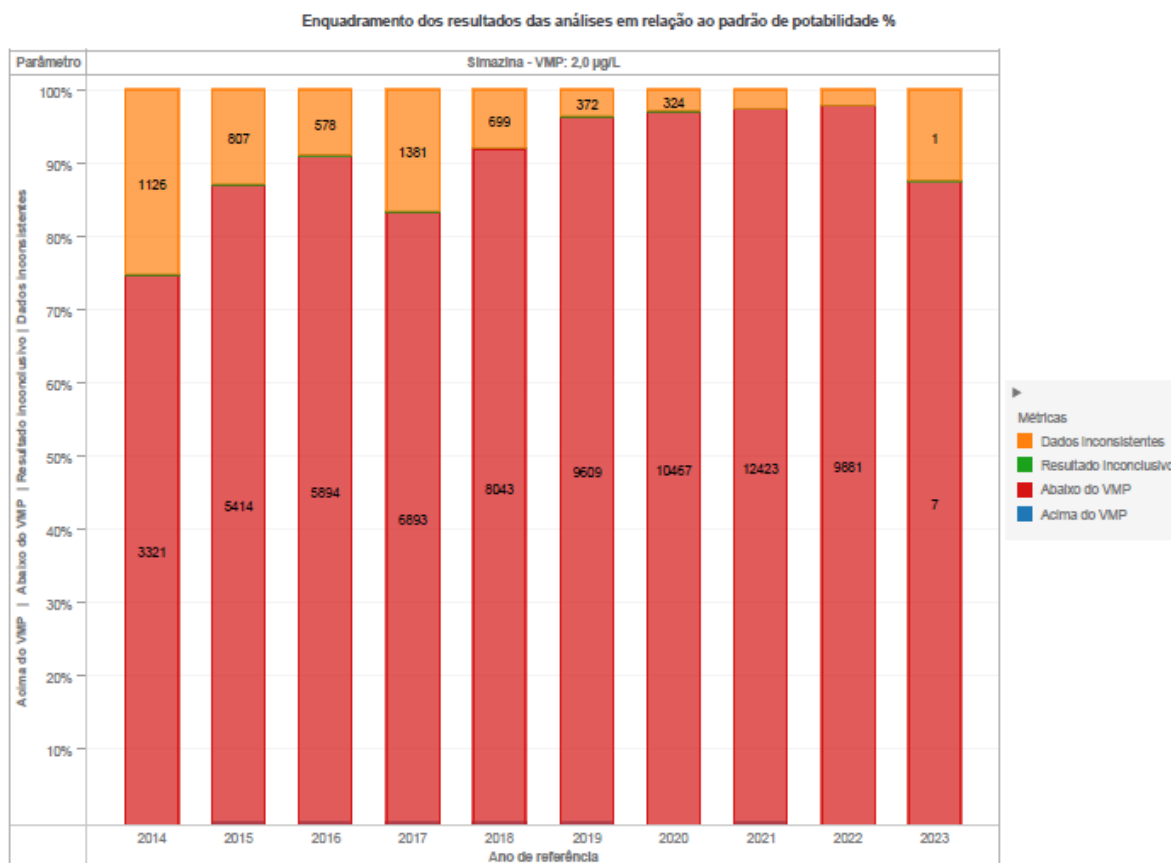
**Figura 35. Resultados do permetrina**



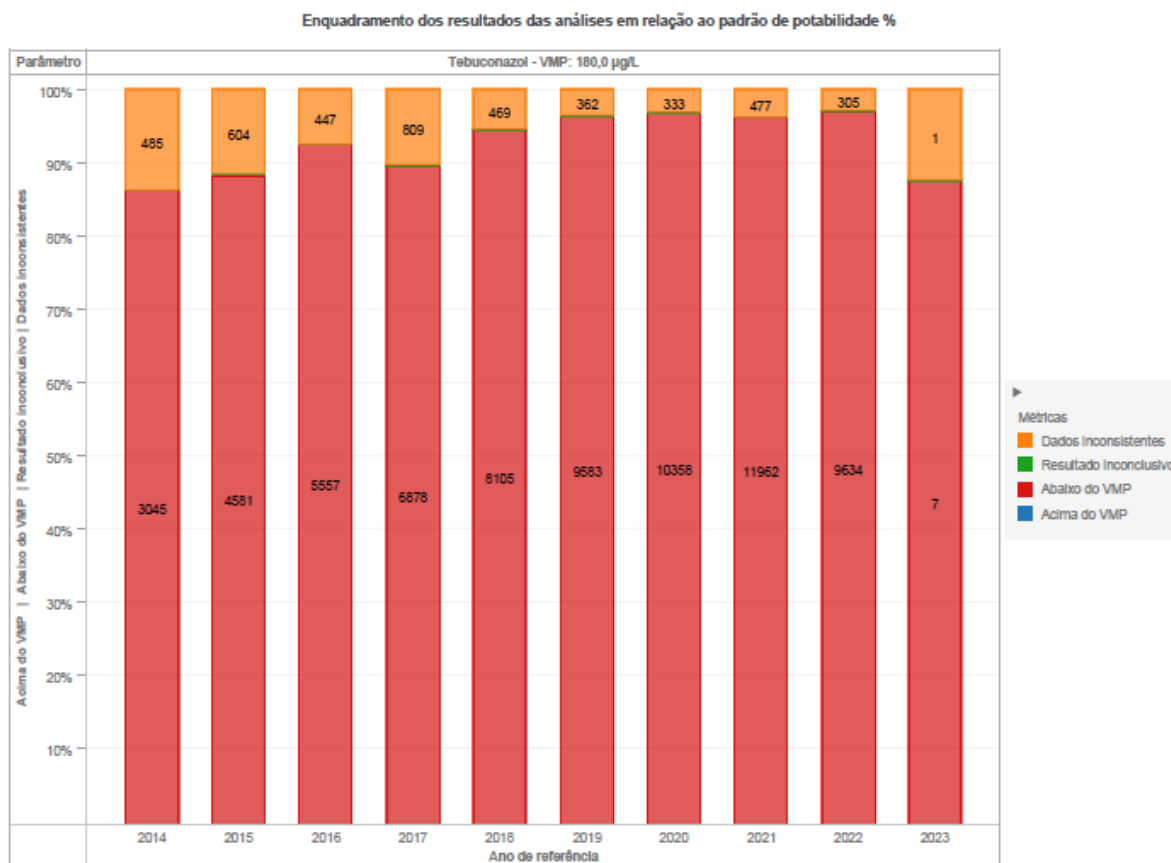
**Figura 36. Resultados do profenofós**



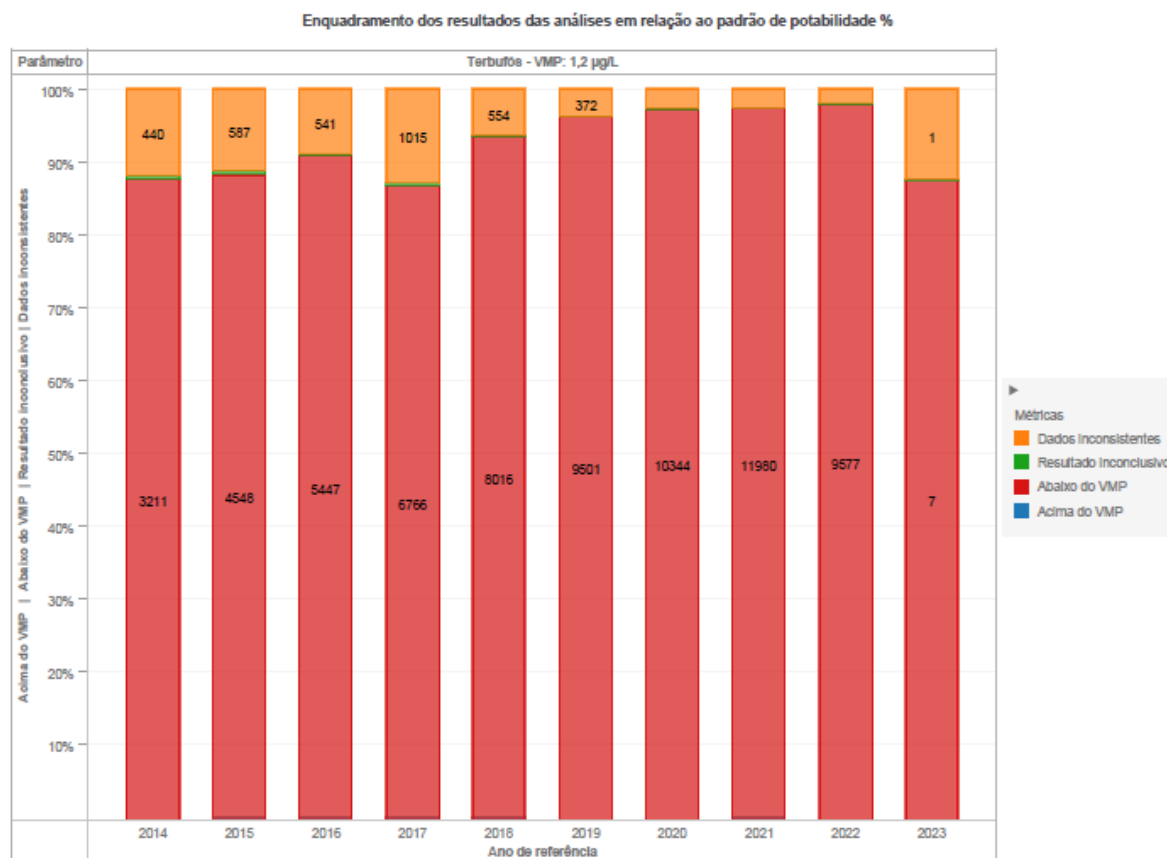
**Figura 37. Resultados do simazina**



**Figura 38. Resultados do tebuconazol**

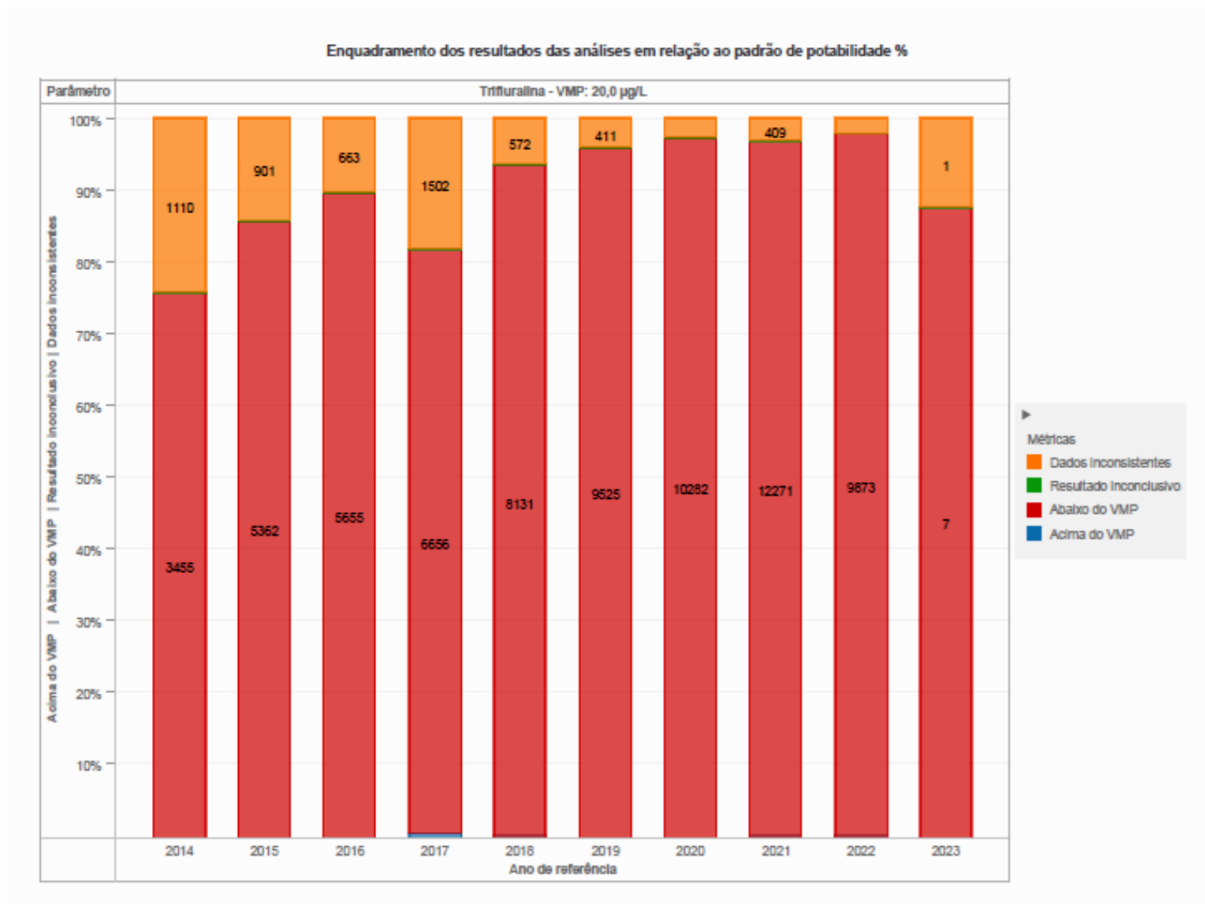


**Figura 39. Resultados do terbufós**





**Figura 40. Resultados do trifluralina**



**ANEXO III - DADOS DO IBAMA DE COMERCIALIZAÇÃO DE AGROTÓXICOS**

**Tabela 19.