

**Mapeamento de áreas de risco de contaminação por agrotóxicos: um estudo de caso no estado do Rio de Janeiro, Brasil**

**Luan Carlos Octaviano Ferreira Leite**

Mestrando em Ambiente Construído, UFJF, Brasil  
luan.octaviano@engenharia.ufjf.br

**Jonathas Batista Gonçalves Silva**

Professor Doutor, UFJF, Brasil.  
jonathas.silva@ufjf.edu.br

**Renata de Oliveira Pereira**

Professora Doutora, UFJF, Brasil  
renata.pereira@ufjf.edu.br

## RESUMO

Os agrotóxicos são substâncias sabidamente necessárias para a manutenção das práticas agrícolas contemporâneas, voltadas à garantia da segurança alimentar da crescente população mundial. Todavia, existem diversos impactos negativos atrelado ao uso desordenado de tais substâncias. Desta forma, se fazem necessárias tecnologias capazes de auxiliar o planejamento e a gestão dos riscos relacionados aos agrotóxicos, facilitando a tomada de decisão e a alocação de recursos. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi indicar as principais culturas agrícolas utilizadas e realizar o mapeamento dos municípios de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos no estado do Rio de Janeiro. Foram utilizados dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática e do Censo Agropecuário 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A metodologia aplicada envolveu a definição de indicadores e a sobreposição de planos de informação em Sistema de Informação Geográfica. Cana-de-açúcar, banana e mandioca se destacaram como culturas mais expressivas no cenário agrícola do estado. Foram verificados municípios com risco de contaminação nas regiões serrana, sul, metropolitana, norte e noroeste do estado. A banana é a cultura com mais municípios de risco. O método empregado se mostrou eficaz na identificação das culturas de maior representatividade e no mapeamento dos municípios de risco no estado. Os resultados podem ser utilizados como subsídio para a gestão mais eficiente dos riscos associados ao uso de agrotóxicos em seu território.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão ambiental. Indicadores. Sistemas de Informação Geográfica.

## 1. INTRODUÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, os agrotóxicos químicos se tornaram a forma mais importante de manejo de pragas e doenças agrícolas. Como relatam Parween & Jan (2019) não se sabe claramente quando se iniciou a busca por métodos de proteção das plantações. Porém, é sabido que os primeiros métodos surgiram da própria natureza. A partir da observação dos efeitos negativos de compostos naturais contra insetos, chegou-se ao seu uso na vida cotidiana. Atualmente, tais substâncias tornaram-se um instrumento chave para a sustentação das práticas agrícolas e a garantia de grandes produções (Ying, 2018).

A produção de agrotóxicos está aumentando e seu consumo se tornou inevitável devido à urbanização e ao acelerado crescimento da população mundial (Dar *et al.*, 2019). Essa realidade não é diferente no Brasil. Dados do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) demonstram que o consumo de agrotóxicos no país tem aumentado, chegando a mais de 549 mil toneladas comercializadas em seu território no ano de 2018 (IBAMA, 2020). Da mesma forma, dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) mostram que quantidade de novas substâncias registradas no país cresceu, aumentando de 90 novos registros concedidos em 2005, para 139 em 2015, ano a partir do qual o número de registros cresceu em uma escala sem precedentes, atingindo 474 novos registros no ano de 2019 (MAPA, 2020).

Apesar dos benefícios sociais do uso dos agrotóxicos, efeitos adversos agudos e crônicos podem ser observados quando as substâncias entram em ecossistemas (Ying, 2018). Como efeitos ecológicos podem ser citados a morte de animais não-alvo; contaminação dos recursos naturais, em especial a água; e o declínio de florestas, comprometendo serviços ambientais a curto e longo prazo. Tais impactos podem acarretar prejuízos de ordem social, econômica e paisagística (Parween & Jan, 2019). Também devem ser considerados seus efeitos adversos à saúde humana. Estudos destacam relações entre o uso desordenado de agrotóxicos e o surgimento de problemas no sistema respiratório; irritações de pele e mucosas; problemas de ordem neurológica; desordens hormonais e reprodutivas; problemas imunológicos; doenças crônicas; danos no DNA e câncer (Bolognesi & Merlo, 2019; Dhananjayan & Ravichandran, 2018; García-García *et al.*, 2016; Ji *et al.*, 2020; Kim, Kabir, & Jahan, 2016; Lee & Choi 2020; Lopes & Albuquerque 2018; Moshou *et al.*, 2020; Sugeng *et al.*, 2013; Taiwo, 2019).

O desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas para previsão dos riscos potenciais dos agrotóxicos se faz necessário para a redução de seus efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente (Parween & Jan, 2019). Modelos baseados em ferramentas simples, até códigos numéricos quantitativos e análises estatísticas complexas têm sido aplicadas com neste sentido com diferentes finalidades, tais como: a triagem de produtos, regulamentação, avaliação e gerenciamento dos riscos de contaminação e exposição. Este tipo de análise pode ser considerada complexa, visto que envolve a definição de uma questão específica a ser respondida e a obtenção de informações de diferentes fontes que permitam a elucidação do fenômeno a ser avaliado (Hutson & Correll, 2018). Apesar disso, segundo Solomon (2010), as avaliações de risco para agrotóxicos desempenham um papel crucial no planejamento estratégico, auxiliando a sociedade na definição de prioridades.

