



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

LUZIA SUERLANGE ARAÚJO DOS SANTOS MENDES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS EM
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE RUSSAS –
CEARÁ E AS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA**

FORTALEZA
2023

LUZIA SUERLANGE ARAUJO DOS SANTOS MENDES

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS EM
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE RUSSAS –
CEARÁ E AS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de Concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Rita
Gonçalves Neves Lopes Salgueiro

Coorientador: Prof. Dr Itabaraci Nazareno
Cavalcante

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M491a Mendes, Luzia Suerlange Araújo dos Santos.
Avaliação do potencial de contaminação por agrotóxicos em águas subterrâneas de abastecimento no município de Russas – Ceará e as implicações na saúde humana / Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes. – 2023
268 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro.
Coorientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.
1. Águas de abastecimento. 2. Hidroquímica. 3. Neoplasias malignas. I. Título.

LUZIA SUERLANGE ARAUJO DOS SANTOS MENDES

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS EM
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO NO MUNICÍPIO DE RUSSAS –
CEARÁ E AS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de Concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos

Aprovada em: 21/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a Ana Rita Salgueiro (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Membro interno do Programa)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga (Membro Externo da Instituição)

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Membro externo do Programa)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada (Membro externo do Programa)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a Zulene Almada Teixeira (Membro externo da Instituição)
Companhia de Gestão das Águas do Ceará (COGERH)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo em minha vida.

À minha Mãe Maria Santíssima, por me proteger, guiar-me, cuidar de mim e dos meus. Àquela que me deu coragem e fé para que eu, com as adversidades da pandemia, do coronavírus, tivesse força para dar continuidade a essa pesquisa e, finalmente, concluí-la.

À minha família, motivo de tudo. Aos meus pais, orgulho da minha vida, a quem devo tudo: Chico e Zuleide. Às minhas irmãs: Solane, Sol, Conceição, Socorro e Araguacy - *ninguém solta a mão de ninguém*. Ao meu irmão, Vicente. E, aos meus sobrinhos e sobrinhas, que alegram a minha vida.

Ao meu esposo, Gilberto, meu maior incentivador e garantidor do sucesso deste trabalho - sempre tão zeloso e atento às necessidades, era a pessoa que comprava o gelo conservante às 5 horas da manhã. Aos meus filhos, Luana e Guilherme, meus maiores amores, que aguentaram os meus momentos de “*stress*” e suportam com sabedoria a distância e a ausência da ‘Pesquisadora’.

Aos meus orientadores, Prof.^a Dr.^a Ana Rita Salgueiro e, em especial, ao meu Coorientador, Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, que diante da minha ansiedade, acolheu-me com paciência, carinho e companheirismo, para a conclusão dessa pesquisa.

Aos demais professores participantes da Banca Examinadora, Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga, Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada e Dr.^a Zulene Almada Teixeira, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À Prof.^a Dr.^a Renata Fernandes de Matos, do Departamento de Fitotecnia/CCA/UFC e os Engenheiros Agrônomos Priscila Bezerra dos Santos e José Arnaldo Farias Sales do Centro de Ciências Agrárias - CCA da Universidade Federal do Ceará, pelas excelentes contribuições na conclusão dessa pesquisa.

À Prof.^a Dr.^a Cynthia Romariz Duarte, Coordenadora do Laboratório de Geoprocessamento do Ceará – GEOCE, a quem eu tenho carinho muito especial, após a perda do nosso querido Professor e meu orientador de graduação e mestrado, Prof. Dr. Antônio Beltrão Sabádia. No GEOCE pude desenvolver a minha pesquisa com todo apoio e coleguismo.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, pelos quais tenho muita admiração.

Aos amigos Doutores Eduardo Viana e Maykon, pelas sugestões recebidas.

À minha amiga geóloga Maynara Maciel, que tanto me emprestou, e continua a me emprestar - sem pressão - o seu *mouse*.

Ao meu amigo Doutorando Geólogo Joel Pedrosa, pelos conselhos e pela demonstração de amizade.

Ao Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC, minha instituição de trabalho, que sempre apoiou as minhas pesquisas. Local onde cresci e me qualifiquei como profissional. Foi no NUTEC onde realizei todas as análises necessárias para esse estudo.

Aos meus colegas da Gerência de Materiais do NUTEC, em especial aos amigos Doutores Andrea Girão e Daniel Girão, que me orientaram nas análises de metais.

Aos colegas de todos os dias: Adriano e Mariana, pelos momentos de *shopping*, almoço especial e as resenhas do laboratório.

Ao meu amigo Paulo Vitorino do Nascimento, colaborador do NUTEC, que muito me ajudou nos cuidados com recipientes e acondicionamento das amostras.

Agradeço, também, aqueles que foram fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa:

Engº José Maria, da Secretaria de Desenvolvimento Agrário – SDA, responsável por me apresentar o PITR.

Aridiano Belk de Oliveira, Coordenador do PITR, pessoa me levou nos lotes de cultivos para que eu pudesse ter acesso aos trabalhadores.

À Drª Zulene Almada Teixeira, Gerente de Estudos e Projetos da COGERH, que me deu total apoio para os dados dessa pesquisa.

À Srª Rejane Lima dos Santos - SOHIDRA, sempre muito solícita nas buscas de dados para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Engº Raimundo Jovenildo do Nascimento - CAGECE de Russas, sempre solícito para ajudar no que fosse possível para as coletas de água.

Ao Sr. Carlos Alberto de Lima Júnior, Coordenador do SISAR/BBJ, Bacia do Baixo e Médio Jaguaribe, o qual dispôs de todo apoio para a coleta das águas.

Ao Deputado Renato Roseno, que entendeu a importância deste estudo e apoiou a pesquisa.

À Profª Drª Wladiana Matos e ao Dr. Luan Fonseca, do Laboratório de Estudos em Química Aplicada – LEQA – da Universidade Federal do Ceará, pela ajuda nas análises de especiação do cromo.

Aos meus queridos amigos geólogos, Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará: Cláudio Ângelo, Joyce Shantala e Tomaz Alexandre. Nesses quatro anos de estudo, neles encontrei verdadeiros amigos. Comigo em todas

as etapas dos trabalhos campo nos municípios de Morada Nova, Limoeiro do Norte e Russas, nas coletas de águas, nos perigos enfrentados no decorrer das viagens de campo - pneu que estourou, cachorro assustando, material perdido na correnteza do rio Jaguaribe, dentre outras aventuras. Psicólogos para toda hora responsáveis pelo emocional nos momentos de ansiedade, cansaço e fraquezas. Gratidão por eles em minha vida!

À Dr^a Erika de Almeida Sampaio Braga, a Doutora das Águas, responsável por eu estar concluindo essa pesquisa. Enquanto Coordenadora do Laboratório de Química Ambiental do Nutec foi, sem dúvidas, minha GRANDE INCENTIVADORA. Erika é pesquisadora e cobrava muito, o meu melhor desempenho. Uma das poucas pessoas que deseja, com singeleza, a ascensão dos colegas. *Você, minha amiga, foi essencial na realização deste trabalho.*

Por fim, agradeço a todos (as) aqueles (as) que, direta ou indiretamente, contribuíram para conclusão deste trabalho.

O meu muito obrigado!

RESUMO

As águas destinadas ao consumo humano devem ser livres de contaminações para evitar efeitos adversos à saúde, seja por contato direto (ingestão da água, por exemplo), ou contato indireto (consumo de vegetais, por exemplo). A preocupação com a qualidade da água têm levado pesquisadores a uma ampla discussões sobre efeitos adversos que essas substâncias podem causar ao meio ambiente e à saúde. O uso indiscriminado de agrotóxicos estão associados à degradação do meio ambiente, e ao surgimentos doenças malignas como: Linfomas, leucemias, câncer de pulmão, câncer de mama, problemas endócrinos e neurológicos, dentre outros. O uso dessas substâncias causa intoxicação crônicas e agudas caracterizados por efeitos como: dificuldades respiratórias, vômitos, cólicas, coceira, diarreia, convulsões, e até a morte do indivíduo. Nesse contexto, a pesquisa objetivou analisar a presença de agrotóxicos nas águas do canal no Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas e nas águas subterrâneas destinadas ao abastecimento humano, para discutir as implicações da saúde local. O município de Russas apresentou crescimento na agricultura devido a implantação do Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas; no entanto, o aumento de óbitos por neoplasias malignas tem ocorrido concomitante ao uso desenfreado de agrotóxicos nos últimos 20 anos. Nesta pesquisa foram realizadas análises físicas e química, metais pesados em águas de poços e do canal nos anos de 2019 e 2021, contemplando as estações seca e chuvosa, respectivamente. A análises de agrotóxicos foram realizadas de forma a representar os cultivos em quatro ciclos de coletas: maio, agosto e novembro de 2021 e maio de 2022. Os métodos de análise das águas são descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, por ICP-OES e cromatografia líquida e gasosa. Para a potabilidade, metade das amostras estavam fora dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/21 em ambos os períodos (seco e chuvoso). Os metais alumínio, cádmio, cromo total, manganês, chumbo e antimônio não atenderam a Portaria nº 888/21. As análises de agrotóxicos (μgL^{-1}) no 1º ciclo detectaram Acefato+metamidofos (máximo de 11,71 e média de 4,32); Aldicarbe+Aldicarbe sulfóxido (máximo de 6,79 e média de 1,34); Dimetoato (máximo de 1,74 e média de 0,23); Imidacloprido (máximo de 1,89 e média de 0,41); Permetrina (máximo de 0,66 e média de 0,12) e Tebuconazol (máximo de 3,54 e média de 0,23). No 2º ciclo, Acefato+metamidofos (máximo de 572,0 e média de 77,94); Ametrina (máximo de 0,55 e média de 0,51) e Imidacloprido (máximo de 8,52 e média de 0,45). No 3º ciclo não foi detectada nenhuma substância. No 4º ciclo foram detectadas as substâncias Acefato+metamidofos (máximo de 150,50 e média de 35,16); Aldicarbe+Aldicarbe sulfóxido (máximo de 235,8 e média de 147,04); Imidacloprido (máximo de 8,52 e média de 0,53);

carbofurano (máximo de 15,39 e média de 3,77); e Malation (máximo de 6,20 e média de 0,67). Percebeu-se que todas as amostras estão acima dos valores máximos permitidos pela União Europeia (UE) e 88,9% das substâncias detectadas não são aprovados pela UE estão relacionados a neoplasias malignas. Dessa forma, é importante que as entidades governamentais intervenham no uso indiscriminado de agrotóxicos e promovam programas para maior conscientização do uso e controle dessas substâncias, como por exemplo, o descarte correto de embalagens vazias, que ocorre de forma inadequada, por falta de informação, educação ambiental e fiscalização, e isso pode ocasionar grandes riscos ao meio ambiente, comprometendo a potabilidade das águas, podendo causar sérios a saúde humana.

Palavras-chave: águas de abastecimento; hidroquímica; neoplasias malignas.

