

Sistema *Fuzzy* Como Ferramenta Auxiliadora na Predição de Malformações Fetais Causadas por Agrotóxicos

Mayara da Silva Olivindo¹, João Victor da Costa¹, Rhyan Ximenes de Brito¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
CE-187, s/n - Estádio, – CEP 62320-000 – Tianguá – CE – Brasil

{mayaraolivindo21,victorcosta.ifce, rxbrito}@gmail.com

Abstract. *Some pesticides used in Brazil stand out for their potential causes of congenital anomaly in pregnancy. Due to this, the present work proposes the application of a fuzzy system as a tool of assistance in the prediction of fetal malformations caused by agrochemicals. The general objective is to perform simulations with pregnant patients using such a system and thereby identify the risk of their babies developing malformations. The methodology consists of bibliographical researches and the use of fuzzy logic through the MATLAB platform. The results indicated the feasibility of using fuzzy logic to perform this risk classification. Thus, the risk of pesticide use is evidenced, especially during gestation.*

Resumo. *Alguns agrotóxicos utilizados no Brasil destacam-se pelo seu potencial causador de anomalia congênita na gravidez. Devido a isso, o presente trabalho propõe a aplicação de um sistema fuzzy como ferramenta de auxílio na predição de malformações fetais causadas por agrotóxicos. O objetivo geral consiste em realizar simulações com pacientes grávidas utilizando tal sistema e por meio deste identificar o risco de seus bebês desenvolverem malformações. A metodologia consiste em pesquisas bibliográficas e no uso da lógica fuzzy através da plataforma MATLAB. Os resultados apontaram a viabilidade do uso da lógica fuzzy para realizar essa classificação de risco. Fica assim evidenciado o risco do consumo de agrotóxicos, principalmente durante a gestação.*

1. Introdução

O Brasil é uma das maiores potências do agronegócio mundial, sendo o maior produtor e exportador de alguns produtos agrícolas como açúcar, café e suco de laranja. Somente o agronegócio foi responsável por 21,6% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro em 2017 [Brasil 2019a].

Devido a isso Brasil é um dos países que mais fazem o uso de agrotóxicos. Segundo a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), em 2008 o Brasil foi considerado o maior consumidor mundial de agrotóxicos, tendo o consumo desses produtos praticamente dobrado entre 2007 e 2013. Houve também um crescimento da incidência de intoxicações por agrotóxicos [Dias et al. 2018] e [Brasil 2018].

A motivação deste trabalho está relacionada a carência de sistemas que fazem uso da lógica não tradicional, como a lógica *fuzzy*, para o auxílio na predição de malformações fetais causadas por agrotóxicos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é traçar um paralelo entre o uso de agrotóxicos e a probabilidade de casos de malformação fetal. A

metodologia utilizada foi embasada na construção de um sistema computacional baseado na lógica *fuzzy*, procurando-se prever o risco de um indivíduo intrauterino desenvolver uma malformação.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, na Seção 3 a fundamentação teórica. Na Seção 4 é apresentada a metodologia utilizada no trabalho, na Seção 5 os resultados e discussões e por fim as conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta uma revisão bibliográfica sobre a utilização da lógica *fuzzy* como instrumento auxiliador na busca por respostas a diferentes problemas pesquisados relacionados a agricultura. Dessa forma, é apresentado um resumo das abordagens descritas com suas principais características.

[Murguero Junior 2016] propõe o uso de lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais para desenvolver um sistema de controle autônomo para o monitoramento de abrigos de cultivos onde tal abrigo estaria repleto de sensores no qual seria possível analisar dados de temperatura, luminosidade e umidade. O sistema demonstrou robustez e respondeu conforme o esperado.

Já o trabalho de [Guerrero et al. 2017] no qual aplicavam a lógica *fuzzy* para analisar o potencial de contaminação de aquíferos na bacia do córrego do Gouveia no estado de São Paulo, inclusive no que se diz respeito a contaminação por agrotóxicos. A análise sistematizada pela lógica *fuzzy* mostrou-se eficiente para o estudo, de modo que graças aos resultados satisfatórios, [Guerrero et al. 2017] propuseram utilizar a mesma metodologia em uma área maior da região estudada.