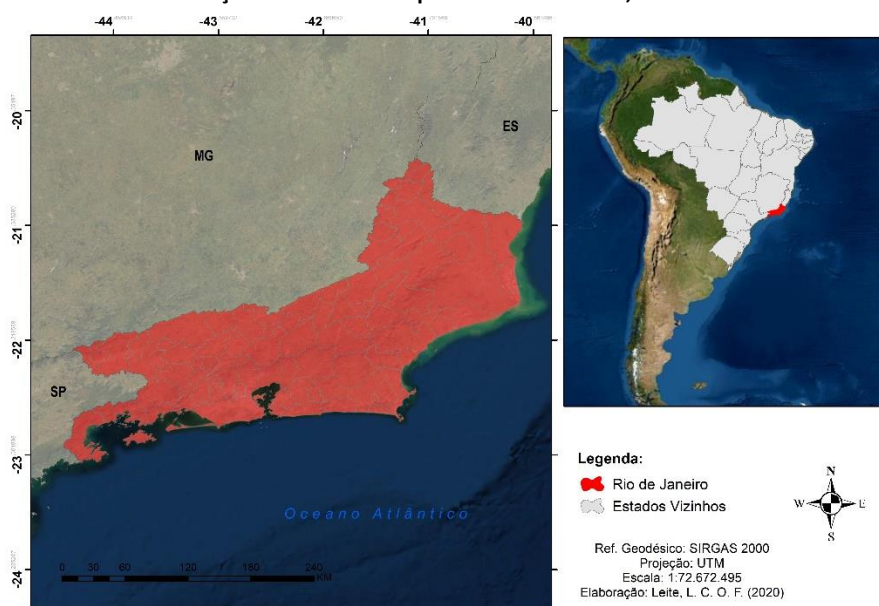
O monitoramento contínuo dos riscos ambientais e sanitários dos agrotóxicos é altamente desejável, porém, é impraticável amostrar todas as situações possíveis (Hutson & Correll, 2018). Desta forma, o presente estudo tem por objetivo indicar as principais culturas agrícolas e realizar o mapeamento dos municípios de maior risco de contaminação ambiental por agrotóxicos no estado do Rio de Janeiro, contribuindo, para uma gestão eficaz dos riscos e dos recursos disponíveis na identificação e mitigação das contaminações por agrotóxicos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio de Janeiro (Figura 1) é uma das unidades federativas do Brasil, localizado na região sudeste do país. Seu território possui aproximadamente 43.750,427 km<sup>2</sup>, fazendo divisa com os estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e com o Oceano Atlântico. No último censo, realizado em 2010, sua população era de 15.989.929 habitantes, sendo estimada para 17.366.189 no ano de 2020. Com uma densidade demográfica de 365,23 hab/km<sup>2</sup>, é o terceiro estado mais populoso do Brasil. Seu clima é classificado como tropical atlântico, com verão quente e úmido e, inverno frio e seco (IBGE, 2020).

Figura 1: Carta de localização do estado do Espírito Santo no Brasil, continente da América do Sul.



Fonte: Autores, 2020.

A agricultura tem pouca participação no desempenho econômico do estado. Nos anos de 2015 e 2016, o setor agrícola foi responsável por apenas 0,6 % de seu Produto Interno Bruto (PIB) (CEPERJ, 2018). Como relata Egger (2010), a agricultura do estado é representada, em sua maioria, por pequenos estabelecimentos agrícolas com área menor que 10 ha, voltadas à produção familiar e de subsistência.

Dados do Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (Ministério da Saúde, 2018), demonstram que o Rio de Janeiro foi o estado com maior taxa de comercialização de agrotóxicos e afins por área plantada no Brasil no ano de 2014 (66 kg/ha). Tendo em vista sua agricultura de base familiar, esse fato pode ser preocupante. Segundo Abreu & Alonzo (2016), produtores familiares tendem a estar mais expostos aos efeitos adversos do uso dos agrotóxicos devido à ausência, em muitos casos, de estrutura adequada para seu manejo, de treinamento e do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's). Desta forma, se fazem necessária medidas que facilitem a gestão destes riscos.

## **2.2. DEFINIÇÃO DOS INDICADORES**

O método empregado no presente trabalho foi desenvolvido por Leite *et al.* (2020). Em sua essência, consiste na definição de indicadores capazes de auxiliar na definição do risco de contaminação ambiental por agrotóxicos dos municípios de um estado. Nas seções seguintes são descritos os procedimentos utilizados para a aplicação do método.

## **2.3. LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

A base de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi consultada para a obtenção de informações sobre a produção agrícola no estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2020b). Utilizaram-se dados das extensões de área plantada (ha) com culturas agrícolas entre os anos de 2009 e 2019, e a produção em toneladas (ton) das mesmas. Calculou-se a área plantada total (ha) de cada cultura através do somatório de seus totais anuais e foi estabelecido o percentil 90 % como um valor acima do qual encontram-se as culturas mais representativas no cenário agrícola do estado. As culturas com área plantada total maior que o percentil 90 % foram selecionadas como culturas prioritárias para a análise.

## **2.4. ANÁLISE ESPACIAL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

Os valores de área plantada total das culturas agrícolas mais significativas no estado foram espacializados por meio do *software* ArcGis versão 10.2.1, para a construção do indicador "Área plantada". Uma malha digital, no formato *shapefile*, com os limites político-administrativos do estado, disponibilizada pelo IBGE (2015), foi utilizada como base. Esse procedimento possibilitou uma análise da distribuição espacial das extensões de terra plantada com as culturas selecionadas entre os municípios do estado, tornando visível a concentração de maiores plantios em determinadas regiões.

## **2.5. DEMAIS INDICADORES**

Através do arquivo vetorial do Censo Agropecuário do IBGE (2019), foram obtidas as informações necessárias para a construção dos demais indicadores de risco de contaminação por agrotóxicos. Os indicadores selecionados do censo foram: "V- 34. Utilização de agrotóxicos";

"V-35. Despesa com agrotóxicos"; "V-16. Uso da terra por lavouras" e "V-1. Número de propriedades rurais". No Quadro 1 há uma descrição dos indicadores utilizados, com suas respectivas fontes e significados.

**Quadro 1: Indicadores utilizados no estudo com seus respectivos significados e fontes.**

Indicador	Significado	Fonte
Área plantada	Somatório da área plantada (ha) anualmente com cada cultura entre 2009 e 2019 em cada município.	Sistema SIDRA – Produção Agrícola Municipal (PAM) - IBGE (2020B)
Utilização de agrotóxicos	Percentual de estabelecimentos agropecuários com declaração de uso de agrotóxicos em relação ao total de estabelecimentos agropecuários no município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Despesa com agrotóxicos	Participação da despesa com agrotóxicos na despesa total do estabelecimento agropecuário, por município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Uso da terra para lavoura	Percentual da área do município coberta por lavouras em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).
Estabelecimentos agropecuário	Total de estabelecimentos agropecuários, por município em 2017.	Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2019).