ABSTRACT

Water intended for human consumption must be free from contamination to avoid adverse health effects, whether through direct contact (ingesting the water, for example) or indirect contact (consuming vegetables, for example). Concern about water quality has led researchers to widely discuss the adverse effects that these substances can have on the environment and health. The indiscriminate use of pesticides is associated with environmental degradation and the emergence of malignant diseases such as lymphoma, leukemia, lung cancer, breast cancer, and endocrine and neurological problems, among others. The use of these substances causes chronic and acute intoxication characterized by effects such as breathing difficulties, vomiting, cramps, itching, diarrhea, convulsions, and even death. In this context, the research aimed to analyze the presence of pesticides in the canal water in the Tabuleiros de Russas Irrigation Project and in groundwater intended for human supply to discuss the implications for local health. The municipality of Russas has seen growth in agriculture due to the implementation of the Tabuleiros de Russas Irrigation Project; however, the increase in deaths from malignant neoplasms has occurred concomitantly with the rampant use of pesticides over the last 20 years. In this research, physical and chemical analyses of heavy metals in well water and canal water were carried out in 2019 and 2021, covering the dry and rainy seasons, respectively. Our pesticide analysis represents crops in four collection cycles: May, August, November 2021, and May 2022. The water analysis methods are described in the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, using ICP-OES and liquid and gas chromatography. For potability, half of the samples were outside the limits established by Ordinance GM/MS No. 888/21 in both periods (dry and rainy). The metals aluminum, cadmium, total chromium, manganese, lead, and antimony did not comply with Ordinance No. 888/21. The pesticide analyses (μgL^{-1}) in the first cycle detected Acephate+methamidophos (maximum of 11.71 and average of 4.32); Aldicarb+Aldicarb sulfoxide (maximum of 6.79 and average of 1.34); Dimethoate (maximum of 1.74 and average of 0.23); Imidacloprid (maximum of 1.89 and average of 0.41); Permethrin (maximum of 0.66 and average of 0.12) and Tebuconazole (maximum of 3.54 and average of 0.23). In the second cycle, Acephate+methamidophos (maximum of 572.0 and average of 77.94), Amethrin (maximum of 0.55 and average of 0.51), and Imidacloprid (maximum of 8.52 and average of 0.45). We did not detect substances in the third cycle. In the fourth cycle, the following substances were detected: Acephate+methamidophos (maximum of 150.50 and average of 35.16); Aldicarb+Aldicarb sulfoxide (maximum of 235.8 and average of 147.04); Imidacloprid (maximum of 8.52 and

average of 0.53); carbofuran (maximum of 15.39 and average of 3.77); and Malation (maximum of 6.20 and average of 0.67). It was noted that all the samples are above the maximum values allowed by the European Union (EU), and the EU does not approve 88.9% of the substances detected and are related to malignant neoplasms. It is, therefore, essential that government entities intervene in the indiscriminate use of pesticides and promote programs to raise awareness of the use and control of these substances, such as the correct disposal of empty containers, which occurs inadequately due to a lack of information, environmental education, and inspection, and this can cause significant risks to the environment, compromising the potability of water and potentially causing serious harm to human health.

Keywords: water supply; hydrochemistry; malignant neoplasms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Cronologia dos agrotóxicos	29
Figura 2	– Localização da área de estudo	56
Figura 3	– Mapa litológico da área de estudo	59
Figura 4	– Feições geomorfológicas do relevo do município de Russas	62
Figura 5	– Mapa de solos do município de Russas	63
Figura 6	– Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas	67
Figura 7	– Fluxograma da pesquisa	71
Figura 8	– Recipientes usados nas coletas	81
Figura 9	– Recipiente usado para coleta de água do canal e rio Jaguaribe	81
Figura 10	– Análise de metais	83
Figura 11	– Cromatógrafos gasoso e líquido	87
Figura 12	– Classificação do estado trófico das águas superficiais do município de Russas - CE	89
Figura 13	– Vulnerabilidade da área do ponto 32 - município de Russas - CE	91
Figura 14	– Ponto 32: Cacimbão no centro do município de Russas - CE	92
Figura 15	– Local de coleta do ponto 15 no município de Russas - CE	92
Figura 16	– Mapa de profundidade e fluxo subterrâneo no município de Russas	93
Figura 17	– Classificação iônica das águas subterrâneas – Ano de 2019	110
Figura 18	– Classificação iônica das águas subterrâneas – Ano de 2021	111
Figura 19	– Distribuição espacial do teor de alumínio nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	115
Figura 20	– A: Registro do ponto de coleta 27(R); B: Registro do ponto de coleta 27(P)	116
Figura 21	– Casos da doença de Alzheimer no município de Russas - CE	117
Figura 22	– Distribuição espacial do teor de boro nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	119

Figura 23	– Distribuição espacial do teor de bário nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	121
Figura 24	– Estação de tratamento ponto 17, próxima ao poço visitado	122
Figura 25	– Chaminé das indústrias de cerâmicas do município de Russas – CE	123
Figura 26	– Tanques de carcinicultura localizadas no município de Russas – CE	125
Figura 27	– Distribuição espacial do teor de cromo nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	126
Figura 28	– Distribuição espacial do teor ferro nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	132
Figura 29	– Indústria de cerâmica e valas do município de Russas – CE	132
Figura 30	– Distribuição espacial do cádmio nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	134
Figura 31	– Distribuição espacial do chumbo nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	137
Figura 32	– Distribuição espacial do manganês nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	139
Figura 33	– Distribuição espacial do Antimônio nas águas estudadas e potenciais fontes poluidoras	142
Figura 34	– Distribuição espacial do Níquel nas águas estudadas e potenciais fontes Poluidoras	144
Figura 35	– Mapa de pontos para coletas de agrotóxicos	149
Figura 36	– Nota de compra do agrotóxico gramoxone	174
Figura 37	– Cultivo de bananas ao longo do PITR	175
Figura 38	– Registro do uso de agrotóxico na plantação de coco	176
Figura 39	– Registro das embalagens descartadas nos lotes de cultivo	178
Figura 40	– Canal de irrigação açude Curral Velho, município de Morada Nova	179
Figura 41	– Ilustração do Perímetro Irrigado de Morada Nova	179
Figura 42	– Comunidade Distrito de Peixe, Russas – CE	182

Figura 43	–	Mapa hipsométrico do município de Russas – CE	184
Figura 44	–	Bloco diagrama de lixiviação da área de estudo	185
Figura 45	–	Área de lixiviados no município de Russas	186
Figura 46	–	Cemitério Bom Jesus dos Aflitos - Russas – CE	187
Figura 47	–	Placa de cobrança da água dessalinizada	188
Figura 48	–	Pulverização em lotes de plantação de banana do Pitr	199

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Quantidade de agrotóxicos liberados (2000-2021)	30
Gráfico 2	– Venda de agrotóxicos por Classe de Periculosidade Ambiental – 2020 ..	36
Gráfico 3	– Venda de agrotóxicos por Classe de Periculosidade Ambiental – 2020 ..	36
Gráfico 4	– Evolução do Valor Bruto da Produção (VBP) do Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas - CE, no período de 2006 a 2020	69
Gráfico 5	– Precipitações no município de Russas (2006 – 2018)	70
Gráfico 6	– Resultados obtidos para os valores de pH (2019 e 2021)	97
Gráfico 7	– Resultados obtidos para os valores de STD (2019 e 2021)	99
Gráfico 8	– Resultados da condutividade elétrica nas águas subterrâneas (2019 e 2021)	100
Gráfico 9	– Resultados do teor de cloreto presentes nas águas subterrâneas (2019 e 2021)	101
Gráfico 10	– Resultados da dureza total presentes nas águas (2019 e 2021)	102
Gráfico 11	– Resultados do teor de sódio presentes nas águas (2019 e 2021)	104
Gráfico 12	– Resultados do teor de ferro total presentes nas águas (2019 e 2021)	108
Gráfico 13	– Concentrações médias do Alumínio (Al) 2019 -2021	114
Gráfico 14	– Concentrações médias do Boro (B) 2019 -2021	118
Gráfico 15	– Concentrações médias do Bário (Ba) 2019 -2021.....	121
Gráfico 16	– Concentrações médias do Cromo (Cr) 2019-2021	125
Gráfico 17	– Relação Cromo e Manganês	129
Gráfico 18	– Concentrações médias do Ferro em 2019 - 2021	131
Gráfico 19	– Concentrações médias do Cádmio (Cd) em 2019 -2021	134
Gráfico 20	– Concentrações médias do Chumbo em 2019 -2021	136
Gráfico 21	– Concentrações médias do Manganês (Mn) em 2019-2021.....	139
Gráfico 22	– Resultados médios obtidos para o antimônio nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021	141

Gráfico 23	– Resultados médios obtidos para o níquel nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021	143
Gráfico 24	– Resultados médios obtidos para o zinco nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021	145
Gráfico 25	– <i>Boxplot</i> dos resultados das análises para os quatro ciclos	162
Gráfico 26	– <i>Boxplot</i> dos resultados das análises para período seco	163
Gráfico 27	– <i>Boxplot</i> dos resultados das análises para período chuvoso	163
Gráfico 28	– Maiores valores dos resultados dos agrotóxicos comparados como os limites da União Europeia no município de Russas - CE	166
Gráfico 29	– Categoria dos agrotóxicos identificados no Pitr	180
Gráfico 30	– Classe química dos agrotóxicos presentes nas análises	181
Gráfico 31	– Casos de diarreia aguda no município de Russas – CE	190
Gráfico 32	– Mortalidade por CID 10 no município de Russas - CE	195
Gráfico 33	– Incidência de notificação de agrotóxico no Estado do Ceará	196
Gráfico 34	– Taxa de mortalidade por intoxicação causada por agrotóxico no Ceará ..	197
Gráfico 35	– Intoxicação no Baixo Jaguaribe	198
Gráfico 36	– Notificação por agrotóxicos no município de Russas – CE	199
Gráfico 37	– Benefícios concedidos pelo INSS ao município de Russas – CE	200

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Relação de ingredientes ativos de grande consumo no Brasil e sua relação com o câncer	41
Quadro 2	- Classificação e efeitos e/ou sintomas agudos e crônicos dos agrotóxicos ..	43
Quadro 3	- Tipo de agrotóxicos	49
Quadro 4	- Categorias da classificação toxicológica dos agrotóxicos	51
Quadro 5	- Classes toxicológicas são relacionadas com a “Dose Letal 50” (DL ₅₀)	52
Quadro 6	- Unidades morfopedológicas que ocorrem na área de Russas	63
Quadro 7	- Localização e características dos pontos de coletas das amostras de águas para análises físico-químicas e metais pesados	73
Quadro 8	- Localização dos pontos de coletas das amostras de águas para análise de agrotóxicos	76
Quadro 9	- Agrotóxicos identificados nos lotes do Pitr	78
Quadro 10	- Parâmetros e metodologias das análises físico-químicas	82
Quadro 11	- Tipos de rações de camarão e sua composição	129
Quadro 12	- Classificação do toxicológica e ambiental dos agrotóxicos encontrados na pesquisa	160
Quadro 13	- Classificação das embalagens de agrotóxicos encontradas na área da pesquisa	173
Quadro 14	- Embalagens de agrotóxicos entregues no DISTAR no período de 2015 a 2018	177
Quadro 15	- Relação de possíveis neoplasias e outras doenças relacionadas aos agrotóxicos (IUPAC, 2022)	192

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Limites de Quantificação (LQ) e Limite de Detecção (LD) do método ...	85
Tabela 2	– Estado trófico das águas do açude Santo Antônio, Russas – CE	89
Tabela 3	– Resultados médios das análises físico-químicas das águas subterrâneas em Russas – CE	95
Tabela 4	– Classificação das águas segundo a dureza em ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$)	103
Tabela 5	– Resultados de nitrato e nitrito com a Portaria nº 888/201 MS	106
Tabela 6	– Valores máximos permitidos para presença de metais na água	112
Tabela 7	– Resultados da especiação do cromo hexavalente (Cr^{6+})	127
Tabela 8	– Metais pesados na composição dos agrotóxicos.....	146
Tabela 9	– Tipos de culturas na área de estudo	147
Tabela 10	– Resultados médios obtidos dos agrotóxicos presentes para cada ciclo de coleta	150
Tabela 11	– Valores máximos estabelecidos pelas legislações para presença de agrotóxicos na água	150
Tabela 12	– Estatística descritiva dos ciclos de coletas dos agrotóxicos	161
Tabela 13	– Resultados dos somatórios para substâncias nos quatro ciclos de coleta dos agrotóxicos	165
Tabela 14	– Nível de exposição humana dos agrotóxicos detectados	168
Tabela 15	– Ingestão Diária Aceitável (IDA) dos agrotóxicos detectados	169
Tabela 16	– Exemplo do impacto da exposição crônica na IDA considerando a concentração detectada do acefato e aldicarbe	169
Tabela 17	– IDMT/IDT das amostras de águas coletadas nos 1º, 2º, 3º e 4º ciclos de coletas	171