No caso de [Gonçalves 2019], propôs encontrar novas áreas favoráveis a produção de cacau no Estado do Espírito Santo levando em consideração muitas variáveis e, devido a isso, o autor optou pela utilização de sistemas de informação geográfica, geoestatística e lógica *fuzzy*, chegando a conclusão que em várias áreas do estado é possível a realização de tal cultivo.

3. Fundamentação Teórica

3.1. A Lógica *fuzzy*

A lógica *fuzzy* suporta os modos de raciocínio aproximados aos invés de exatos como é comumente visto na lógica clássica. Também chamada de lógica nebulosa, a lógica *fuzzy* entende que o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. Segundo o trabalho de [Gomide and Gudwin 1994] neste tipo de raciocínio, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto *fuzzy* de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários que só aceitam os valores verdadeiro e falso.

Ainda de acordo com o trabalho de [Gomide and Gudwin 1994] nos sistemas lógicos clássicos existem somente os quantificadores existenciais e universais. A lógica *fuzzy* admite, em adição, uma ampla variedade de quantificadores como por exemplo: pouco, vários, usualmente, frequentemente, em torno de cinco, etc. Existem várias vantagens notadas nos sistemas *fuzzy* em comparação a lógica matemática, quando se tratando

de determinadas situações. É apropriada para descrever sistemas complicados e fácil para selecionar as variáveis linguísticas e os correspondentes valores, por exemplo.

Segundo [Junior and de Freitas Ferreira 2018] os conjuntos *fuzzy* capturam a distinção quantitativa e a distinção qualitativa em um único instrumento. Além disso, os conjuntos *fuzzy* são um instrumento importante para avaliar formulações conceituais complexas.

3.2. Agrotóxicos

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos Para Defesa Vegetal(SINDIVEG), na agricultura os agrotóxicos podem ser conhecidos por várias denominações, sendo agrotóxico o termo definido pela lei 7.802/89. Eles são produtos químicos ou biológicos que podem ser utilizados nos cultivos com o intuito de proteger as lavouras do ataque e da proliferação de agentes considerados pragas ou causadoras de doenças [Sindiveg 2018].

No Brasil existem políticas públicas que contribuem para o uso e o comércio de agrotóxicos. A exemplo disso, somente nos 5 primeiros meses de 2019 foram aprovados 169 novos registros para agrotóxicos, conforme dados do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) [Brasil 2019b].

Segundo dados do último PARA (Programa de Análise de Resíduo de Agrotóxicos em Alimentos) publicado em 2016 e realizado pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), foram analisadas 12.051 amostras de 25 alimentos de origem vegetal que são comumente encontrados na dieta da população brasileira [Anvisa 2016].

Das amostras testadas 38,3% apresentaram resíduos de agrotóxicos, porém dentro do LMR (Limite Máximo de Resíduos) definido por lei. Além disso, 19,7% das amostras foram consideradas insatisfatórias, por extrapolarem o LMR ou por apresentarem resíduos de agrotóxicos não autorizados para a cultura [Anvisa 2016].

3.2.1. Doenças Causadas

Os agrotóxicos podem causar vários problemas à saúde humana em proporções desastrosas. Nessa perspectiva, [Dias et al. 2018] afirmam que os agrotóxicos podem causar desde alergias à mudanças em vários sistemas humanos, como o imunológico, nervoso, gastrointestinal, respiratório, circulatório, endócrino, reprodutivo, entre outros. A Tabela 1 apresenta alguns agrotóxicos e seus malefícios a saúde humana.

3.2.2. Malformação Congênita

Segundo [Castro 2019] as anomalias congênitas também chamadas de malformações são distúrbios ocorridos na forma, estrutura ou função de órgãos, células ou tecidos de origem embrionária, presentes no nascimento e que podem surgir em qualquer fase do desenvolvimento fetal.