Fonte: Autores, baseados em IBGE (2019, 2020).

## 2.6. CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

De posse dos dados vetoriais gerados na análise espacial da produção agrícola e dos indicadores extraídos do Censo Rural, construiu-se a base de dados utilizada para a análise final. Cada indicador selecionado no Censo Agropecuário foi individualizado em um arquivo *shapefile*, com exceção do indicador “Área Plantada” que já foi especializado em um *shapefile* separado. Os arquivos vetoriais posteriormente foram convertidos para o formato *raster*. Os arquivos *raster* passaram por uma classificação em intervalos iguais, dividindo os valores de cada indicador em 5 classes, dos menores aos maiores valores, que receberam valores de 1 a 5 conforme o risco que representam. As classes dos menores valores de cada indicador receberam valor 1, como sendo de um risco muito baixo, aumentando gradativamente até as classes dos valores maiores, que receberam valor 5, como sendo um risco muito alto. Uma vez classificados, os arquivos *raster* passaram a representar os planos de informação utilizados no processo de sobreposição ponderada.

## 2.7. SOBREPOSIÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO

Nesta etapa foi utilizada a ferramenta *Weighted Overlay do ArcGis*, que realiza uma média ponderada entre os valores dos pixels de planos de informação sobrepostos. Para a utilização dessa ferramenta, foi necessário definir o peso adequado para cada uma das variáveis envolvidas no processo. Para isso, foi empregado o método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, que faz uma comparação pareada entre as variáveis que determinam o fenômeno estudado e, através da atribuição de graus de igualdade ou de preferência entre as variáveis, são gerados os pesos mais adequados para cada plano de informação (Estoque, 2012). Este procedimento foi realizado com a extensão AHP do ArcGis. No quadro 2 estão os pesos obtidos para cada plano de informação.

**Quadro 2: Pesos atribuídos aos planos de informação dos indicadores através do método AHP.**

Plano de Informação	Peso definido pelo método AHP
Área plantada	43,026
Utilização de agrotóxicos	29,640
Despesas com agrotóxicos	17,247
Uso da terra para lavoura	5,484
Estabelecimentos agropecuários	4,603

Fonte: Autores.

Os planos de informação “Área Plantada” de cada uma das culturas prioritárias foram sobrepostos individualmente com os planos dos demais indicadores. Os resultados do processo de sobreposição foram mapas classificados indicando os municípios de maior e menor risco de contaminação por agrotóxicos, baseados em cada uma das culturas específicas.

## 2.8. MAPA SÍNTESE

Os resultados obtidos individualmente para cada uma das culturas foram sintetizados em um único mapa. O objetivo deste mapa é indicar aqueles municípios onde existe maior ou menor risco de contaminação ambiental por agrotóxicos considerando as principais culturas agrícolas do estado de forma conjunta. Neste procedimento foi utilizada a ferramenta *Weighted Sum*, que realiza uma soma dos valores atribuídos aos pixels dos planos de informação sobrepostos. Foi definido peso 1 para todos os resultados de todas as culturas, de forma que nenhuma interfira mais que as outras no resultado final.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS CULTURAS DE RISCO

Entre os anos de 2009 e 2019, foram cultivadas no estado do Rio de Janeiro um total de 29 culturas agrícolas, conforme os dados do sistema SIDRA. Destas culturas, 19 são consideradas cultivos permanentes e 10 cultivos temporários. Considerando o percentil de 90 % dos totais de área plantada com cada cultura no estado, cana-de-açúcar, banana e mandioca se destacam, sendo selecionadas como prioritárias. A cana-de-açúcar é a cultura com mais área plantada durante o período estudado, um total de 989.857 ha (57 % do total de área plantada com culturas agrícolas no período analisado), valor mais de 4 vezes superior ao da banana, segunda colocada com 205.961 ha plantados (11 % do total estadual). A mandioca, por sua vez, ocupa a 3ª colocação, com 143.969 ha (8 % do total estadual).

### 3.2. MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Conforme o mapeamento das áreas de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos foi verificado, nos mapas individuais das culturas prioritárias, a ocorrência de apenas duas classes de risco, com valores 1 e 2, não ocorrendo áreas com valor 3, 4 ou 5. Afim de manter clara a importância das boas práticas no manejo de agrotóxicos, os resultados foram classificados entre áreas de menor risco (municípios de valor 1) e áreas de maior risco (municípios de valor 2).

Em análise onde foi aplicada o mesmo método para o estado do Espírito Santo (Leite *et al.*, 2020), os autores verificaram a ocorrência de municípios com valor 1, 2 e 3, não havendo municípios de valor 4 e 5. Este fato, pode estar relacionado ao fato do estado do Espírito Santo possuir maior vocação agrícola que o Rio de Janeiro. Dados sobre a produção agrícola brasileira