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGROFIT	Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASTDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE	Condutividade Elétrica
Cogerh	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Datusus	Sistema de Informática do Sistema Único de Saúde (SUS)
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
Funceme	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GUS	<i>Groundwater Ubiquity Score</i>
IA	Ingrediente Ativo
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Iupac	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
MS	Ministério da Saúde
NE	Nível estático
ppm	Parte por milhão
PITR	Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Sinan	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
Sohidra	Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Pergunta de partida	23
1.2	Hipóteses	23
1.3	Objetivos	24
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	24
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	24
1.4	Justificativa	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	Aspectos gerais da qualidade da água	30
<i>2.1.1</i>	<i>Parâmetros físico-químicos da água</i>	31
<i>2.1.2</i>	<i>Metais pesados</i>	33
<i>2.1.3</i>	<i>Agrotóxicos</i>	33
<i>2.1.3.1</i>	<i>Agrotóxicos no Brasil</i>	34
<i>2.1.3.2</i>	<i>Agrotóxicos no Ceará</i>	37
<i>2.1.3.2.1</i>	<i>Agrotóxicos no Baixo Jaguaribe</i>	37
<i>2.1.3.3</i>	<i>Águas e agrotóxicos</i>	38
<i>2.1.3.4</i>	<i>Saúde e agrotóxicos</i>	39
<i>2.1.3.4.1</i>	<i>Intoxicação por agrotóxicos</i>	46
<i>2.1.3.5</i>	<i>Legislação dos agrotóxicos</i>	47
<i>2.1.3.6</i>	<i>Estudo da caracterização dos agrotóxicos</i>	49
<i>2.1.3.6.1</i>	<i>Classificação toxicológica dos agrotóxicos</i>	49
<i>2.1.3.6.2</i>	<i>Classificação dos agrotóxicos quanto ao grupo químico</i>	53
<i>2.1.3.6.3</i>	<i>Comportamento dos agrotóxicos no ambiente</i>	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1	Localização e caracterização da área de estudo	56
<i>3.1.1</i>	<i>Contexto geológico local</i>	57
<i>3.1.1.1</i>	<i>Embasamento cristalino</i>	57
<i>3.1.1.2</i>	<i>Coberturas sedimentares</i>	57
<i>3.1.1.3</i>	<i>Manchas aluvionares</i>	58
<i>3.1.2</i>	<i>Geomorfologia</i>	60
<i>3.1.2.1</i>	<i>Depressão sertaneja</i>	60
<i>3.1.2.2</i>	<i>Planícies fluviais</i>	61

3.1.3	<i>Solos</i>	62
3.1.4	<i>Vegetação</i>	66
3.1.5	<i>Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas</i>	67
3.2	Metodologia aplicada a escolha dos pontos de amostragem	70
3.3	Metodologia para escolhas dos pontos de amostragem e substâncias usadas nas áreas de cultivo do PITR	77
3.4	Metodologia das coletas	80
3.5	Metodologia das análises físico-químicas em águas	82
3.6	Metodologia para as análises de metais pesados em águas	83
3.6.1	<i>Metodologia Especificação do Cromo</i>	86
3.7	Metodologia para análise de agrotóxicos	86
3.8	Metodologia para interpretação dos resultados	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.1	Águas superficiais e subterrâneas	88
4.2	Vulnerabilidade e tipos de poços da área de estudo	90
4.3	Resultado das análises físico-químicas das águas subterrâneas	94
4.3.1	Classificação iônica	109
4.3.1.1	<i>Diagrama de Piper</i>	110
4.3.2	<i>Influências antrópicas na qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano no município de Russas</i>	111
4.4	Resultados das análises de metais pesados	111
4.4.1	<i>Alumínio</i>	114
4.4.2	<i>Boro</i>	117
4.4.3	<i>Bário</i>	120
4.4.4	<i>Cromo</i>	124
4.4.4.1	<i>Especificação do cromo</i>	126
4.4.5	<i>Ferro total</i>	130
4.4.6	<i>Cádmio</i>	133
4.4.7	<i>Chumbo</i>	135
4.4.8	<i>Manganês</i>	138
4.4.9	<i>Antimônio</i>	140
4.4.10	<i>Níquel</i>	142
4.4.11	<i>Zinco</i>	144

4.4.12	<i>Metais na composição dos agrotóxicos</i>	146
4.5	Resultados das análises de agrotóxicos	147
4.5.1	<i>Acefato + matamida-fós</i>	151
4.5.2	<i>Ametrina</i>	152
4.5.3	<i>Aldicarbe +aldicarbe sulfóxido</i>	154
4.5.4	<i>Dimetoato</i>	155
4.5.5	<i>Imidacloprido</i>	156
4.5.6	<i>Permetrina</i>	157
4.5.7	<i>Tebuconazol</i>	157
4.5.8	<i>Carbofurano</i>	158
4.5.9	<i>Malation</i>	159
4.5.10	<i>Classificação toxicológica e ambiental dos agrotóxicos presentes na pesquisa</i>	159
4.5.11	<i>Estatística descritivas dos resultados das amostras de agrotóxicos</i>	161
4.5.11.1	<i>Coquetel de agrotóxicos no município de Russas</i>	164
4.5.12	<i>Nível de exposição humana dos agrotóxicos pesquisados</i>	167
4.5.13	<i>O uso indiscriminado de agrotóxicos</i>	171
4.5.14	<i>Destino das embalagens</i>	176
4.5.15	<i>A carga contaminante que chega através do canal</i>	178
4.5.15.1	<i>Distrito de Peixes</i>	181
4.5.16	<i>Interação, solo, geologia, águas subterrâneas e fontes contaminantes</i>	183
4.5.17	<i>Agrotóxicos e impactos na saúde</i>	190
4.5.17.1	<i>Intoxicação por agrotóxicos no município Russas</i>	198
4.5.17.2	<i>Impacto social no município de Russas pelo uso de agrotóxicos</i>	200
5	CONCLUSÃO	202
	REFERÊNCIAS	205
	APÊNDICE A – TABELAS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES	234
	APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AGROTÓXICOS ...	238
	APÊNDICE C – ARTIGO DIAGNÓSTICO HÍDRICO	243
	APÊNDICE D – ARTIGO INFLUÊNCIAS ANTRÓPICAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA O CONSUMO HUMANO EM RUSSAS, CEARÁ	257

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade dos recursos hídricos teve início com o Decreto Federal nº 24.643/34, que já se referia à preservação das águas, penalizando quem as contaminasse com o custo de sua recuperação e, também, já eram exigidos o tratamento dos esgotos e a proteção das matas ciliares. A Lei das Águas (Lei Federal nº 9.433/97) instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos e entre os pontos mais importantes está a definição dos instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, como o enquadramento dos corpos de água que, entre outros aspectos, deve assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas.

No Brasil, os padrões de qualidade da água para consumo humano são estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde e pela Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que estabelecem os valores máximos permitidos (VMP) para os padrões de potabilidade.

As águas destinadas ao consumo humano devem ser livres de contaminações para que não haja risco de doenças por veiculação hídrica. As legislações atuais determinam parâmetros para fins de potabilidade e monitoramento, tais como: físicos (cor, turbidez e sólidos totais dissolvidos), químicos (cloretos, dureza total, ferro total, nitratos, nitritos, pH, sulfatos, amônia total, cloro residual, fluoreto e sulfeto), biológicos (coliformes e algas), componentes inorgânicos (entre eles estão os metais pesados) e componentes orgânicos (entre eles os agrotóxicos).

O efeito das águas sobre a saúde humana pode acarretar doenças por veiculação hídrica, seja por contato direto (ingestão da água, por exemplo), ou contato indireto, consumo de vegetais e animais presentes no mesmo ambiente, nem sempre são de fácil diagnóstico. Doenças como câncer, problemas neurológicos, intestinais, renais e hepáticos são enfermidades com pesquisas relacionadas a poluentes na água (CENTENO *et al.*, 2012).

Conforme a *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR, 2017), a toxicidade do nitrato é um exemplo de doença que está relacionada à questão da qualidade da água, principalmente quando ocorre sua conversão em nitrito, o qual ocorre no organismo humano e, assim, o nitrito pode causar problemas na saúde devido a sua capacidade de oxidar diretamente a hemoglobina, conseqüentemente, adulterando para altas taxas de concentração de metahemoglobina no sangue. Quando a capacidade de redução protetora das células não consegue superar o processo de oxidação ocorre o excesso de metemoglobina, comumente conhecida como “*síndrome do bebê azul*” onde o bebê sofre com interrupções na respiração.

Em adultos a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade (BRASIL, 2006). Estudos vêm buscando associar o nitrato e o nitrito como elementos carcinogênicos com base na correlação com aumento da incidência de câncer de estômago, bem como câncer no cérebro de crianças e adultos, câncer de mama, câncer renal, câncer de testículo e linfoma não-Hodgkin.

O teor de cloretos das águas tem por finalidade obter informações sobre o seu grau de mineralização ou indícios de poluição, como esgotos domésticos e resíduos industriais das águas (FRANÇA *et al.*, 2019) e acima de 250mg/L confere um sabor salgado que é desagradável para muitos consumidores, de modo a restringir o uso da água em razão do sabor e pelo efeito laxativo que eles podem provocar (COELHO *et al.*, 2017). Sabendo-se que a água subterrânea tem potencial de transmissão de doenças causadas por microrganismos patogênicos provenientes de fezes humanas e animais, ou por meio de substâncias químicas em concentração fora dos padrões permitidos pela legislação, faz-se necessária a verificação e o acompanhamento de sua potabilidade (COSTA *et al.*, 2013).

Dentre as substâncias tóxicas lançadas ao meio ambiente, os metais pesados têm significativa importância, principalmente devido ao poder cumulativo em organismos vivos, representando sérios riscos à saúde (GUNTHER, 1998). Naturalmente, os elementos traços fazem parte, embora em pequeníssimas concentrações, tanto da constituição da crosta terrestre quanto dos organismos. No entanto, a concentração destes elementos tem aumentado de maneira surpreendente devido às ações antrópicas e, dessa forma, os elementos traços, inofensivos ao homem, se tornaram uma das mais graves e temidas formas de poluição ambiental que se tem conhecimento (ESTEVES, 1998). Em águas, a ocorrência dos metais baseia-se em processos de dissolução e precipitação dos seus hidróxidos ou compostos semelhantes. Particularmente, os elementos ferro (Fe), cobre (Cu), alumínio (Al), chumbo (Pb), manganês (Mn) e o cromo (Cr) se transformam durante processos de intemperismo em compostos solúveis na água. A solubilidade dos minerais depende do pH, potencial redox, temperatura e a pressão sofrida por estes no solo. A atividade microbiana e seu metabolismo podem causar a precipitação dos hidróxidos metálicos (POHLING, 2009).

Os metais presentes nas águas naturais são provenientes da lixiviação de minerais contidos nas rochas, drenagem de água de chuva e descarga de águas de despejos de origem urbana, industrial e agropecuária. O lançamento do metal mobilizado para a coluna d'água através da dessorção a partir de um sedimento pode produzir sérios efeitos ambientais (SANTOS, SANTOS, OLIVEIRA, 2008).

Entende-se por biodisponibilidade, a porção de substâncias químicas disponíveis

para ingestão, inalação ou assimilação por um organismo vivo. Normalmente representa pequena parte da quantidade inicialmente contida no material geológico, sendo função da geodisponibilidade, da difusibilidade e da mobilidade da espécie química, além das características do organismo vivo. A biodisponibilidade é pré-requisito, mas não é determinante, para causar a toxicidade de um elemento, que somente pode ser proclamada após documentação de efeitos negativos nas funções biológicas dos organismos receptores (CORTECCI, 2006).