Para [Castro 2019] a maior parte das malformações congênitas tem suas causas desconhecidas, entretanto elas podem estar associadas a fatores ambientais, físicos, químicos, biológicos ou mesmo genéticos.

Tabela 1. Características de Alguns Agrotóxicos

Classificação Quanto a Praga que Controla	Nome Técnico	Sintoma de Intoxicação
Herbicida	2,4D (Ácido diclorofenoxiático)	Alterações genéticas, malformações de embriões, neurotoxicidade, alterações, alterações hematológicas, desregulação hormonal, entre outros efeitos.
Herbicida	Glifasato	Irritação dérmica e ocular, aumento de susceptibilidade de danos hepáticos e renais, doenças respiratórias e dermatológicas e malefícios gastrointestinais entre outros.
Inseticida	Triclorfom	Aumento da incidência de quebra de cromossomos, diminuição do número de espermatozoide, do volume líquido seminal, anormalidade fetais, diminuição do número de fetos vivos, alterações estruturais na tireóide e adrenais etc.

Com o trabalho de [Oliveira et al. 2014] realizado em municípios do estado do Mato Grosso com grande produção agrícola, observou-se que a exposição das mulheres aos agrotóxicos nos 3 meses antes da fecundação e nos 3 primeiros meses de gestação está relacionada as malformações fetais nos municípios estudados. Portanto, conclui-se também que as populações que são muito expostas a estes produtos apresentam um maior risco de malformação fetal.

Do mesmo modo [Dutra and Ferreira 2017] realizaram um trabalho para definir uma relação entre o uso de agrotóxicos e as malformações congênitas no estado do Paraná, no estudo puderam constatar que houve uma taxa maior de malformação congênita na região em que ocorreu a maior utilização de agrotóxicos, com a maior quantidade de casos da doença ocorrendo no período de maior frequência de uso de agrotóxicos no estado.

O estudo de [Carneiro et al. 2012] cita agrotóxicos com alto nível de toxicidade que foram encontrados na época, em alimentos analisados pelo PARA, seja em níveis acima dos limites máximos permitidos ou em culturas para as quais não são autorizados. Entre os agrotóxicos encontrados podem ser citados, a cipermetrina, beta-ciflutrina, procloraz e triclorfom. Todas essas substâncias estão comprovadamente ligadas a malformação fetal, em humanos.

Segundo dados da [Anvisa 2018], conforme é evidenciado na Tabela 2, os agrotóxicos são definidos conforme sua toxicidade e divididos em 4 classes. A cipermetrina e a beta-ciflutrina pertencem a Classe II, por exemplo, e são altamente tóxicos. Já o procloraz é Classe I e extremamente tóxico.

Tabela 2. Classificação dos Agrotóxicos Quanto a Toxicidade

Classe	Significado	Cor de Representação
Classe I	Extremamente tóxico	Vermelha
Classe II	Altamente tóxico	Amarela
Classe III	Medianamente tóxico	Azul
Classe IV	Pouco tóxico	Verde

4. Metodologia

Com o auxílio da plataforma MATLAB, modelou-se um sistema com a utilização da lógica *fuzzy* para a realização de simulações de diagnóstico, onde foi utilizado como dados de entrada: tipo do agrotóxico, exposição da mãe e período da exposição durante a gravidez. Dessa forma foi modelado um sistema para simular cenários e casos com o intuito de ser oferecido um diagnóstico ao paciente, contendo a probabilidade da gestante vir a ter uma criança com malformação congênita.