** Consumo de IA por Estado, no ano 2021, em ton./ano

Posição	Estado	2,4-D	Estado	Alacloro <sup>1</sup>	Estado	Aldicarbe <sup>1</sup>
1	MT	9.296,71		0,00		0,00
2	PR	6.983,41		0,00		0,00
3	RS	6.502,45		0,00		0,00
4	SP	5.926,89		0,00		0,00
5	MS	4.258,58		0,00		0,00
6	GO	3.661,62		0,00		0,00
7	PA	3.423,78		0,00		0,00
8	BA	3.393,89		0,00		0,00
9	MG	2.756,83		0,00		0,00
10	RO	2.294,89		0,00		0,00
Posição	Estado	Ametrina	Estado	Atrazina	Estado	Carbendazim
1	SP	1.827,35	MT	7.548,72	MT	3.987,82
2	MG	337,31	GO	4.167,55	RS	625,83
3	PR	244,81	PR	4.049,41	GO	624,17
4	GO	225,75	MS	3.342,41	PR	539,33
5	MS	210,15	MG	2.443,23	MG	491,87
6	PB	71,40	SP	2.404,75	SP	325,69
7	PE	55,92	RS	1.405,59	BA	279,13
8	MT	48,20	BA	736,05	PA	195,60
9	AL	39,06	TO	674,07	PI	133,08
10	RN	25,87	MA	554,53	SC	103,00
Posição	Estado	Carbofurano <sup>1</sup>	Estado	Ciproconazol	Estado	Clordano <sup>2</sup>
1		0,00	MT	588,74		
2		0,00	RS	338,76		
3		0,00	PR	317,95		
4		0,00	MG	300,52		
5		0,00	GO	263,18		
6		0,00	MS	198,41		
7		0,00	SP	153,03		
8		0,00	BA	116,95		
9		0,00	ES	65,87		
10		0,00	TO	62,54		
Posição	Estado	Clorotalonil	Estado	Clorpirifós	Estado	DDT+DDD+DDE <sup>2</sup>
1	SP	4.908,61	MT	3.553,29		
2	MT	4.897,56	MG	1.095,23		
3	PR	3.011,26	BA	718,19		
4	GO	2.292,35	GO	682,05		
5	RS	1.882,77	SP	664,58		
6	MS	1.766,66	PR	381,91		
7	MG	1.596,39	MS	358,84		
8	BA	1.164,37	TO	319,22		
9	SC	557,91	RS	239,22		
10	MA	430,99	ES	183,95		