Conforme notícia publicada pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra - MST (2014), na água de abastecimento público existem vários tipos de poluentes tóxicos. Estudos científicos associam o consumo de muitos deles ao aumento da incidência de câncer na população, enquanto outros têm efeitos ainda pouco conhecidos na saúde. Estão presentes na água que bebemos substâncias químicas como antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, mercúrio, nitratos, triclorobenzeno, diclorometano; agrotóxicos como atrazina, DDT (diclorodifeniltricloroetano), trifluralina, endrin e simazina e desinfetantes como cloro, alumínio ou amônia.

Utilizados desde os povos antigos, várias são as denominações para os agrotóxicos: pesticidas, defensivos agrícolas, agroquímicos e praguicidas, dentre outros. São substâncias que apresentam propriedades químicas com efeitos letais para o homem e o meio ambiente. Oficialmente, o início de uso dos pesticidas ocorreu no século XIX, tendo como principais substâncias os cianetos, arsenicais, enxofre e compostos de cobre que eram usadas para o controle e exterminação de pragas. No Brasil, o uso do agrotóxico se solidificou neste mesmo século, tendo como os produtos mais usados os sais de cobre e arsênio, enxofre e cal (BRAIBANTE; ZAPPE, 2011).

Com o aumento da população mundial, conseqüentemente ocorreu um aumento progressivo no consumo de alimentos, necessitando de um maior controle de pragas, que constitui um dos principais agentes limitantes da produção agrícola, fazendo com que o uso de agrotóxicos seja predominante nessa área. Além da área rural, o uso dessas substâncias, muitas vezes indiscriminados, atingem também a área urbana e o meio ambiente.

O consumo de agrotóxicos está diretamente relacionado à saúde humana, com conseqüente aumento de agravos agudos, subcrônicos e crônicos relacionados à exposição química. Nos EUA são registrados 10 a 15 mil novos casos de câncer por ano associados ao uso destes. Os custos decorrentes da contaminação por agrotóxicos ultrapassam o valor de um bilhão de dólares/ano, distribuídos em hospitalização, tratamento, mortes e perdas de capacidade laboral (PIMENTEL; BURGESS, 2014). Dentre os dez agrotóxicos mais

consumidos no Brasil o glifosato aparece em primeiro lugar (IBAMA, 2020).

O uso indiscriminado de agrotóxico na agricultura familiar se tornou uma realidade, fatores como a carência de mão de obra no campo junto ao valor da diária do trabalhador, considerando o padrão de cultivo (feijão e milho) de sequeiro, o glifosato tornou-se o herbicida mais vendido no mundo e amplamente utilizado na agricultura brasileira e recentemente classificado como provavelmente cancerígeno para humanos, segundo a *International Agency for Research on Cancer* (IARC). Em 2017, 173 mil toneladas vendidas, três vezes mais do que o segundo agrotóxico mais comercializado (2,4-D), são 110 diferentes produtos comercializados com 29 diferentes empresas (DOMINGUES, 2019)

1.1 Pergunta de partida

As hipóteses levantadas que deram início a pesquisa surgiram a partir da seguinte pergunta de partida: *Existem impactos na saúde ambiental causados pelo uso indiscriminado de agrotóxico no Projeto Público de Irrigação Tabuleiros de Russas - PITR localizado no município de Russas – CE?*

1.2 Hipóteses

- I. A disponibilidade hídrica no município é afetada pela escassez que perdura mais da metade do ano e a exploração de águas subterrâneas consegue suprir o déficit hídrico no município de Russas.
- II. A água de abastecimento contém substâncias químicas (metais pesados, agrotóxicos) que comprometam a potabilidade desses recursos devidos as atividades antrópicas.
- III. No município de Russas, na região do Baixo Jaguaribe onde se encontra o Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, as pesquisas realizadas mostraram que o índice de câncer é progressivo indicando, portanto, que o uso de agrotóxicos contribui para os agravos de saúde do município.
- IV. O aumento de óbitos por neoplasias malignas nos últimos 20 anos em Russas está relacionado ao uso desenfreado de agrotóxicos

1.3 Objetivos

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, os objetivos foram divididos em duas partes: geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano em localidades do município de Russas - Ceará por meio de análises físico-químicas, metais pesados e agrotóxicos para avaliar o potencial de contaminação dessas substâncias relacionando-as com registros de patologias locais.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Realizar o estudo da oferta hídrica superficial e subterrânea do município de Russas - CE;
- b) Realizar as análises físico-químicas e metais pesados em águas subterrâneas destinadas ao consumo humano para avaliação prévia da qualidade da água e associação com uso de agrotóxicos;
- c) Realizar análises de agrotóxicos nas águas destinadas ao consumo humano e em águas coletadas nos lotes de cultivo do Projeto Público de Irrigação Tabuleiros de Russas - Pitr para avaliar o potencial de contaminação dessas substâncias;
- d) Comparar os resultados das análises com os limites estabelecidos pelas legislações vigentes para águas destinadas ao consumo humano e identificar as fontes contaminantes;
- e) Realizar pesquisas dos casos de intoxicação causadas pelo uso de agrotóxico a partir de dados disponibilizados nas plataformas de órgãos públicos;
- f) Estudo do aumento dos casos de óbitos por neoplasias malignas no município de Russas – CE.

1.4 Justificativa

A presente pesquisa aborda os potenciais impactos causados pela utilização de agrotóxicos nas culturas do Projeto Público de Irrigação Tabuleiros de Russas - PITR, bem como análises dos efeitos gerados ao meio ambiente e a saúde humana em uma área no município de Russas – CE.

O uso indiscriminado de agrotóxicos no Brasil, assim como em outros países da América Latina, resulta em níveis severos de poluição ambiental e intoxicação humana tendo em vista que grande parte dos agricultores desconhecem os riscos a que se expõem, e, conseqüentemente, negligenciam algumas normas básicas de saúde e segurança no trabalho (PERES; MOREIRA; LUZ, 2007). O uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) são, em sua maioria, ignorados pelos agricultores, e a falta de um processo educativo continuado (Assistência Técnica e Extensão Rural – ATER) contribuem para uma maior exposição dos trabalhadores aos agrotóxicos.

O uso desses produtos tem como finalidade/objetivo garantir uma produtividade agrícola em larga escala, o que caracteriza a realidade do campo no Brasil. Sendo assim, trabalhadores (as) sofrem agressões como expropriação, precarização nas relações de trabalho, des(re)territorialização de agricultores familiares e ampliação da pobreza (FIOCRUZ, 2018).

O Estado do Ceará se destaca pelo uso excessivo de agrotóxicos, principalmente em regiões onde estão inseridos os perímetros irrigados. O Projeto Público de Irrigação Tabuleiros de Russas - PITR encontra-se localizado na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe na qual estão inseridos os municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova. Na região do Vale do Jaguaribe, o comprometimento da saúde causado pelo uso de agrotóxicos é evidenciado pelas pesquisas realizadas na região do baixo Jaguaribe. Pesquisas coordenadas pela Prof^ª Raquel Rigotto, Núcleo Tramas - Trabalho, Meio Ambiente e Saúde da Universidade Federal do Ceará - UFC e Departamento de Saúde Comunitária da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará, corroboram com outros estudos que alertam para as doenças relacionadas ao uso e exposição humana aos agrotóxicos na região do Baixo Jaguaribe, bem como o comprometimento dos recursos hídricos daquela região.

A importância do conhecimento da população acerca das conseqüências do uso destes produtos e seus impactos à saúde e ao meio ambiente são fundamentais, tendo em vista que a exposição humana ao uso de agrotóxicos constitui um grave problema de saúde pública. Pesquisas indicam que o desconhecimento dos riscos dos usos de substâncias e das normas de segurança contribui para o agravamento de doenças relacionadas ao uso de agrotóxicos e o

comprometimento da qualidade dos recursos hídricos destinados ao consumo humano. A ausência de uma assistência técnica qualificada e continuada tem contribuído para agravar este quadro. A Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) começou a ser oferecida de modo mais estruturado a partir da década de 1940 como instrumento de apoio e fonte de informação ao produtor rural. Esse serviço da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) passou por diversas modificações e como consequência dessas mudanças, nas últimas décadas (1990 em diante), viu-se a redução das atividades de algumas unidades estaduais de ATER e, paralelamente, houve o crescimento da oferta de outros tipos de orientação técnica, como cooperativas, integradoras e do próprio produtor. Apesar do crescimento destas, grande parte dos agricultores familiares brasileiros, principalmente das regiões Norte e Nordeste, são dependentes do serviço da ATER pública (PEREIRA; CASTRO, 2021). Não obstante, desde meados de 2008, a ATER pública nos projetos de irrigação do Dnocs não vem sendo oferecida aos agricultores irrigantes destas Unidades de produção.

O desenvolvimento dessa pesquisa pode trazer contribuições para os gestores públicos quanto ao monitoramento das águas de abastecimento, quanto ao cuidado com possíveis agravos à saúde da população, providências em políticas públicas de prevenção e saúde do trabalhador rural, contribuições aos trabalhadores rurais, no entendimento das informações sobre a problemática do uso dos agrotóxicos, bem como o cuidado no manuseio desses produtos. E, por fim, trazer à tona essa discussão à comunidade científica como um apontamento para futuras pesquisas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A contaminação ambiental e as graves doenças associadas ao uso de agrotóxicos vêm sendo cada dia mais discutidas por diversos setores da sociedade civil, tendo em vista as consequências causadas por essas substâncias.

A presença de Agrotóxicos constituem um dos parâmetros de avaliação e controle da potabilidade da água para consumo humano e seu monitoramento é importante para a população brasileira, dada a toxicidade intrínseca dessas substâncias e os grandes volumes comercializados e utilizados no Brasil. De acordo com Art. 2º da Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989: agrotóxicos são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento. O Decreto 10.833, de 7 de outubro de 2021 regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.

Ecossistemas têm sido alvos de poluição por aditivos agrícolas utilizados no solo, como fertilizantes e agroquímicos. Os herbicidas que são utilizados no solo, de modo geral, têm grande risco de se direcionarem às águas subterrâneas, isso tende a ocorrer devido ao fluxo superficial. Dependendo das características do solo, como a porosidade, por exemplo, a infiltração pode ocorrer com maior ou menor facilidade. Além disso, com uma maior aplicação do produto em épocas de ocorrência de chuvas, essa probabilidade de contaminação tende a ser maior (ARMAS *et al.*, 2007).

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas em áreas com aplicação de agrotóxicos ocorre principalmente através dos processos de escoamento e lixiviação, afetados pela sorção, processo que vem recebendo muita atenção de pesquisadores nas últimas décadas, sendo influenciada pelas propriedades do agrotóxico e do solo (SILVA, 1984), destacando-se a mineralogia e os teores de argila e de matéria orgânica (VIEIRA *et al.*, 1999).

Os agrotóxicos começaram a ser usados em escala mundial após a segunda Guerra Mundial. Muitos deles serviram de arma química nas guerras da Coreia e do Vietnã, como o conhecido “*agente laranja*”, um composto em partes iguais de dois herbicidas, o ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 2,4,5 - Triclorofenoxiacético (2,4,5-T), substâncias altamente tóxicas que dizimou milhares de soldados e civis, além de ter contaminado rios, mares

e seres vivos presentes nos ambientes. No início da década de 1950, nos Estados Unidos, os agrotóxicos, juntamente com os fertilizantes e as máquinas agrícolas, foram os promotores da chamada “*Revolução Verde*”, um conjunto de inovações tecnológicas com proposta de melhoria na produção agrícola.