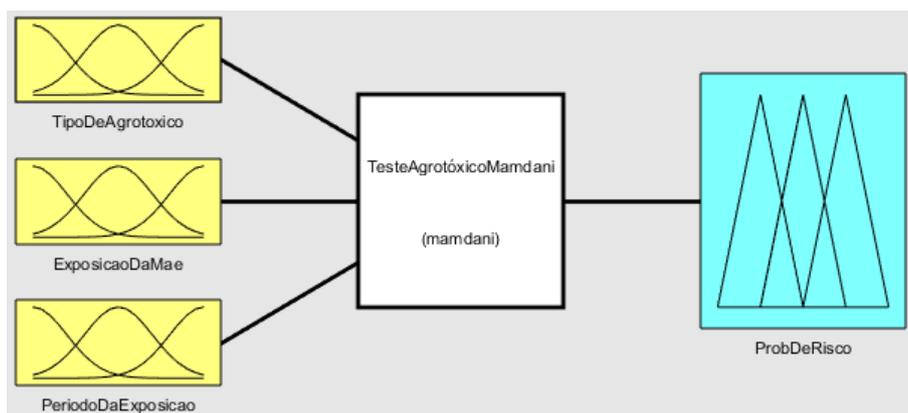


Figura 1. Variáveis de Entrada e Saída do Sistema *Fuzzy*.

A variável de entrada relacionada ao tipo de agrotóxico possui três classificações baseadas no nome e toxicidade dos agrotóxicos, sendo: glifosato, triclorfon e 2,4D. Essa variável é de grande importância, pois quanto mais tóxico o agrotóxico, maior a influência da substância no organismo e por conseguinte, no embrião. A variável exposição da mãe foi classificada também em três níveis *fuzzy*, podendo ser alta, média e baixa. Conforme o nome já sugere, quanto mais alta a exposição da mãe, maior será o perigo na gravidez.

Quanto a última variável de entrada, período da exposição, ela se refere a que período da gravidez a mãe se expôs mais ao produto químico. Essa variável foi dividida em: três meses antes da gravidez, três primeiros meses de gestação, três meses intermediários da gestação e os 3 últimos meses de gestação, onde as duas primeiras partes são cruciais para o embrião, por se trata do período periconcepcional onde de acordo com estudos de [Oliveira et al. 2014] evidencia um maior risco para a ocorrência de malformação fetal, entretanto outros efeitos podem ocorrer após este período. Assim com base na combinação de todas as variáveis gerou-se 36 regras, conforme pode ser evidenciado na Figura 2.

Já a variável de saída, aqui chamada de probabilidade de risco foi dividida em: baixa, média, alta e muito alta. Essa probabilidade foi normalizada no programa de 0 a 1, sendo este valor dividido em 4, sendo assim de 0 a 0,25 será considerada baixa; de 0,26 a 0,50 é considerado média; de 0,51 a 0,75 é considerado alta e entre 0,76 a 1 é considerado muito alto.

Assim definindo a probabilidade de um feto desenvolver malformação congênita causada por agrotóxicos, portanto, estão sendo desconsideradas outras influências, como por exemplo, a existência ou não de parentesco entre os pais ou mesmo a influência do contato com terceiros que mantiveram contato direto com agrotóxicos, entre outras in-

```

20. If (TipoDeAgrotóxico is 24D) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
21. If (TipoDeAgrotóxico is 24D) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
22. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Alta) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
23. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is Alto) (1)
24. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is Média) (1)
25. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Alta) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
26. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is Média) (1)
27. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesInterm) then (ProbDeRisco is Média) (1)
28. If (TipoDeAgrotóxico is 24D) and (ExposicaoDaMae is Alta) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
29. If (TipoDeAgrotóxico is 24D) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
30. If (TipoDeAgrotóxico is 24D) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Alto) (1)
31. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Alta) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is MuitoAlto) (1)
32. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Média) (1)
33. If (TipoDeAgrotóxico is Triclorfon) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Média) (1)
34. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Alta) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Alto) (1)
35. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Média) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Média) (1)
36. If (TipoDeAgrotóxico is Glifosato) and (ExposicaoDaMae is Baixa) and (PeriodoDaExposicao is 3MesesFim) then (ProbDeRisco is Baixo) (1)

```

Figura 2. Conjunto de Regras Criadas no Sistema Fuzzy.

fluências. Nesse enfoque, foram realizados trinta simulações com pacientes fictícios, dentre estas, foram escolhidas aleatoriamente duas para serem apresentados os resultados. Para fins de identificação as simulações foram nomeadas como Paciente X e Paciente Y.