**Tabela 19.** Continuação. Consumo de IA por Estado, no ano 2021, em ton./ano

Posição	Estado	Difenoconazol	Estado	Dimetoato	Estado	Diuron
1	MT	626,34	SP	48,49	SP	3.723,33
2	RS	296,45	PB	30,10	MG	739,67
3	PR	284,79	MG	24,27	GO	663,56
4	GO	262,18	BA	21,56	PR	448,55
5	SP	249,67	RS	13,03	MS	417,19
6	MS	207,43	PE	8,03	MT	321,83
7	BA	156,85	RN	5,75	AL	313,78
8	MG	138,72	SC	5,46	PB	250,79
9	TO	76,40	CE	4,22	PE	181,21
10	SC	62,04	ES	2,70	BA	74,55
Posição	Estado	Epoxiconazol	Estado	Fipronil	Estado	Flutriafol
1	MT	193,81	SP	533,00	MG	150,95
2	PR	173,50	MT	310,33	MT	86,77
3	SP	141,37	PR	207,38	SP	82,66
4	MG	131,83	GO	198,43	ES	65,92
5	RS	127,88	RS	192,92	BA	36,54
6	GO	110,22	MG	152,77	PR	36,13
7	MS	79,78	BA	109,98	GO	30,69
8	BA	37,66	MS	108,80	RS	21,11
9	MA	17,97	MA	25,83	PI	9,20
10	PI	10,45	TO	21,28	MA	9,14
Posição	Estado	Glifosato + AMPA	Estado	Hidroxi-Atrazina <sup>2</sup>	Estado	Lindano (gama HCH) <sup>2</sup>
1	MT	37.888,87				
2	RS	31.534,28				
3	PR	28.784,61				
4	GO	22.521,99				
5	SP	19.724,69				
6	MS	18.807,73				
7	MG	17.530,22				
8	BA	11.553,29				
9	SC	6.420,35				
10	MA	4.989,37				
11	TO	4.553,43				
12	PA	4.517,56				
13	PI	2.878,06				
14	RO	2.501,86				
15	ES	2.089,42				

Fonte: da Autora, dados: IBAMA, 2022.

Notas: 1. Não foram comercializados em 2020;

2. Não constam na lista do IBAMA de comercializados;

**Tabela 19.** Continuação. Consumo de IA por Estado, no ano 2021, em ton./ano

Posição	Estado	Malationa	Estado	Mancozebe	Estado	Metamidofós <sup>2</sup> +Acefato
1	MT	5.975,99	MT	14.780,81	MT	10.129,72
2	BA	4.446,19	RS	8.140,80	PR	4.462,35
3	SP	598,56	MG	4.422,91	RS	2.616,77
4	MG	303,24	PR	3.932,48	GO	2.506,32
5	MS	214,05	GO	3.804,80	MS	2.426,62
6	RO	115,44	SP	3.770,07	SP	2.260,11
7	PI	33,39	MS	2.383,50	MG	2.192,78
8	PR	24,35	BA	2.076,19	BA	1.744,77
9	TO	20,87	SC	1.393,34	PI	460,59
10	PB	19,91	MA	1.317,78	MA	283,35
Posição	Estado	Metolacloro <sup>2</sup>	Estado	Metribuzim	Estado	Molinato <sup>2</sup>
1			SP	223,39		
2			MG	100,99		
3			MS	94,22		
4			GO	43,55		
5			PR	39,73		
6			PB	27,12		
7			AL	22,59		
8			MT	21,67		
9			RS	16,97		
10			SC	11,03		
Posição	Estado	Paraquate <sup>2</sup>	Estado	Picloram	Estado	Profenofós
1			PA	1.168,98	MT	525,08
2			MT	854,55	BA	183,71
3			GO	306,23	MG	157,75
4			SP	274,28	SP	125,37
5			RO	271,51	GO	106,59
6			MS	225,43	MS	55,33
7			MA	207,91	PR	27,74
8			MG	191,10	RS	21,70
9			TO	187,82	ES	19,06
10			BA	168,91	SC	15,58