No Brasil, esse movimento teve início na década de 1960, com a implantação do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), no qual o programa vinculava a utilização dessas substâncias à concessão de créditos agrícolas, sendo o Estado um dos principais incentivadores dessa prática (SIQUEIRA *et al.*, 2013). Conforme Soares; Porto (2009), a política de subsídios também contribuiu para o uso indiscriminado de agrotóxicos, que passaram a ser utilizados não só pelos agricultores mais bem capitalizados, mas também por produtores familiares compelidos e impulsionados a adquirir esse “*pacote tecnológico*” de uma forma passiva e sistematicamente descontrolada. Como resultado, observou-se um grande desrespeito às prescrições técnicas – como o receituário agrônômico – e práticas agrícolas que expunham os agricultores e trabalhadores rurais aos riscos iminentes.

A partir da década de 1970 tornou-se necessária a regulamentação do uso de agrotóxicos, tendo em vista o crescente uso no País. Visando proteger a saúde dos consumidores, agências governamentais brasileiras, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), limitam as quantidades de agrotóxicos em alimentos e estabelecem Limites Máximos de Resíduos (LMR’s) para as diversas *commodities* e, além disso, a ANVISA estabelece quais são os agrotóxicos permitidos para as diferentes culturas e suas consequências toxicológicas e ambientais (TAVELLA *et al.*, 2011).

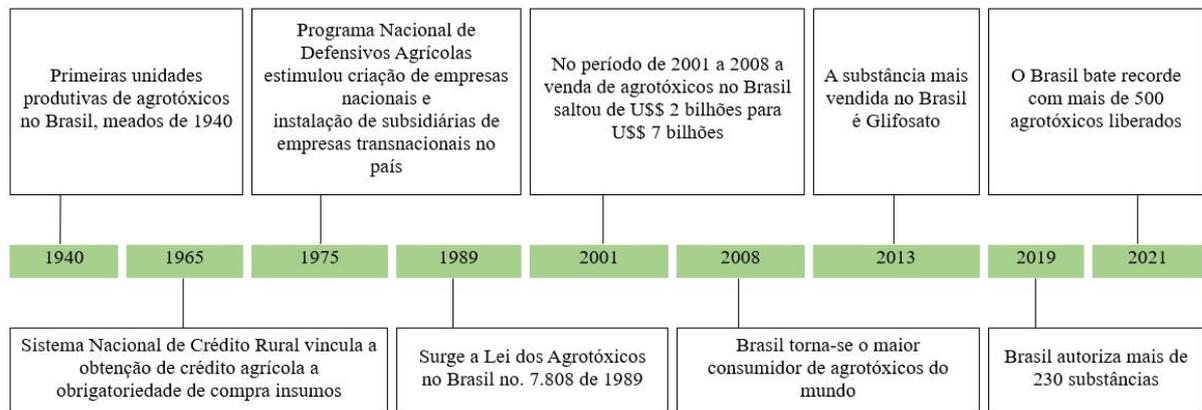
Conforme Lopes e Albuquerque (2018), o Brasil possui, desde a década de 1970, legislações que regulamentam o registro, a produção, o uso e o comércio de agrotóxicos em seu território. Além da relativa frouxidão que marca tais processos, exemplificada pela liberação de produtos proibidos em diversas regiões do planeta, existe a grande fragilidade da fiscalização e das medidas adotadas para que tais legislações sejam cumpridas.

Conforme a Figura 1, a cronologia dos agrotóxicos remonta a 1940 com o aparecimento das primeiras unidades produtivas e na década de 1970 com a chamada *Revolução Verde*. O termo agrotóxico passou a ser adotado no Brasil a partir da Lei Federal nº 7.802, de 1989. Construiu-se no Brasil uma estrutura de mercado dos defensivos caracterizada pelo elevado grau de concentração, de formato oligopolista típico, concernente com o que se observa na indústria em nível mundial, a partir de então o mercado brasileiro de defensivos passou a crescer significativamente. Entre 1977 e 2006 o consumo desses produtos expandiu-se,

em média, 10% ao ano, de forma que o Brasil esteve, desde meados dos anos 1970 até 2007, entre os seis maiores consumidores de defensivos do mundo (TERRA, 2008).

Segundo Mata e Ferreira (2013), as políticas públicas têm contribuído com as indústrias químicas estrangeiras, que desejam ampliar seus mercados e que contam com o apoio do governo brasileiro, passando a incluir os agrotóxicos nos financiamentos agrícolas, juntamente com os fertilizantes químicos, o mercado de máquinas e o de sementes. Dados da ANVISA apontam que o Programa Nacional de Defensivos Agrícolas financiou a criação de empresas nacionais e a implementação de subsidiárias de corporações transnacionais de agrotóxicos e fertilizantes.

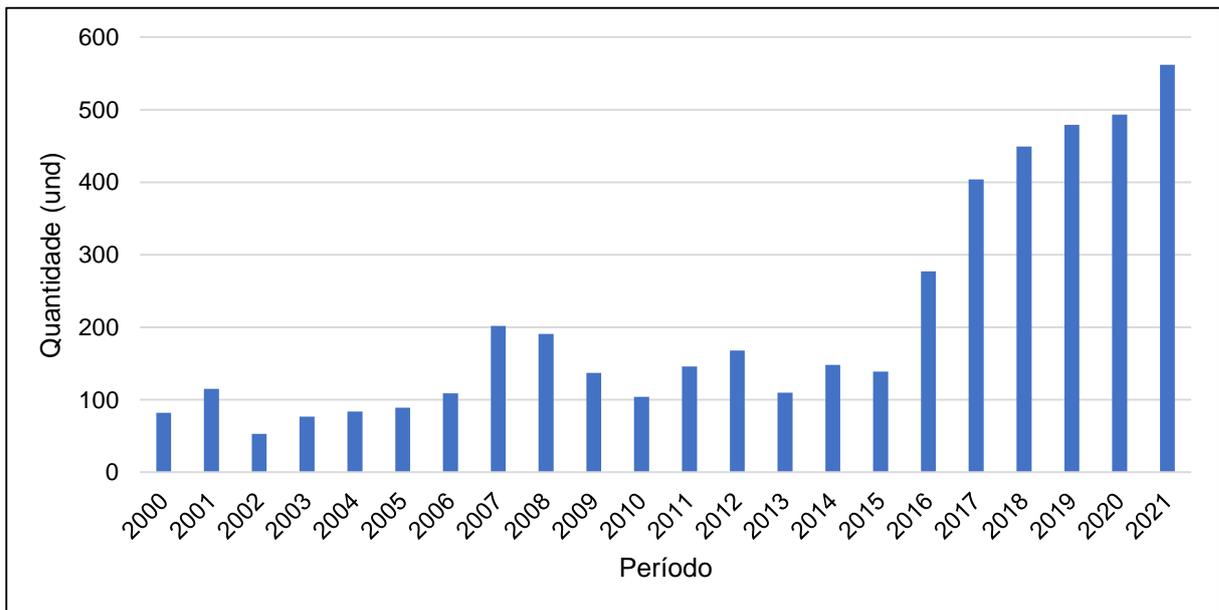
Figura 1 – Cronologia dos agrotóxicos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Embora as pesquisas no Brasil e no mundo abordem a relação entre o uso de agrotóxicos e vários tipos de câncer, o cenário no Brasil é crescente na liberação dessas substâncias. O Gráfico 1 mostra que no período de 2017 a 2021 ocorreu um acréscimo na liberação de agrotóxicos e, de acordo com Salati (2021), o governo federal aprovou o registro de 562 agrotóxicos em 2021, um novo recorde da série histórica iniciada em 2000.

Gráfico 1 – Quantidade de agrotóxicos liberados (2000 -2021).



Fonte: Adaptado (SALATI, 2021)

As pesquisas e discussões acerca dos diversos impactos causados pelos agrotóxicos são demonstradas em vários estudos (BARBOSA *et al.*, 2019; CARNEIRO *et al.*, 2015; MILHOME *et al.*, 2009; RIGOTTO, 2011a; RIGOTTO, 2011b; TEIXEIRA, 2015), os quais corroboram com o cenário preocupante de degradação ao meio ambiente, mas principalmente na saúde humana.

Existe todo um contexto de vulnerabilidade e de nocividade que permeia o uso dos agrotóxicos, que vai desde a ocultação dos danos à saúde humana (efeitos clínicos e subclínicos) e ao meio ambiente, numa escala de exposição com dificuldades históricas de efetivar o controle, ao monitoramento e avaliação dos riscos e danos associados à toxicidade dos agrotóxicos, do acesso às tecnologias de suporte inexistentes ou ainda pouco disponíveis nos serviços públicos (MORGENSTERN, 1995)

2.1 Aspectos gerais da qualidade da água

O conceito de qualidade de água refere-se à concentração dos constituintes particulados e dissolvidos na água e que podem ter uma influência direta ou indireta nos seus usos (BECKER, 2010). Do ponto de vista hidrogeológico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo dela e pode ser definida levando em consideração seus parâmetros físicos, químicos e biológicos (SANTOS, 2008).

Água é o elemento natural, desvinculado de qualquer uso. Recurso hídrico, por sua vez, é toda água proveniente da superfície ou subsuperfície da Terra, e que pode ser empregada em um determinado uso ou atividade, podendo também passar a ser um bem econômico.

Um dos motivos pelos quais se estabelece esses padrões diz respeito ao impacto negativo na qualidade das águas, principalmente dos mananciais superficiais, que em decorrência da falta de planejamento urbano e ocupação desordenada das bacias hidrográficas leva a diminuição da disponibilidade hídrica das águas superficiais potáveis (REBOUÇAS; BRAGA JR.; TUNDISI, 2002)). As águas subterrâneas têm se constituído em importante alternativa para abastecimento de comunidades rurais e urbanas, tanto para uso agrícola, quanto industrial (CAPUCCI *et al.*, 2001).

A região do nordeste brasileiro, por exemplo, está exposta a escassez de água devido às baixas precipitações pluviométricas que ocorrem, periodicamente, de forma irregular. Essa situação enquadra a região nordestina do Polígono das Secas, com secas periódicas que podem surtir efeitos catastróficos, e o Ceará encontra-se predominantemente nessa região. Portanto, a necessidade de gestão hídrica e política de decisões mais consistentes e contínuas tornam-se essenciais para lidar com essa realidade (IPECE, 2018).

A água potável é definida como aquela que pode ser consumida pelo Homem e que não venha prejudicar sua saúde, sendo de boa qualidade e insípida. Nas análises físico-químicas e bacteriológicas, essas características podem ser observadas e relacionadas aos padrões referentes ao consumo humano (SOTO *et al.*, 2006).

Os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos determinam as características de potabilidade necessárias para que a água seja propícia para o consumo humano e são regulamentados por normas e/ou padrões definidos pelo Ministério da Saúde representados na Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, nos Arts. 36 e 38, do Anexo XX onde consta que a água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e com o padrão organoléptico de potabilidade, e a Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

2.1.1 Parâmetros físico-químicos da água

A Portaria GM/MS nº 888/2021 regulamenta 54 substâncias químicas que representam riscos à saúde humana, dentre as quais 22 são princípios ativos de agrotóxicos e se encontram em processo de revisão.

A composição química da água subterrânea é resultante da combinação da água que entra no subsolo e da evolução química influenciada diretamente pelos litotipos locais e/ou regionais, no caso de extensos aquíferos. A concentração de substâncias dissolvidas vai aumentando à medida que prossegue o movimento e de acordo com o tempo de contato entre a água subterrânea e o solo e rochas e/ou sedimentos que a armazenam. A grande maioria das substâncias dissolvidas encontra-se em estado iônico nas águas subterrâneas e a soma destas substâncias é representada pela quase totalidade dos íons presentes. Dos elementos maiores, o cálcio desempenha um papel de fundamental importância no processo de troca iônica (CARACAS, 2013).