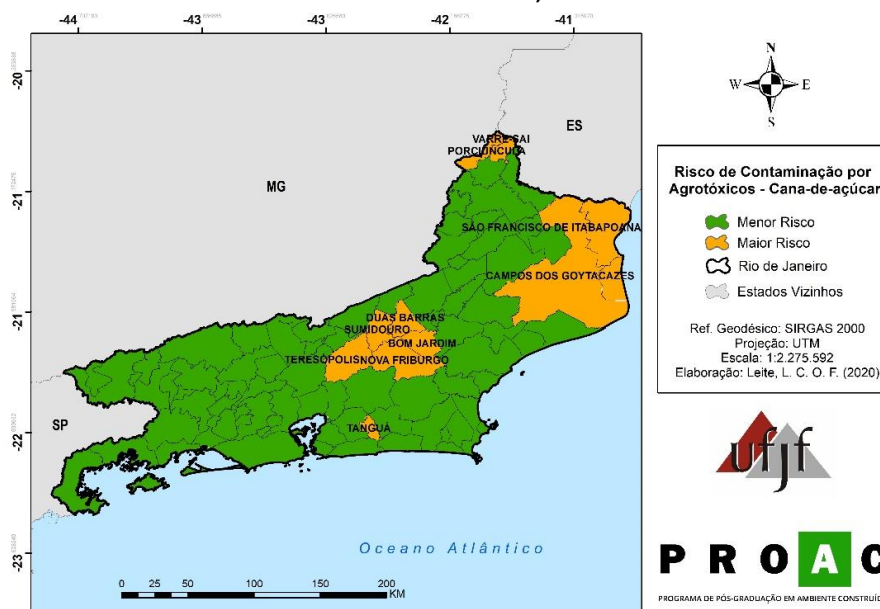


(IBGE, 2020b), corroboram com esta afirmação. Entre 2010 e 2019, o estado do Rio de Janeiro produziu 49.367.079 ton de produtos agrícolas com um total de 1.591.058 ha plantados, sendo o 18º maior estado brasileiro em termos de produção e o 21º em área plantada. Por sua vez, o estado do Espírito Santo, no mesmo período, ocupou a 15º maior produção agrícola do Brasil e a 17º maior extensão de área plantada, com 63.573.643 ton produzidas e 6.384.861 ha plantados, valor mais que 4 vezes superior ao do Rio de Janeiro.

### 3.2.1. CANA-DE-AÇÚCAR

Para a cultura da cana-de-açúcar, 11 municípios apresentam um maior risco de contaminação por agrotóxicos, são eles: Bom Jardim, Campos dos Goytacazes, Duas Barras, Nova Friburgo, Porciúncula, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Sumidouro, Tanguá, Teresópolis e Varre Sai (Figura 2). Juntos, os municípios citados representam aproximadamente 21 % do território do estado. Todos os demais municípios apresentam menor risco.

**Figura 2: Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro, Brasil.**



Fonte: Autores, 2020.

Considerando o indicador Área Plantada para a cana-de-açúcar, em ordem decrescente, os municípios de maior risco podem ser classificados da seguinte forma: 1º - Campos dos Goytacazes (538.149 ha), 2º - São Francisco de Itabapoana (199.855 ha), 3º - São João da Barra (14.704 ha), 4º - Duas Barras (945 ha), 5º - Sumidouro (365 ha), 6º - Varre Sai (300 ha), 7º - Tanguá (145 ha), 8º - Bom Jardim (130 ha) e, Nova Friburgo, Porciúncula e Teresópolis, que não possuem áreas plantadas com a cultura.

Ao analisar os municípios de maior risco entre os demais, através do indicador Uso de Agrotóxicos, verificamos a seguinte ordenação quanto à porcentagem de estabelecimentos que declaram fazer uso de agrotóxicos: 1º - Sumidouro (83 %), 2º - Nova Friburgo (73 %), 3º - Teresópolis (69 %), 4º - Bom Jardim (59 %), 5º - Porciúncula (58 %), 6º - Tanguá (53 %), 7º - Varre Sai (52 %), 8º - São João da Barra (50 %), 9º - São Francisco de Itabapoana (41 %), 10º - Duas Barras (32 %) e 11º - Campos dos Goytacazes (10 %).

Quanto à porcentagem da participação das despesas com agrotóxicos nas despesas totais dos estabelecimentos agropecuários segundo o indicador Despesas com Agrotóxicos, temos a seguinte ordem: 1° - Sumidouro (14 %), 2° - Bom Jardim (13 %), 3° - Nova Friburgo (12 %), 4° - São João da Barra (7 %), 5° - São Francisco de Itabapoana (7 %), 6° - Tanguá (5 %), 7° - Porciúncula (5 %), 8° - Teresópolis (4 %), 9° - Varre Sai (4 %), 10° - Duas Barras (4 %) e 11° - Campos dos Goytacazes (2 %).

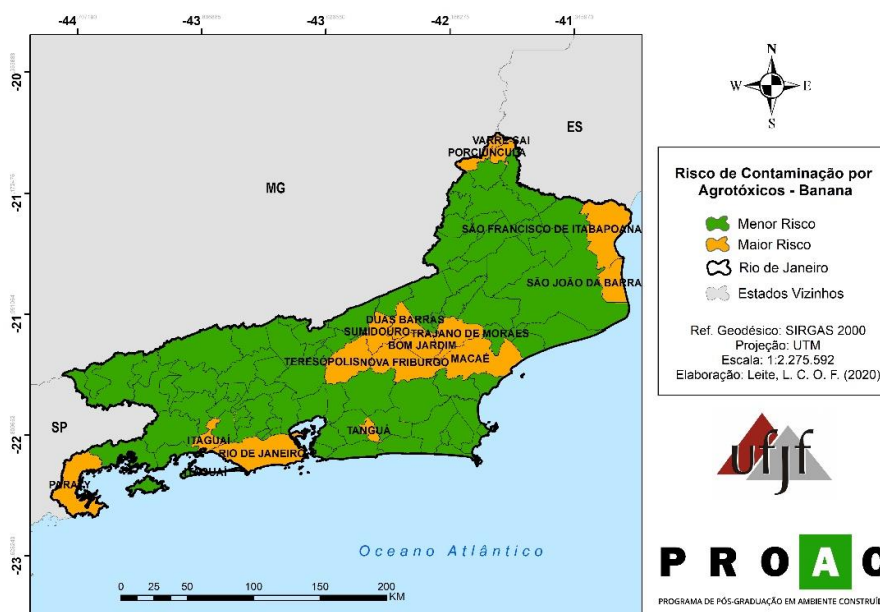
Para o indicador Uso da Terra para Lavouras, temos a seguinte ordem: 1° - São Francisco de Itabapoana (34 %), 2° - São João da Barra (28 %), 3° - Nova Friburgo (27 %), 4° - Sumidouro (27 %), 5° Varre Sai (26 %), 6° - Teresópolis (26 %), 7° - Bom Jardim (20 %), 8° - Tanguá (17 %), 9° - Porciúncula (17 %), 10° - Campos dos Goytacazes (14 %) e 11° - Duas Barras (11 %).