Na Figura 3 é possível visualizar os valores definidos no sistema em cada uma das variáveis de entrada bem como o valor resultante na variável de saída referente a Paciente X.

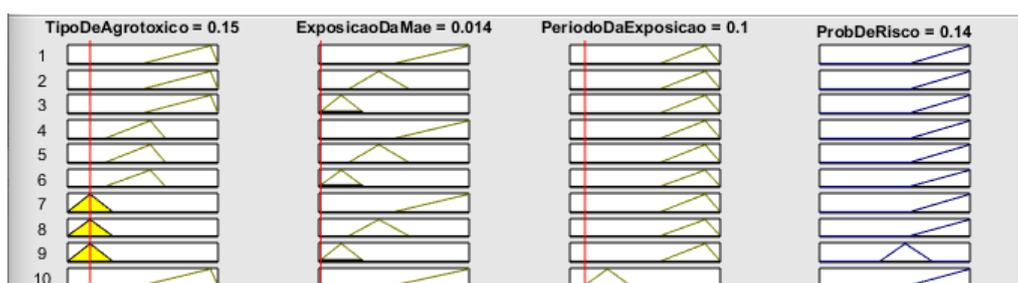


Figura 3. Dados referentes à Paciente X.

A Tabela 3 mostra a saída do sistema *fuzzy* em relação a uma Paciente X que trabalha ou trabalhou diretamente em contato com o agrotóxico glifosato apenas um dia por semana, que usa EPI (Equipamento de Proteção Individual) e que está no fim da gravidez, ou seja, entre 6 a 9 meses de gestação. Conforme essas entradas, concluiu-se que o risco dessa criança nascer com alguma malformação é baixo.

Tabela 3. Simulação com a Paciente X

Varáveis	Gravidade
Tipo de Agrotóxico	0,150
Exposição da mãe	0,014
Período de Exposição	0,100
Resultado	0,140

Na Figura 4 referente a Paciente Y é possível verificar graficamente no sistema os valores definidos nas variáveis de entrada bem como o valor de saída resultante na última variável.

Já a Tabela 4 considera uma Paciente Y que esteve ou está em contato direto com o agrotóxico 2,4D durante uma média de 6 dias por semana e sem o uso de EPI. Outro

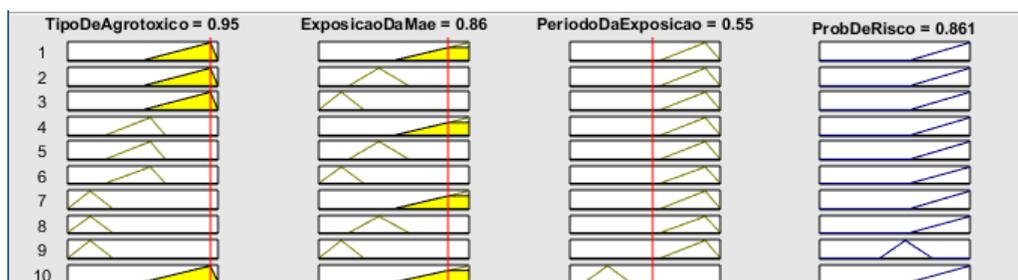


Figura 4. Dados referentes à Paciente Y.

fator agravante é o fato dela estar grávida de até 3 meses. Sendo assim, nível de risco dela e de seu embrião é considerado muito alto.

Tabela 4. Simulação com a Paciente Y

Varáveis	Gravidade
Tipo de Agrotóxico	0,950
Exposição da mãe	0,860
Período de Exposição	0,550
Resultado	0,861

5. Resultados e Discussões

A abordagem dos usos dos agrotóxicos é uma temática importante por se tratar de algo que está intimamente ligada a sobrevivência das espécies no cerne a alimentação e cultivo do solo com produtos que podem contaminar água, plantas e animais. Com essa perspectiva para o sistema *fuzzy* foram elaborados 36 regras para as simulações testadas utilizando-se o método Mamdani.