O cálcio é um dos responsáveis pela dureza da água e produz gosto salobro nas águas, ocorrendo, em geral, sob a forma de bicarbonato. As águas subterrâneas apresentam teores mais frequentes de magnésio e cálcio no intervalo de 1 a 40 mg.L⁻¹ e 10 e 100 mg.L⁻¹, respectivamente. O sódio e o cloreto são os principais íons responsáveis pelo aumento constante da salinidade das águas naturais. O sódio é muito solúvel e em águas subterrâneas a concentração esperada oscila de 1 a 150 mg.L⁻¹. Está geralmente associado à concentração de cloreto e não é afetada por outros íons em solução, mas sim pela interação com a superfície e minerais adjacentes, especialmente as argilas, no processo de troca iônica. O cloreto possui uma solubilidade alta atingindo concentrações de até 250 mg.L⁻¹ em condições naturais e pode estar associado a presença de rochas sedimentares ou às atividades humanas (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1996).

O potássio apresenta comportamento diferenciado em relação ao sódio, apesar de pertencerem ao mesmo grupo (metais alcalinos). Pode ocorrer em pequenas quantidades ou estar ausente nas águas subterrâneas, devido à participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais e suas concentrações nestas águas são inferiores a 10 mg.L⁻¹ (SANTOS, 2008).

Em águas subterrâneas a concentração do SO₄²⁻ é de até 150 mg.L⁻¹ e pode ser controlada por redução química do íon a partir da atividade orgânica, pela oxidação de sulfetos e pela concentração de água de chuva no solo (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1996).

As águas subterrâneas com excesso de sulfato (> 400 mg.L⁻¹) podem causar efeitos laxativos e, na presença de íons de magnésio e sódio, podem provocar distúrbios gastrintestinais. O sulfato também é caracterizado por aumentar a salinidade dos solos e predomina nas águas muito ácidas, com pH < 2, devido à dissociação incompleta do ácido sulfúrico (SANTOS, 2008).

2.1.2 Metais pesados

Alguns metais pesados podem ser encontrados naturalmente nas águas ou por ações antrópicas nas águas. A maioria dos elementos traços faz parte, embora em pequeníssimas concentrações, tanto da constituição da crosta terrestre quanto dos organismos. No entanto, com a industrialização, a concentração destes elementos tem aumentado de maneira surpreendente, fazendo com que os elementos traços, inofensivos ao homem, se tornassem uma das mais graves e temidas formas de poluição ambiental que se tem conhecimento (ESTEVES, 1998).

A ocorrência de muitos metais na água baseia-se em processos de dissolução e precipitação dos seus hidróxidos ou compostos semelhantes. Particularmente, os elementos ferro (Fe), cobre (Cu), alumínio (Al), chumbo (Pb), manganês (Mn) e o cromo (Cr) se transformam durante processos de intemperismo em compostos solúveis na água. A solubilidade dos minerais depende do pH, potencial redox, temperatura e a pressão sofrida por estes no solo. A atividade microbiana e do seu metabolismo pode causar precipitação dos hidróxidos dos metais (POHLING, 2009). A presença de metais em águas subterrâneas pode acarretar efeitos tóxicos a saúde humana e contaminar o meio ambiente.

Os metais presentes nas águas naturais são provenientes da lixiviação de minerais das rochas, drenagem de água de chuva e descarga de águas de despejos de origem urbana, industrial e agropecuária. O lançamento do metal mobilizado para a coluna d'água através da dessorção a partir de um sedimento pode produzir efeitos ambientais sérios (SANTOS; SANTOS; OLIVEIRA, 2008).

2.1.3 Agrotóxicos

Os agrotóxicos vêm sendo alvo de muitas discussões e pesquisas. Com o crescimento populacional e a expansão agrícola, é crescente o consumo de substâncias e fertilizantes químicos pela agricultura brasileira, produzindo efeitos deletérios à saúde humana, comprometendo e degradando o meio ambiente. Pesquisas no âmbito mundial têm mostrado a relação do uso de agrotóxicos com várias patologias, como o câncer, má formação de feto, doenças neurológicas, Alzheimer, Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH), autismo e depressão, dentre outras. Em 2020, a ANVISA aprovou o novo marco regulatório para agrotóxicos, alterando a avaliação e classificação das substâncias. No Estado do Ceará, as pesquisas na área da saúde (AGUIAR, 2017; BARBOSA *et al.*, 2019; FILHO; PIRES, 2013; RIGOTTO, 2011) e do meio ambiente (MILHOME, 2011; TEIXEIRA, 2015)

ratificam as doenças causadas pelos agrotóxicos e o impacto causado ao meio ambiente, principalmente nos recursos hídricos. O Ceará, em 2019, tornou-se o primeiro estado brasileiro a proibir a pulverização aérea, Lei Nº 16.820, de 08 de Janeiro de 2019.

2.1.3.1 Agrotóxicos no Brasil

Desde 2008, o Brasil ocupa o posto de maior consumo de agrotóxicos do mundo, ressaltando que entre 2000 e 2010, o mercado nacional de agrotóxicos registrou um crescimento de 190%, enquanto o mercado mundial cresceu 93% (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O aumento do uso de agrotóxicos aumenta o risco de exposição da população e a contaminação no meio ambiente. Os efeitos causados à saúde humana variam de acordo com o princípio ativo, a dose absorvida, a forma de exposição e as características individuais da pessoa exposta.

Conforme Burigo (2016), atualmente o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos. Estima-se que cada brasileiro ingira, em média, 5,2L de veneno/ano; enfatiza, ainda, que muitos dos venenos que são utilizados no país já foram banidos em outros países devido à comprovação de seus efeitos nocivos.

A lista e efeitos nocivos dos agrotóxicos são preocupantes. Classificados em inseticidas, algicidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas e bactericidas, dentre outros. A classificação é feita de acordo com a especificação de sua ação tóxica da seguinte maneira: (1) *inseticida*, quando combate as pragas, matando-as por contato ou ingestão; (2) *fungicida*, quando age sobre os fungos impedindo a germinação, colonização ou erradicando o patógeno dos tecidos das plantas; (3) *herbicida*, quando age sobre as ervas daninhas, seja como pré-emergência ou como pós-emergência; (4) *acaricida*, quando elimina os acarinos; (5) *nematicida*, quando elimina os nematoides do solo; e (6) *bactericida*, quando controlam as bactérias.

Ultimamente, pesquisas e estudos comprovam que o uso de agrotóxicos no Brasil alcançou níveis preocupantes, comprometendo a saúde humana e uma degradação ambiental intensa. Lopes e Albuquerque (2018) realizaram uma revisão sistemática no período de 2011 a 2017 acerca desse tema em bases de dados científicos. Na pesquisa os autores incluíram 116 estudos que demonstraram o impacto negativo para a saúde humana e ambiental. Foi percebido, ainda, que existe uma importante lacuna no que diz respeito ao desvelamento dos nexos dos processos no tocante aos níveis singular, particular e estrutural da realidade, na determinação da saúde e de doenças ligadas ao uso dos agrotóxicos.

Essas substâncias são transportadas por diferentes distâncias, dependendo de fatores como estabilidade e estado físico do composto que indicam o comportamento de um agrotóxico no ambiente, desde a sua aplicação até ao destino final, tendo em vista que cada agrotóxico tem sua própria estrutura molecular e comportamento diferenciados no meio.

A exposição aos agrotóxicos e os impactos que estes podem causar tornaram-se um relevante problema ambiental e de saúde pública, diante do uso intenso e difuso destes produtos no Brasil (BRASIL, 2018).

Segundo o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2014 foi registrada a maior quantidade de agrotóxicos comercializados no Brasil. Entre 2007 e 2014 esse quantitativo passou de cerca de 623.353.689kg para 1.552.998.056kg, um aumento de 149,14% (BRASIL, 2018).

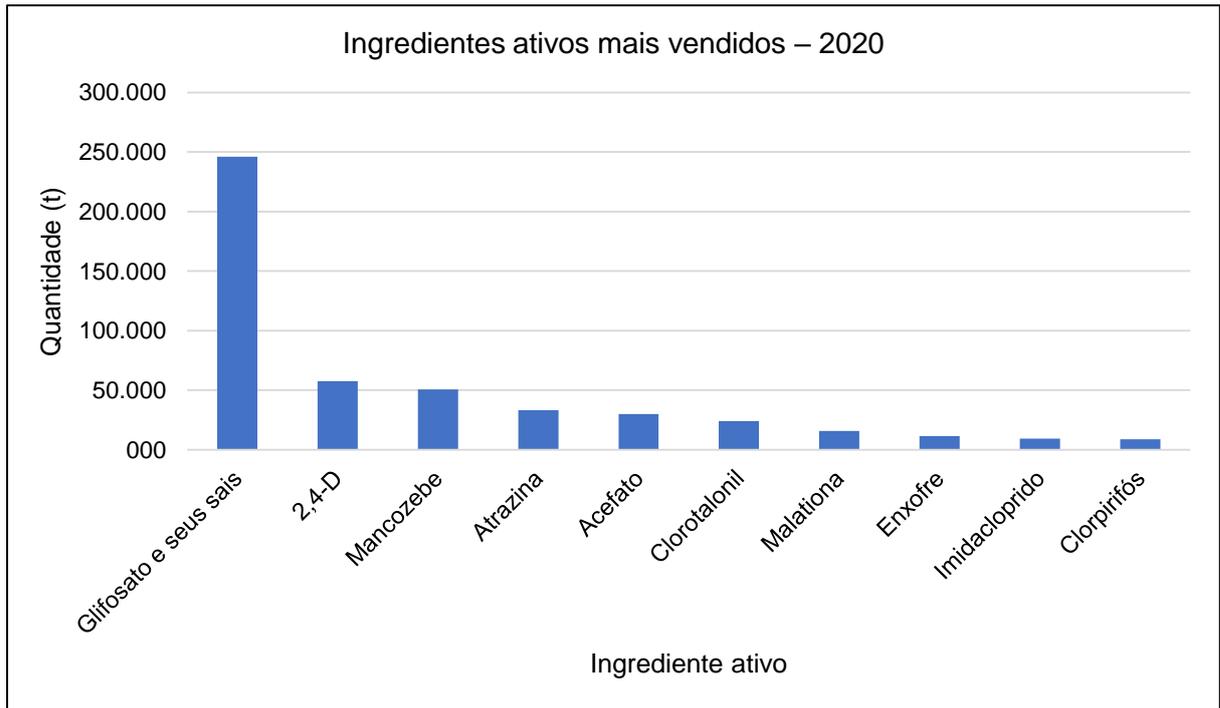
Conforme Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (BRASIL, 2018) a série histórica de 2007 a 2014 da taxa de comercialização de agrotóxicos e afins por área plantada (kg/ha) no Brasil, foi observado um aumento de 7,84 kg/ha para 16,87 kg/ha, onde o ano de 2014 apresentou o maior quantitativo dessa taxa. A incidência das notificações de intoxicações por agrotóxicos também aumentou gradativamente, passando de 2,70/100 mil hab. em 2007 para 6,26/100 mil hab. no ano correspondente.

Conforme boletim anual (IBAMA, 2020) sobre ingredientes ativos mais vendidos no Brasil no ano de 2020, entre os dez (10) mais comercializados, o glifosato e seus sais aparecem em primeiro lugar com 246.017,50 toneladas de substâncias vendidas, seguido pelos ingredientes 2,4-D, mancozebe, atrazina, acefato, clorotalonil, malationa, enxofre, imidacloprido e clorpirifós, respectivamente (Gráfico 2).

O consumo de agrotóxicos no Brasil só tem crescido, e ele ocupa atualmente o posto de um dos maiores consumidores mundiais, chegando a comercializar, em 2016, o volume de 551.313,25 toneladas de ingredientes ativos (IA) (WEBER; ANDRADE, 2019). O uso de agrotóxico, nos moldes em que vem ocorrendo no país, tem sido nefasto não só do ponto de vista socioeconômico, como também ambiental e sanitário (BOMBARDI, 2011).