Quanto ao indicador Número de Estabelecimentos Agropecuários, a ordem dos municípios de maior risco entre os demais municípios do estado é: 1° - Campos dos Goytacazes, 2° - São Francisco de Itabapoana (3.683); 3° - Teresópolis (3.492), 4° - Sumidouro (2.674), 5° - Nova Friburgo (2.057), 6° - Porciúncula (1.091), 7° - Bom Jardim (1.006), 8° - São João da Barra (692), 9° - Varre Sai (676), 10° - Duas Barras (570) e 11° - Tanguá (441).

### 3.2.2. BANANA

A cultura da banana é aquela com mais municípios considerados de maior risco de contaminação por agrotóxicos, um total de 15, são eles: Bom Jardim, Duas Barras, Itaguaí, Macaé, Nova Friburgo, Paraty, Porciúncula, Rio de Janeiro, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Sumidouro, Tanguá, Teresópolis, Trajano de Moraes e Varre Sai (Figura 3). Juntos, tais municípios representam 21 % da área do estado. Os 74 municípios restantes apresentam menor risco de contaminação.

**Figura 3: Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura da banana no estado do Rio de Janeiro, Brasil.**



Fonte: Autores, 2020.

Considerando o indicador Área Plantada para a banana, em ordem decrescente, os municípios de maior risco podem ser classificados da seguinte forma: 1° - Itaguaí (24.660 ha), 2°



- Paraty (17.260 ha), 3° - Macaé (15.673 ha), 4° - Trajano de Moraes (9.585 ha), 5° - Rio de Janeiro (5.542 ha), 6° - Sumidouro (2.453 ha), 7° - Duas Barras (1.789 ha), 8° - Nova Friburgo (1.484 ha), 9° - Bom Jardim (1.389 ha), 10° - Tanguá (351 ha), 11° - São Francisco de Itabapoana (335 ha), 12° - Varre Sai (62 ha), 13° - São João da Barra (56 ha), 14° - Teresópolis (54 ha) e 15° - Porciúncula (0 ha).

Ao analisar os municípios de maior risco entre os demais, através do indicador Uso de Agrotóxicos, verificamos a seguinte ordenação quanto à porcentagem de estabelecimentos que declaram fazer uso de agrotóxicos: 1° - Sumidouro (83 %), 2° - Nova Friburgo (73 %), 3° - Teresópolis (69 %), 4° - Bom Jardim (59 %), 5° - Porciúncula (58 %), 6° - Tanguá (53 %), 7° - Varre Sai (52 %), 8° - São João da Barra (50 %), 9° - São Francisco de Itabapoana (41 %), 10° - Duas Barras (32 %), 11° - Trajano de Moraes (28 %), 12° - Rio de Janeiro (19 %), 13° - Itaguaí (14 %), 14° - Macaé (9 %) e 15° - Paraty (5 %).

Quanto à porcentagem da participação das despesas com agrotóxicos nas despesas totais dos estabelecimentos agropecuários segundo o indicador Despesas com Agrotóxicos, temos a seguinte ordem: 1° - Sumidouro (14 %), 2° - Bom Jardim (13 %), 3° - Nova Friburgo (12 %), 4° - São João da Barra (7 %), 5° - São Francisco de Itabapoana (7 %), 6° - Trajano de Moraes (6 %), 7° - Tanguá (5 %), 8° - Porciúncula (5 %), 9° - Teresópolis (4 %), 10° - Varre Sai (4 %), 11° - Duas Barras (4 %), 12° - Macaé (1 %), 13° - Itaguaí (1 %), 14° - Rio de Janeiro (1 %) e 15° - Paraty (0 %).

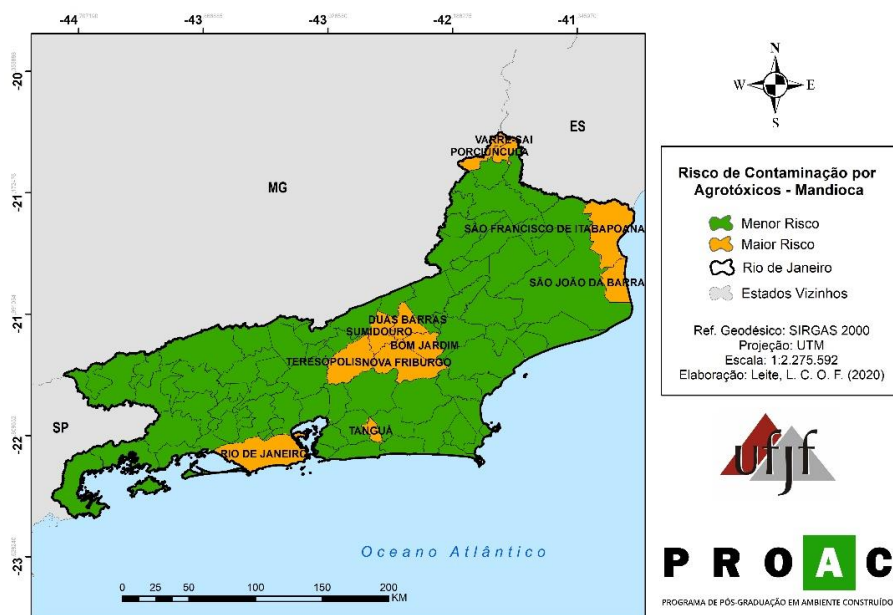
Para o indicador Uso da Terra para Lavouras, temos a seguinte ordem: 1° - Rio de Janeiro (42%), 2° - São Francisco de Itabapoana (32 %), 3° - São João da Barra (28 %), 4° - Itaguaí (28 %), 5° - Nova Friburgo (27 %), 6° - Sumidouro (27 %), 7° - Varre Sai (26 %), 8° - Teresópolis (26 %), 9° - Bom Jardim (20 %), 10° - Tanguá (17 %), 11° - Porciúncula (17 %), 12° - Duas Barras (11 %), 13° - Trajano de Moraes (10 %), 14° - Paraty (5 %) e 15° - Macaé (5 %).