**Tabela 19.** Continuação. Consumo de IA por Estado, no ano 2021, em ton./ano

Posição	Estado	Propargito	Estado	Protioconazol +ProticonazolDestio	Estado	Simazina
1	SP	346,91	MT	866,62	RS	227,97
2	MG	54,92	PR	383,86	SC	162,32
3	BA	13,72	BA	246,02	PR	83,01
4	ES	13,31	RS	236,79	SP	3,12
5	PR	12,65	GO	199,03		
6	MT	11,48	MS	193,45		
7	MS	5,21	MG	175,69		
8	GO	4,42	SP	119,20		
9	PB	3,30	SC	90,65		
10	SE	1,37	MA	63,55		
Posição	Estado	Tebuconazol	Estado	Terbufós	Estado	Tiametoxam
1	MT	806,60	BA	1,28	MT	808,89
2	RS	583,54	TO	0,30	SP	684,23
3	PR	550,49	SP	0,12	MG	364,37
4	GO	523,60			PR	285,96
5	MG	493,15			MS	282,10
6	SP	413,69			GO	269,68
7	MS	187,43			RS	150,15
8	BA	179,36			BA	95,89
9	MA	97,03			ES	62,99
10	SC	92,54			SC	60,36
Posição	Estado	Tiodicarbe	Estado	Tiram	Estado	Trifluralina
1	MT	341,93	MT	274,07	MT	801,52
2	GO	139,51	GO	195,77	SP	426,53
3	PR	128,55	RS	141,42	BA	88,73
4	BA	125,96	PR	129,84	GO	72,85
5	MG	98,90	SP	75,47	PR	70,89
6	RS	86,52	MG	70,93	MS	67,31
7	MS	85,37	SC	49,50	RS	60,25
8	SP	81,05	MS	42,72	MG	54,14
9	SC	37,15	TO	14,92	PA	15,82
10	MA	21,68	BA	14,42	PE	14,09

Fonte: da Autora, dados: IBAMA, 2022.

**Notas:**

1. Não foram comercializados em 2020;
2. Não constam na lista do IBAMA de comercializados.

A Tabela 20 demonstra quantas vezes os Estados encontram-se nas posições de consumo de 1 a 10. O número ao lado do Estado identifica o número de vezes naquela posição. Por exemplo: Coluna 1 = primeira posição de consumo ==> MT18= O Estado do Mato Grosso está em primeiro lugar no consumo de 18 ingredientes ativos.

**Tabela 20.** Posição de Consumo por Estado por IA, no ano de 2021.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MT 18	MT 4	RS 3	SP 4	MS 6	GO 3	PA 1	BA 10	MG 1	RO 1
SP 7	SP 2	PR 10	GO 10	MG 4	PB 2	PE 1	MT 2	AL 1	RN 1
RS 1	RS 6	GO 3	MS 1	GO 4	SP 5	RS 3	PA 1	TO 5	MA 8
BA 1	TO 1	BA 4	PR 5	RS 4	MS 8	BA 3	TO 1	PI 3	SC 6
PA 1	GO 3	MG 4	MG 3	SP 4	PR 2	SP 1	MG 3	ES 3	TO 2
MG 1	MG 5	SP 4	BA 2	BA 1	PE 1	MG 4	SC 1	SC 5	ES 2
	PR 4	MS 1	ES 2	PR 3	MT 2	MS 6	PB 1	RS 2	BA 3
	PB 1		RS 1	RO 1	MG 2	RN 1	MS 2	PB 1	PI 1
	BA 2				RO 1	AL 2	RS 2	PA 1	PB 1
	SC 1				RS 1	GO 1	PR 1	MA 3	SE 1
						PI 1	GO 1	CE 1	PE 1
						MA 1	SP 2	PE 1	
						PR 1			
						SC 1			

Fonte: da Autora, dados IBAMA, 2022.