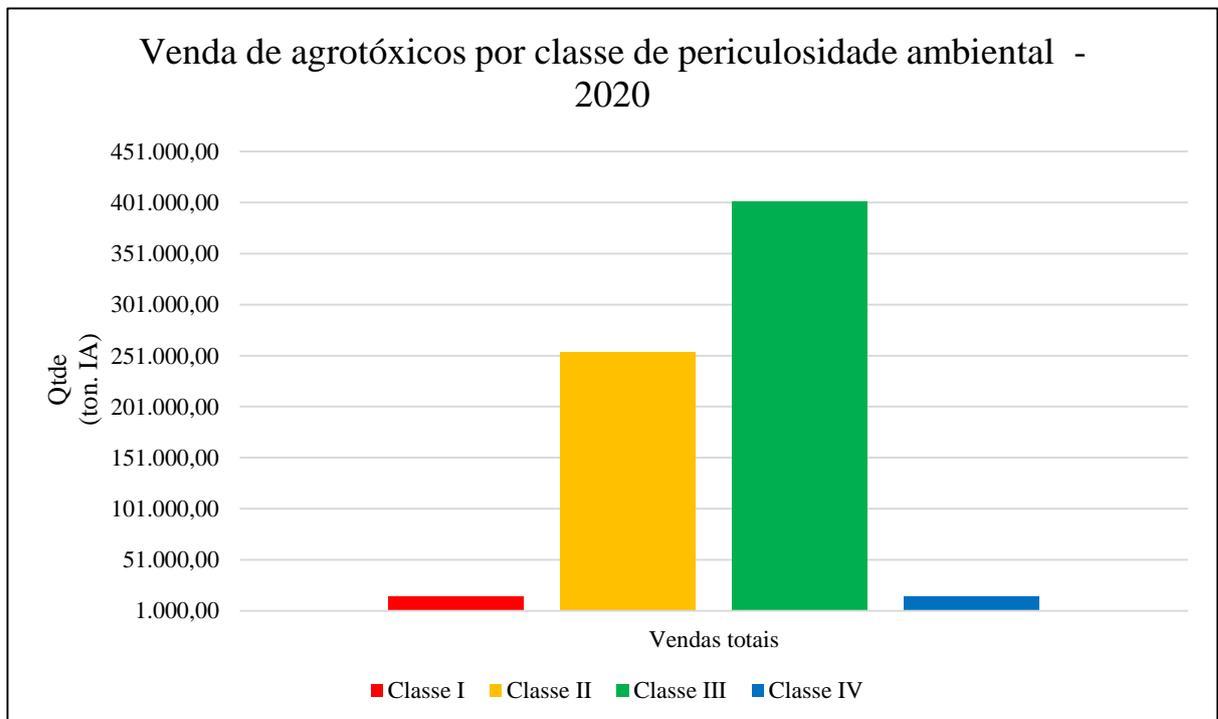
O boletim anual IBAMA (2020) sobre a venda de agrotóxicos por classe de periculosidade ambiental (Gráfico 3) mostra que a classes II e III, ambas classificadas como produto muito perigoso ao meio ambiente, foram os mais vendidos em 2020.

Gráfico 2 – Venda de agrotóxicos por classe de periculosidade ambiental – 2020.



Fonte: (IBAMA, 2020 - Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002).

Gráfico 3 – Venda de agrotóxicos por Classe de Periculosidade Ambiental – 2020.



Fonte: IBAMA, 2020 - Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.

2.1.3.2 Agrotóxicos no Ceará

Os agrotóxicos do Ceará são mais presentes em áreas de cultivos onde há perímetros de irrigação que geralmente são áreas conflituosas, como o caso do agricultor, ambientalista e líder comunitário José Maria Filho, assassinado em 2010 no município de Limoeiro do Norte, em função das denúncias que o ambientalista realizava por conta do envenenamento das comunidades com o uso da pulverização aérea.

Desde 2012, estima-se que a taxa de consumo passou de 0,91 kg/ha para 7,29 kg/ha, enquanto a área plantada se manteve na ordem de 2 milhões de hectares. Esse perfil de consumo desproporcional à área plantada se deve, entre outros fatores, ao aumento da produtividade agrícola (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Esse cenário de consumo desproporcional à área plantada se deve, entre outros fatores, ao aumento da produtividade agrícola alcançado graças à introdução de novas tecnologias e ao melhor aproveitamento de insumos (BRASIL, 2016). Nesse contexto, os pequenos produtores ficam mais vulneráveis quanto ao uso inadequado de agrotóxicos, tendo em vista o reduzido acesso à informação e às novas tecnologias.

No Ceará, a agricultura familiar é responsável pelo cultivo de 91% do feijão, 89% do milho grão, 88% do arroz em casca, 82% da mandioca e 81% da criação de suínos (ESMERALDO *et al.*, 2017).

Embora o consumo de agrotóxicos no estado tenha aumentado, 70% dos municípios priorizados pelo estado não realizaram notificação de intoxicação por agrotóxicos no SINAN, de 2011 a 2014 (BRASIL, 2016). Percebe-se, que, apesar da existência de um fluxo regular de notificações, o número de intoxicações registradas provavelmente está aquém da realidade. Dos 184 municípios cearenses, apenas 48 notificaram no SINAN no período analisado. Dentre esses, menos da metade apresentou mais de 10 notificações.

2.1.3.2.1 Agrotóxicos no Baixo Jaguaribe

A região do Baixo Jaguaribe apresenta uso intenso de agrotóxicos, principalmente em áreas onde se encontram os perímetros de irrigação. Várias pesquisas sobre a presença de agrotóxicos em águas superficiais e subterrâneas mostram que a prática do uso de agrotóxico é bastante comum, desde o pequeno produtor aos grandes cultivos agrícolas, sem a qual não seria possível uma produção economicamente satisfatória (TEXEIRA, 2015).

Conforme Sousa *et al.* (2018), as taxas de mortalidade por câncer na Regional de Saúde de Russas se apresentam sempre de média a alta, o que demanda um estudo mais detalhado de possíveis causas geológicas e antropológicas que possam comprometer a saúde humana. Os autores apresentaram, ainda, uma visão geral da distribuição dos cinco tipos de câncer mais frequentes no Estado: brônquios e pulmões, colo do útero, estômago, mama e próstata, em que constataram, por meio de dados do ano de 2015, uma maior incidência de câncer nos municípios que, em sua maioria, fazem parte da Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe.

Gama, Oliveira e Cavalcante (2013) realizaram diagnóstico e risco de contaminação dos recursos hídricos através dos princípios ativos dos agrotóxicos comercializados no litoral de Aracati e do Baixo Jaguaribe, onde foram identificados 198 princípios ativos, sendo 48% com classes toxicológicas I e II e mais de 60% com classificação ambiental I e II; 59,6% com potencial alto ou médio de contaminação de água superficial; 68,9% com potencial alto ou médio para o transporte de contaminantes dissolvidos em água; mais de 64% foram enquadrados como contaminantes de águas profundas pelos critérios da Agência de Proteção Ambiental dos EUA.

2.1.3.3 Águas e agrotóxicos

Pesquisas apontam que compostos orgânicos nocivos à saúde e ao meio ambiente, entre eles o agrotóxico glifosato, estão na água aparentemente pura e cristalina que chega às torneiras da população, provenientes de esgotos doméstico e industrial, além de atividades agropecuárias, despejados em mananciais destinados ao consumo humano, ou passam por estações de tratamento de água cujos protocolos utilizados são defasados (SETIC-UFSC, 2018).

Os aquíferos, em geral, podem ser contaminados por pesticidas através da lixiviação da água e da erosão dos solos. Esta contaminação também pode ocorrer superficialmente, devido à intercomunicabilidade dos sistemas hídricos, atingindo áreas distantes do local de aplicação do agrotóxico.

As práticas agrícolas e a vulnerabilidade natural do aquífero podem representar alto nível de impactos negativos, tornando assim a água imprópria para o consumo (BOHNER; ARAÚJO; NISHIJIMA, 2013). Teixeira (2015) identificou 12 tipos diferentes de agrotóxicos em águas de poços no Aquífero Jandaíra - Chapada do Apodi/CE, sendo os mais comuns o imidacloprido e a clotianidina. Ao correlacionar o nível estático com a presença de agrotóxicos a autora enfatiza que, independentemente do período climático, a contaminação está atingindo

o nível estático em nível mais profundo.

Conforme o estudo realizado no projeto “*Por Trás do Alimento*” pelas organizações Agência Pública, Repórter Brasil e *Public Eye*, em um copo de água estão presentes 27 tipos diferentes de agrotóxicos, realidade de um em cada quatro municípios brasileiros. Um coquetel que mistura diferentes agrotóxicos foi encontrado na água de 1 em cada 4 cidades do Brasil entre 2014 e 2017. Nesse período, as empresas de abastecimento de 1.396 municípios detectaram todos os 27 pesticidas que são obrigados por lei a testar.

2.1.3.4. *Saúde e agrotóxicos*

A utilização de agrotóxicos beneficia a produção agrícola e a economia mundial, no entanto, pode trazer danos impactantes à saúde da população. (RÓDIO; ROSSET; BRANDALIZE, 2021). Muitos são os estudos e pesquisas acerca dos danos causados pelos agrotóxicos na saúde humana. O Ministério da Saúde estima que, no Brasil, existam mais de 400 mil pessoas contaminadas anualmente por agrotóxicos, com cerca de 4.000 mortes por ano (ABRASCO, 2015). Entre os países em desenvolvimento, os agrotóxicos causam, anualmente, 70 mil intoxicações agudas e crônicas (FARIA; FASSA; FACCHINI, 2007).

Os agrotóxicos são produtos químicos sintéticos usados para matar insetos, larvas, fungos, carrapatos sob a justificativa de controlar as doenças provocadas por esses vetores e de regular o crescimento da vegetação, tanto no ambiente rural quanto urbano. Porém, podem causar efeitos agudos e crônicos (BRASIL, 2002).

Diante dos resultados encontrados na área de estudo, e relacionando-os com as diversas pesquisas realizadas no Baixo Jaguaribe onde está localizado o PITR, o uso dos agrotóxicos é intenso e percebe-se que o assunto agrotóxico e saúde humana é preocupante.

Conforme Klaassen (2013), os efeitos agudos são aqueles de aparecimento rápido e os crônicos são aqueles que aparecem após exposições repetidas a pequenas quantidades de agrotóxicos por um período prolongado. Podem surgir os seguintes sintomas:

- a) Efeitos crônicos: Através da pele (irritação na pele, ardência, desidratação, alergias); através da respiração (ardência do nariz e boca, tosse, coriza, dor no peito, dificuldade de respirar), e; através da boca - irritação da boca e garganta, dor de estômago, náuseas, vômitos, diarreia. Outros sintomas inespecíficos também podem ocorrer, tais como dor de cabeça, transpiração anormal, fraqueza, câimbras, tremores e irritabilidade.

- b) Efeitos agudos: dificuldade para dormir, esquecimento, aborto, impotência, depressão, problemas respiratórios graves, alteração do funcionamento do fígado e dos rins, anormalidade da produção de hormônios da tireoide, dos ovários e da próstata, incapacidade de gerar filhos, malformação e problemas no desenvolvimento intelectual e físico das crianças. Estudos apontam grupos de agrotóxicos como prováveis e possíveis carcinogênicos.

Ainda, de acordo com a ANVISA (2018), a exposição a agrotóxicos e desenvolvimento de câncer ainda gera polêmicas, principalmente porque os indivíduos estão expostos a diversas substâncias, sem contar os outros fatores genéticos. Salienta, ainda, que estudos vêm mostrando o potencial de desenvolvimento de câncer relacionado a diversos agrotóxicos, justificando a recomendação de precaução para com o uso e contato.