Quanto ao indicador Número de Estabelecimentos Agropecuários, a ordem dos municípios de maior risco foi: 1° - São Francisco de Itabapoana (3.693), 2° - Teresópolis (3.492), 3° - Sumidouro (2.674), 4° - Nova Friburgo (2.057), 5° - Trajano de Moraes (1.101), 6° - Rio de Janeiro (1.101), 7° - Porciúncula (1.091), 8° - Bom Jardim (1.006), 9° - Macaé (886), 10° - São João da Barra (692), 11° - Varre Sai (676), 12° - Paraty (601), 13° - Duas Barras (570), 14° - Tanguá (441) e 15° - Itaguaí (434).

### **3.2.3. MANDIOCA**

Para a cultura da mandioca, 11 municípios apresentam maior risco de contaminação, são eles: Bom Jardim, Duas Barras, Nova Friburgo, Porciúncula, Rio de Janeiro, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Sumidouro, Tanguá, Teresópolis e Varre Sai (Figura 4). Juntos, tais municípios representam 14 % da área total do estado. Todos os 78 municípios restantes apresentam menor risco.

**Figura 4: Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura da mandioca no estado do Rio de Janeiro, Brasil.**



Fonte: Autores, 2020.

Considerando o indicador Área Plantada para a mandioca, em ordem decrescente, os municípios de maior risco podem ser classificados da seguinte: 1° - São Francisco de Itabapoana (53.920 ha), 2° - Rio de Janeiro (14.425 ha), 3° - Tanguá (2.555 ha), 4° - Sumidouro (1.397 ha), 5° - Duas Barras (1.355 ha), 6° - São João da Barra (564 ha), 7° - Nova Friburgo (527 ha), 8° - Bom Jardim (513 ha), 9° - Teresópolis (145 ha), 10° - Varre Sai (1 ha) e 11° - Porciúncula (0 ha).

Ao analisar os municípios de maior risco através do indicador Uso de Agrotóxicos, verificamos a seguinte ordenação quanto à porcentagem de estabelecimentos que declaram fazer uso de agrotóxicos: 1° - Sumidouro (83 %), 2° - Nova Friburgo (73 %), 3° - Teresópolis (69 %), 4° - Bom Jardim (59 %), 5° - Porciúncula (58 %), 6° - Tanguá (53 %), 7° - Varre Sai (52 %), 8° - São João da Barra (50 %), 9° - São Francisco de Itabapoana (41 %), 10° - Duas Barras (32 %) e 11° - Rio de Janeiro (19 %).

Quanto à porcentagem da participação das despesas com agrotóxicos nas despesas totais dos estabelecimentos agropecuários segundo o indicador Despesas com Agrotóxicos, temos a seguinte ordem: 1° - Sumidouro (14 %), 2° - Bom Jardim (13 %), 3° - Nova Friburgo (12 %), 4° - São João da Barra (7 %), 5° - São Francisco de Itabapoana (7 %), 6° - Tanguá (5 %), 7° - Porciúncula (5 %), 8° - Teresópolis (4 %), 9° - Varre Sai (4 %), 10° - Duas Barras (4 %) e 11° - Rio de Janeiro (1 %).

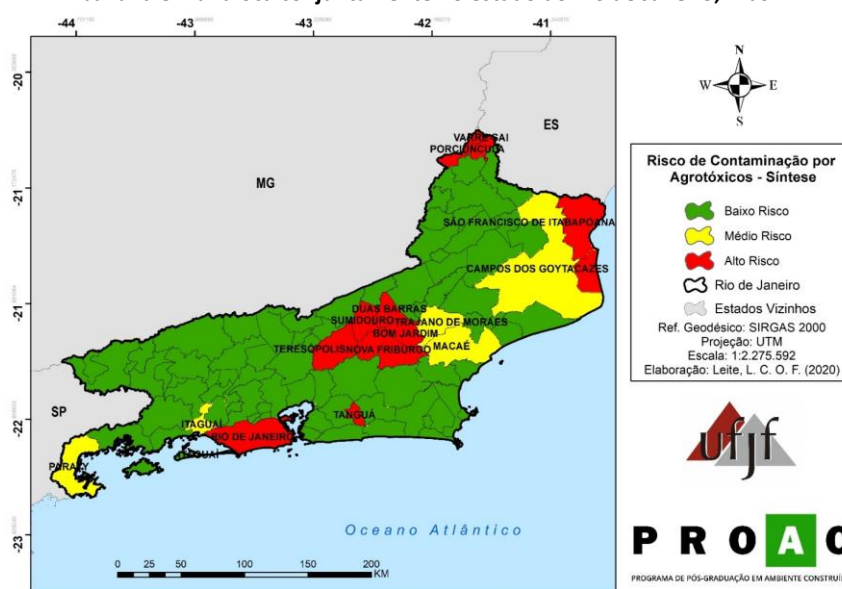
Para o indicador Uso da Terra para Lavouras, temos a seguinte ordem: 1° - Rio de Janeiro (42 %), 2° - São Francisco de Itabapoana (34 %), 3° - São João da Barra (28 %), 4° - Nova Friburgo (27 %), 5° - Sumidouro (27 %), 6° - Varre Sai (26 %), 7° - Teresópolis (26 %), 8° - Bom Jardim (20 %), 9° - Tanguá (17 %), 10° - Porciúncula (17 %) e 11° - Duas Barras (11 %).

Quanto ao indicador Número de Estabelecimentos Agropecuários, a ordem dos municípios de maior risco entre os demais municípios do estado é: 1° - São Francisco de Itabapoana (3.693), 2° - Teresópolis (3.492), 3° - Sumidouro (2.674), 4° - Nova Friburgo (2.057), 5° - Rio de Janeiro (1.101), 6° - Porciúncula (1.091), 7° - Bom Jardim (1.006), 8° - São João da Barra (692), 9° - Varre Sai (676), 10° - Duas Barras (570) e 11° - Tanguá (441).