A Tabela 21 apresenta os dez maiores consumidores estaduais para cada IA. Foi atribuída uma cor para cada Estado para identificar sua posição de consumo para cada IA. Por exemplo, o azul-claro identifica o Estado de Mato Grosso.

**Tabela 21.** Os dez maiores consumidores estaduais por IA, no ano de 2020

<i>Ingredientes Ativos</i>								
POSIÇÃO	2,4-D	Ametrina	Atrazina	Carbendazim	Ciproconazol	Clorotalonil	Clorpirifós	Difenoconazol
1	MT	SP	MT	MT	MT	SP	MT	MT
2	PR	MG	GO	RS	RS	MT	MG	RS
3	RS	PR	PR	GO	PR	PR	BA	PR
4	SP	GO	MS	PR	MG	GO	GO	GO
5	MS	MS	MG	MG	GO	RS	SP	SP
6	GO	PB	SP	SP	MS	MS	PR	MS
7	PA	PE	RS	BA	SP	MG	MS	BA
8	BA	MT	BA	PA	BA	BA	TO	MG
9	MG	AL	TO	PI	ES	SC	RS	TO
10	RO	RN	MA	SC	TO	MA	ES	SC

<i>Ingredientes Ativos</i>								
POSIÇÃO	Dimetoato	Diuron	Epoxiconazol	Fipronil	Flutriafol	Glifosato	Malationa	Mancozebe
1	SP	SP	MT	SP	MG	MT	MT	MT
2	PB	MG	PR	MT	MT	RS	BA	RS
3	MG	GO	SP	PR	SP	PR	SP	MG
4	BA	PR	MG	GO	ES	GO	MG	PR
5	RS	MS	RS	RS	BA	SP	MS	GO
6	PE	MT	GO	MG	PR	MS	RO	SP
7	RN	AL	MS	BA	GO	MG	PI	MS
8	SC	PB	BA	MS	RS	BA	PR	BA
9	CE	PE	MA	MA	PI	SC	TO	SC
10	ES	BA	PI	TO	MA	MA	PB	MA

Fonte: da Autora, Dados: IBAMA, 2020.



**Tabela 21.** Continuação. Os dez maiores consumidores estaduais por IA, no ano de 2020

<i>Ingredientes Ativos</i>						
POSIÇÃO	Metamidofós <sup>2</sup> +Acefato	Metribuzim	Picloram	Profenofós	Propargito	Protioconazol +ProticonazolDestio
1	MT	SP	PA	MT	SP	MT
2	PR	MG	MT	BA	MG	PR
3	RS	MS	GO	MG	BA	BA
4	GO	GO	SP	SP	ES	RS
5	MS	PR	RO	GO	PR	GO
6	SP	PB	MS	MS	MT	MS
7	MG	AL	MA	PR	MS	MG
8	BA	MT	MG	RS	GO	SP
9	PI	RS	TO	ES	PB	SC
10	MA	SC	BA	SC	SE	MA

<i>Ingredientes Ativos</i>							
POSIÇÃO	Simazina	Tebuconazol	Terbufós	Tiametoxam	Tiodicarbe	Tiram	Trifluralina
1	RS	MT	BA	MT	MT	MT	MT
2	SC	RS	TO	SP	GO	GO	SP
3	PR	PR	SP	MG	PR	RS	BA
4	SP	GO		PR	BA	PR	GO
5		MG		MS	MG	SP	PR
6		SP		GO	RS	MG	MS
7		MS		RS	MS	SC	RS
8		BA		BA	SP	MS	MG
9		MA		ES	SC	TO	PA
10		SC		SC	MA	BA	PE

Fonte: da Autora, Dados: IBAMA, 2020.