Os resultados foram bastante satisfatórios, o que de fato pode auxiliar profissionais da saúde alcançar um diagnóstico prévio do problema a partir das variáveis selecionadas. O sistema provou ser capaz de ser usado em pacientes reais, entretanto apresenta algumas ressalvas, pois para um resultado mais preciso, seria recomendado utilizar-se de mais variáveis, além do acompanhamento por parte de um profissional da saúde.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

A malformação congênita é um problema de grande importância, que interfere no bem estar da família. Nesse sentido, este trabalho foi desenvolvido a fim de possibilitar a identificação precoce do risco de malformação congênita causadas por agrotóxicos em mulheres grávidas, sendo seus testes realizados em pequena escala com pacientes fictícios. Entretanto, o mesmo pode ser testado em casos reais e melhorado a fim de auxiliar os profissionais da saúde a identificar o risco das pacientes, ajudando-os a tomar a melhor solução em seu tratamento.

Para trabalhos futuros, sugere-se o melhoramento do sistema *fuzzy* apresentado, de forma a aumentar sua precisão considerando outras variáveis que possam interferir no bem estar do embrião e de sua mãe.

Referências

- Anvisa (2016). Programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos (para): Relatório de amostras monitoradas no período de 2013 a 2015. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA*.
- Anvisa (2018). Guia para elaboração de rótulo e bula de agrotóxicos, afins e preservativos de madeira. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*.
- Brasil (2018). *Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos*. Ministério da Saúde, 1st edition.
- Brasil (2019a). Agropecuária brasileira em números. In *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*.
- Brasil (2019b). Informações técnicas. In *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*.
- Carneiro, F., Rigotto, R., Giraldo, L., Pignati, W., and Rizzolo, A. (2012). *Dossiê ABRASCO - Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Parte 1 - Agrotóxicos, segurança alimentar e nutricional e saúde*. Aicó Culturas, 1st edition.
- Castro, A. O. d. (2019). Malformações congênitas e fatores maternos de risco associados. *Universidade Federal da Paraíba (UFPB)*.
- Dias, A. P., do Monte Gurgel, A., Rosa, A. C. S., Búriço, A. C., and de Oliveira, A. C. (2018). *Agrotóxicos e Saúde*. Fundação Oswaldo Cruz, 1st edition.
- Dutra, L. S. and Ferreira, A. P. (2017). Associação entre malformações congênitas e a utilização de agrotóxicos em monoculturas no paraná, brasil. *Saúde Debate*.
- Gomide, F. A. C. and Gudwin, R. R. (1994). Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. *Disserta o - UUniversidade Estadual de Campinas (UNICAMP)*.
- Gonçalves, A. O. (2019). Zoneamento agroclimático e aptidão de cultivo do cacauzeiro a pleno sol no estado do espírito santo, brasil. *Disserta o - Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)*.
- Guerrero, J. V. R., Chaves, M. E. D., Justino, R. C., Mataveli, G. A. V., and Moschini, L. E. (2017). Potencial de contamina o de aquíferos na bacia do córrego do gouveia, são paulo. *Acta Brasiliensis*.
- Junior, A. A. B. and de Freitas Ferreira, S. (2018). Introdu o   análise qualitativa comparativa e aos conjuntos fuzzy (fsqca), brasília. *Enap*.
- Murguero Junior, R. T. (2016). Avalia o de um sistema de controle aut nomo para o monitoramento de abrigos de cultivo. *Disserta o - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)*.
- Oliveira, N. P., Moi, G. P., Atanaka-Santos, M., Silva, A. M. C., and Pignati, W. A. (2014). Malformações congênitas em municípios de grande utiliza o de agrotóxicos em mato grosso, brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*.
- Sindiveg (2018). *O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas*. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos Para Defesa Vegetal (SINDIVEG).