### 3.2.4. MAPA SÍNTESE

Analisando todas as culturas de forma conjunta, foram verificadas três categorias de risco de contaminação, classificadas como baixo, médio e alto risco (Figura 5). A classe de alto risco abrange 11 municípios, são eles: Bom Jardim, Duas Barras, Nova Friburgo, Porciúncula, Rio de Janeiro, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Sumidouro, Tanguá, Teresópolis e Varre Sai. A classe de médio risco abrange 5 municípios: Campos dos Goytacazes, Itaguaí, Macaé, Paraty e Trajano de Moraes. Os 76 municípios restantes apresentam baixo risco de contaminação. Apesar de haverem mais municípios inseridos na classe de alto risco que na classe médio risco, se somados, estes municípios representam 14 % do território do estado. Por sua vez, os municípios de médio risco representam aproximadamente 16 %.

**Figura 5: Mapa de risco de contaminação ambiental por agrotóxicos associados a cultura cana-de-açúcar, banana e mandioca conjuntamente no estado do Rio de Janeiro, Brasil.**



Fonte: Autores, 2020.

Quanto aos municípios inseridos na classe de alto risco, é possível observar uma concentração na região serrana do estado, apesar da existência de municípios em outras regiões como norte, noroeste e metropolitana. A região sul fluminense, por sua vez, não apresenta nenhum município de alto risco. Para os municípios de médio risco ocorre uma distribuição mais uniforme. A região norte abrange 2 municípios enquanto a região metropolitana, o centro e o sul fluminense abrangem apenas 1 cada.

Considerando as áreas de alto risco, o indicador Área Plantada contribuiu para o resultado apenas em alguns municípios. É o caso de São Francisco de Itabapoana e São João da Barra, 2º e 7º maiores municípios em termos de área plantada com cana-de-açúcar. A cultura da banana não interferiu diretamente nos resultados, estando todos os municípios abaixo dos 10 principais. Para a cultura da mandioca, São Francisco de Itabapoana se destaca como maior município em termos de área plantada, seguido pela capital Rio de Janeiro.

Na classe de médio risco, o indicador Área Plantada também contribuiu para o resultado de alguns municípios. A cultura da banana possui, entre os 6 líderes estaduais em área plantada, 4 dos 5 municípios inseridos na classe. Para a cana-de-açúcar, apenas o município de Campo dos Goytacazes se destaca, sendo o líder estadual em área plantada com a cultura,

estando todos os demais abaixo do 24º município. Na cultura da mandioca, Campos dos Goytacazes ocupa a 4º colocação, estando os demais municípios abaixo dos 15º colocado.

O indicador Uso de Agrotóxico se mostrou diretamente relacionado ao resultado observado nos municípios de alto risco. Sumidouro, Nova Friburgo, Teresópolis, Bom Jardim, Porciúncula, Tanguá, Varre Sai e São João da Barra são os 8 municípios do estado com mais propriedades que declararam ter utilizado agrotóxicos. Para os municípios de médio risco, este indicador teve uma menor importância. Todos os 5 municípios da classe estão abaixo da 17º colocação no cenário estadual.

Da mesma forma, o indicador Despesas com Agrotóxicos teve grande importância para o resultado dos municípios de alto risco. Dos 11 municípios inseridos nesta classe, 11 estão entre os 14 municípios onde mais se gasta com agrotóxicos. É o caso de Sumidouro, Bom Jardim, Nova Friburgo, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Tanguá, Porciúncula, Teresópolis, Varre Sai e Duas Barras. Apenas a capital Rio de Janeiro parece não ter sido afetada pelo indicador, ocupando a 48º colocação. Para os municípios da classe de médio risco este indicador apresentou menor influência. Apenas Trajano de Moraes se destaca, sendo o 8º principal no estado. Todos os demais municípios da classe estão abaixo da 23º posição.

O indicador Uso da Terra para Lavouras também se mostrou importante para os resultados obtidos. Dos 11 municípios enquadrados na classe de alto risco, 10 estão situados entre os 17 principais do estado. Apenas o município de Duas Barras se excetua, ocupando a 26º colocação. Entre os municípios classificados como de médio risco, Itaguaí se destaca, ocupando a 6º posição no cenário estadual. Todos os demais municípios encontram-se abaixo do 20º colocado.

Para o indicador Número de Estabelecimentos Agropecuários, nota-se uma menor influência no resultado dos municípios de alto risco. Apenas 4 dos 11 municípios inclusos nessa classe estão entre os 6 municípios do estado com mais propriedades rurais, são eles: São Francisco de Itabapoana, Teresópolis, Sumidouro e Nova Friburgo. Todos os demais municípios situam-se abaixo do 13º colocado. Para os municípios de médio risco, essa influência é menor ainda. Apenas o município de Campos dos Goytacazes se destaca na 1º colocação como município do estado com mais estabelecimentos agropecuários. Os demais municípios encontram-se abaixo da 12º colocação.

#### **4. CONCLUSÕES**

O método empregado se mostrou eficaz para a identificação das culturas mais significativas e para o mapeamento das áreas de risco de contaminação por agrotóxicos no estado do Rio de Janeiro. Cana-de-açúcar, banana e mandioca são as culturas de maior representatividade no cenário agrícola estadual.

Foi verificada a concentração de municípios de risco, principalmente, nas regiões serrana, metropolitana, norte e noroeste do estado. Este resultado está atrelado ao alto número de propriedades rurais que declaram ter feito uso de agrotóxicos, a alta participação destas substâncias nas despesas das propriedades, o alto de índice de utilização de terras para lavoura nestes municípios e, em alguns casos, o destaque na produção das culturas identificadas como prioritárias.

Os resultados do presente estudo podem ser incorporados no processo de tomada de decisão para a criação de uma legislação a nível estadual que busque evitar a contaminação ambiental e humana com agrotóxicos. Recomenda-se a realização de futuros estudos que

indiquem os agrotóxicos prioritários empregados nos municípios, considerando sua dinâmica ambiental e toxicidade auxiliar a adequada compreensão e a previsão dos riscos associados a tais compostos.

## 5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Juiz de Fora por possibilitar a realização do presente trabalho através da concessão de bolsa de estudo. Ao PROAC pelo auxílio na participação do evento. Ao MICROS – Grupo de Pesquisa em Microcontaminantes Ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, P. H. B.; Alonzo, H. G. A. (2016). O agricultor familiar e o uso (in)seguro de agrotóxicos no município de Lavras/MG. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, 41(0), 1–12. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000130015>

Bolognesi, C.; Merlo, F. D. (2019). Pesticides: Human health effects. In: **Encyclopedia of Environmental Health** (2nd ed., Issue March). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11818-4>

CEPERJ. (2018). **Produto Interno Bruto - PIB do estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: <[http://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz\\_ceperj\\_imagens/Arquivos\\_Ceperj/ceep/dados-economicos/PIB-Estadual-Municipal/Analises/Produto\\_Interno\\_Brunto\\_do\\_Estado\\_do\\_Rio\\_de\\_Janeiro\\_2016.pdf](http://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz_ceperj_imagens/Arquivos_Ceperj/ceep/dados-economicos/PIB-Estadual-Municipal/Analises/Produto_Interno_Brunto_do_Estado_do_Rio_de_Janeiro_2016.pdf)>. Acesso em 14 out. 2020.

Dar, M. A., Kaushik, G.; Villareal Chiu, J. F. (2019). Pollution status and biodegradation of organophosphate pesticides in the environment. In: **Abatement of Environmental Pollutants: Trends and Strategies**. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00002-3>

Dhananjayan, V.; Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, 4, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.005>

Egger, D. (2010). Transformações sócio-espaciais no meio rural Fluminense: continuidades e rupturas. **Revista de Geografia**, 27(jan/abr), 27–44.

Estoque, R. (2012). Analytic Hierarchy Process in Geospatial Analysis. In: **Progress in Geospatial Analysis** (pp. 157–181). [https://doi.org/10.1007/978-4-431-54000-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-4-431-54000-7_11)

García-García, C. R.; Parrón, T.; Requena, M.; Alarcón, R.; Tsatsakis, A. M.; Hernández, A. F. (2016). Occupational pesticide exposure and adverse health effects at the clinical, hematological and biochemical level. **Life Sciences**, 145, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.10.013>

Hutson, J.; Correll, R. (2018). Easy to Use Pesticide Fate/Effects Models and Statistical Tools. In: **Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management**. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816155-5.00012-9>

IBAMA. (2020). **Relatórios de Comercialização de Agrotóxicos**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#sobreosrelatorios>>. Acesso em: 14 de out. 2020.

IBGE. (2015). **Bases e Referências**. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 14 out. 2020.

IBGE. (2019). **Censo agropecuário: resultados definitivos 2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em: 14 out. 2020.

IBGE. (2020a). **Rio de Janeiro**. Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>>. Acesso em: 14 out. 2020.

IBGE. (2020b). **Produção Agrícola Municipal**. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>>. Acesso em: 14 out. 2020.

Ji, C.; Song, Q.; Chen, Y.; Zhou, Z.; Wang, P.; Liu, J.; Sun, Z.; Zhao, M. (2020). The potential endocrine disruption of pesticide transformation products (TPs): The blind spot of pesticide risk assessment. **Environment International**, 137(September 2019), 105490. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105490>

Kim, K. H.; Kabir, E.; Jahan, S. A. (2016). Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of**

the **Total Environment**, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>

Lee, G. H.; Choi, K. C. (2020). Adverse effects of pesticides on the functions of immune system. **Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology**, 235(January), 108789. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108789>

Leite, L. C. O. F., Pereira, R. D. O.; Silva, J. B. G. (2020). Mapeamento de áreas de risco de contaminação por agrotóxicos: um estudo de caso no estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 8(60), 87. <https://doi.org/10.17271/2318847286020202423>

Lopes, C. V. A.; Albuquerque, G. S. C. (2018). Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Em Debate**, 42(117), 518–534. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>

MAPA. (2020). **Portal de Dados Abertos Sobre Agrotóxicos**. Disponível em: <[https://dados.contraosagrototoxicos.org/fa\\_IR/organization/mapa](https://dados.contraosagrototoxicos.org/fa_IR/organization/mapa)>. Acesso em: 14 out. 2020.

Ministério da Saúde. (2018). **Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos**. Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/agrototoxicos\\_otica\\_sistema\\_unico\\_saude\\_v1\\_t.1.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/agrototoxicos_otica_sistema_unico_saude_v1_t.1.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2020.

Moshou, H.; Karakitsou, A.; Yfanti, F.; Hela, D.; Vlastos, D.; Paschalidou, A. K.; Kassomenos, P.; Petrou, I. (2020). Assessment of genetic effects and pesticide exposure of farmers in NW Greece. **Environmental Research**, 186(May 2019), 109558. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109558>

Parween, T.; Jan, S. (2019). Pesticides and environmental ecology. In: **Ecophysiology of Pesticides**. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817614-6.00001-9>

Solomon, K. R. (2010). Ecotoxicological Risk Assessment of Pesticides in the Environment. In: **Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology: Volume 2** (Third Edition). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374367-1.00056-2>

Sugeng, A. J.; Beamer, P. I.; Lutz, E. A.; Rosales, C. B. (2013). Hazard-ranking of agricultural pesticides for chronic health effects in Yuma County, Arizona. **Science of the Total Environment**, 463–464, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.051>

Taiwo, A. M. (2019). A review of environmental and health effects of organochlorine pesticide residues in Africa. **Chemosphere**, 220, 1126–1140. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.001>

Ying, G.-G. (2018). Ecological Risk Assessment of Pesticides Used in Agriculture. In: **Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management**. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816155-5.00005-1>