Um problema muito frequente é a exposição de agricultores a vários agrotóxicos de grupos químicos diferentes, e também a misturas de agrotóxicos. Comumente esta exposição acontece ao longo de vários anos, com algumas manifestações agudas de intoxicação por algum veneno específico. Os toxicologistas já sabem que a toxicidade das misturas não é equivalente a soma das atividades tóxicas de cada produto. Os produtos podem interagir entre si e produzir efeitos adversos diferentes e por vezes mais graves do que aqueles provocados separadamente por cada um dos diferentes produtos. Existe atualmente uma preocupação especial com relação a “misturas involuntárias” entre produtos. Isto acontece porque alguns venenos podem persistir no meio ambiente por longos períodos. Assim, o agricultor pode, no campo, ficar exposto a diferentes produtos que tenham sido aplicados em ocasiões distintas (LONDRES, 2011).

O IARC (2022), baseado em dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, *International Agency for Research on Cancer* e *United States Environmental Protection Agency*, lista ingredientes ativos de grande consumo no Brasil e sua relação com o câncer (Quadro 1). Para muitos desses danos, qualquer dose diferente de zero é suficiente para causar um dano, não existe exposição segura aos agrotóxicos, uma vez que o perigo é uma característica intrínseca aos agrotóxicos, não sendo possível eliminá-lo (GURGEL, 2018).

Quadro 1 – Relação de ingredientes ativos de grande consumo no Brasil e sua relação com o câncer.

NOME	GRUPO	CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA (ANVISA)	CLASSIFICAÇÃO DA CARCINOGENICIDADE		RELAÇÃO COM CÂNCER
			IARC	USEPA	
2,4-D	Herbicida	Classe I Extremamente tóxico	Grupo 2B: Possivelmente carcinogênico para humanos	-	Pele, cavidade nasal, sinusal, nasofaringe, orofaringe, laringe
ACEFATO	Inseticida	Classe III Medianamente Tóxico	ND	Possível carcinogênico para humanos	Leucemias, Linfomas não Hodgkin, pâncreas
ATRAZINA	Herbicida	Classe III Medianamente tóxico	Grupo 3: Não é classificável para carcinogenicidade em humanos	-	Linfomas não Hodgkin
CLORPIRIFÓS	Inseticida	Classe II Altamente Tóxico	ND	Ausência de carcinogenicidade para seres humanos.	Leucemias, Linfomas não Hodgkin, pâncreas
DIAZINONA	Inseticida	Classe II Altamente Tóxico	Grupo 2A: Provavelmente carcinogênico para humanos	-	Leucemias, Linfomas não Hodgkin, câncer de pulmão
DIURON	Herbicida	Classe III Medianamente Tóxico	ND	Provavelmente carcinogênico para humanos	Neoplasia (sem localização definida)
GLIFOSATO	Herbicida	Classe IV Pouco tóxico	Grupo 2A: Provavelmente carcinogênico para humanos	-	Linfomas não Hodgkin

NOME	GRUPO	CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA (ANVISA)	CLASSIFICAÇÃO DA CARCINOGENICIDADE		RELAÇÃO COM CÂNCER
			IARC	USEPA	
MALATIONA 121-75-5	Inseticida	Classe III Medianamente Tóxico	Grupo 2A: Provavelmente carcinogênico para humanos	Linfomas não Hodgkin, câncer de próstata.	-
MANCOZEBE	Fungicida	Classe III	Grupo 3: Não é classificável para carcinogenicidade em humanos	-	Linfomas não Hodgkin
METOMIL	Inseticida	Classe I Extremamente Tóxico	ND	Ausência de carcinogenicidade para seres humanos	-

Fonte: IARC (2022).

Conhecer as características físico-químicas dos agrotóxicos é fundamental para classificar sua potencialidade contaminante ao meio ambiente e conseqüentemente ao homem (OPAS/OMS, 1996) (Quadro 2).

Quadro 2 – Classificação e efeitos e/ou sintomas agudos e crônicos dos agrotóxicos.

PRAGA CONTROLADA	GRUPO QUÍMICO	SINTOMAS DE INTOXICAÇÃO AGUDA	SINTOMAS DE INTOXICAÇÃO CRÔNICA
Inseticida	Organofosforados e carbamatos	Fraqueza, cólicas abdominais, vômitos, espasmos musculares e convulsões	Efeitos neurotóxicos retardados, alterações cromossomiais e dermatites de contato
	Organoclorados	Náuseas, vômitos, contrações musculares involuntárias	Lesões hepáticas, arritmias cardíacas, lesões renais e neuropatias periféricas
	Piretróides sintéticos	Irritações das conjuntivas, espirros, excitação, convulsões	Alergias, asma brônquicas, irritações nas mucosas, hipersensibilidade
Fungicida	Ditiocarbamatos	Tonteados, vômitos, tremores musculares, dor de cabeça	Alergias, respiratórias, dermatites, doenças de Parkinson, cânceres
	Fentalamidas	-	Teratogêneses
Herbicida	Dinitroferóis e pentaclorofenol	Dificuldade respiratória, hipertermia, convulsões	Cânceres (PCP-formação de dioxinas), cloroacnes
	Fenoxiacéticos	Perda de apetite, enjoo, vômitos, fasciculação muscular	Indução da produção de enzimas hepáticas, cânceres, teratogêneses
	Dipiridilos	Sangramento nasal, fraqueza, desmaios, conjuntivites	Lesões hepáticas, dermatites de contato, fibrose pulmonar

Fonte: OPAS/OMS, 1996.

Conforme Pimentel (1996), pela amplitude da utilização dos agrotóxicos no modelo de produção de alimentos, há estimativas de associação entre exposição e o desenvolvimento de câncer. Nos Estados Unidos da América estima-se que anualmente ocorram cerca de 6.000 a 10.000 casos de câncer associados com agrotóxicos. Essa associação está mais bem caracterizada nos cânceres de pulmão, de mama, dos testículos, da tireoide, da próstata, do ovário e do sistema hematopoiético (Linfomas não Hodgkin, leucemias e mieloma múltiplo).

No Brasil, Meyer *et al.* (2003) mostraram uma alta taxa de mortalidade para câncer de estômago, esôfago, laringe, câncer oral e leucemias em agricultores expostos a agrotóxicos na região Serrana do Rio de Janeiro. Koifman; Meyer (2002) também descreveram o mesmo resultado nas neoplasias malignas de mama, ovário e próstata, em amostra de grupos

populacionais expostos a agrotóxicos no período de 1985 a 1990.

Bedor (2008) realizou pesquisa no período de 2005 a 2007 no Polo Fruticultor do Submédio do Vale de São Francisco onde identificou as neoplasias com maiores taxas de mortalidades, pulmão, mama, próstata e estômago.

Conforme Koifman e Hatagima (2003), o processo de carcinogênese, de modo geral, ocorre lentamente e caracteriza-se por mudanças funcionais na célula que culminam em um descompasso do seu ciclo replicativo, perda do controle da divisão celular e que podem ser induzidas por agentes externos ou internos ao organismo. Conforme INCA (2019), a exposição de trabalhadores rurais aos agrotóxicos é um fator de risco para o desenvolvimento de cânceres de estômago, leucemia, Linfoma não Hodgkin e câncer de bexiga.

De acordo com Grisolia (2005) e Pimentel *et al.* (2006), a associação entre agrotóxicos e diferentes tipos de câncer entre agricultores apresentados com maior frequência são os do sistema hematopoiético - Linfoma não Hodgkin, mieloma múltiplo e leucemias, além de pulmões, estômago, melanomas, próstata, cérebro, testículos e sarcomas.

Costa (2017) realizou a primeira e única pesquisa mundial sobre as alterações cromossômicas em medula óssea de agricultores expostos a agrotóxicos. Na pesquisa foi identificado que 76% dos trabalhadores sofrem exposição por mais de 12 anos, seja trabalhando no preparo, na mistura ou na pulverização de pesticidas. As correlações dos resultados da pesquisa mostraram uma relação intrínseca, e que a grande maioria dos genes de reparo de DNA investigados estavam baixo, expressos em agricultores expostos à pesticidas, o que muito aumenta o risco de desenvolver câncer de medula óssea.

Segundo Weichenthal; Moase; Chan (2012), à maioria das associações observadas de toxicidade em animais suportam a plausibilidade biológica das relações observadas para alaclor, carbaril, metolaclor, pendimetalina, permetrina e trifluralina. Os trabalhadores agrícolas são considerados um grupo de maior vulnerabilidade ao câncer tendo em vista o contexto produtivo em que estão inseridos, pois lidam diretamente com tais venenos nas diversas atividades que desenvolvem, tais como aplicadores, colhedores, transportadores, operários das fábricas, misturadores das caldas tóxicas e empacotadores.

Estudo realizado pela Universidade Federal do Ceará, entre 2000 e 2012, em estabelecimentos de saúde habilitados como Unidades de Alta Complexidade em Oncologia, identificou um registro de 3.274 casos de câncer infanto-juvenil. Nesse período foi identificado que a faixa etária com maiores números de óbitos registrados de câncer infantojuvenil foi a de 15 a 19 anos de idade. A pesquisa aponta, ainda, que câncer como leucemia e Linfomas não Hodgkin são os mais comuns para essa faixa etária do Ceará (BARBOSA, 2016).

A exposição a substâncias químicas perigosas, como os agrotóxicos, presentes no ar, no solo, na água ou nos alimentos, é de grande relevância para a saúde pública, pois implica na possibilidade de que algum efeito danoso à saúde venha a ocorrer à população exposta. Este efeito depende das características e da intensidade da exposição, assim como do grau de suscetibilidade ou vulnerabilidade das pessoas expostas. Segundo a Organização Mundial da Saúde, estima-se que para cada notificação de intoxicação por agrotóxico, outros 50 casos não foram notificados. Estes casos de intoxicação por agrotóxicos não são identificados por fatores diversos como a falta de acesso aos serviços de saúde pela população do campo, dificuldades enfrentadas pelos médicos em identificar esse tipo de intoxicação, medo dos profissionais da saúde de assumir tal notificação haja vista o poder dos grandes fazendeiros do agronegócio nesses territórios e desconhecimento da obrigatoriedade da notificação (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Conforme Diógenes (2017), os efeitos nocivos à saúde provocados pelo uso de agrotóxicos se refletem nos benefícios concedidos pela previdência social. No Brasil, as neoplasias corresponderam à 7,8% das aposentadorias por invalidez em 2015, sendo a terceira causa de concessão desses benefícios. Houve uma ascensão nas taxas de mortalidade por câncer nas microrregiões de saúde de Russas (que incluem os municípios de Jaguaratama, Jaguaruana, Morada Nova, Palhano, Russas) e de Limoeiro do Norte (que incluem os municípios de Quixeré, Limoeiro do Norte, Tabuleiros do Norte, São João do Jaguaribe, Alto Santo, Jaguaribara, Iracema, Potiretama, Ererê, Jaguaribe, Pereiro). No estudo, o autor constatou que a clientela rural da previdência social cearense tem 5 vezes mais risco de receber benefício por câncer que a urbana. O câncer de pele é causa importante de incapacidade para a clientela rural. Se excluído esse tipo de câncer, os cânceres hematológicos tornam-se a segunda causa de incapacidade para homens da clientela rural. As regiões de saúde com as maiores taxas de benefícios por câncer para a clientela rural foram Icó, Limoeiro do Norte e Russas. As taxas de benefícios da clientela rural são elevadas e estáveis ao longo de toda a série temporal.

Rigotto *et al.* (2013) realizaram estudo de abordagem quantitativa, ecológica, referente ao período de 2000 a 2010, onde compararam indicadores de morbimortalidade por alguns agravos crônicos relacionados aos agrotóxicos entre dois grupos distintos: *Grupo de caso*: Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas, onde vem se expandindo, desde o ano 2000, as atividades do agronegócio, e o uso intensivo de agrotóxicos e a mecanização, e; o *Grupo controle*: municípios com populações semelhantes, onde se desenvolve apenas a agricultura familiar tradicional do semiárido, denominada agricultura de sequeiro, onde a utilização de agrotóxicos é pequena. O estudo selecionou 11 municípios controle, no qual se buscou garantir

pareamento com os municípios de estudo. O resultado do estudo mostrou que a taxa de internações por neoplasias foi 1,76 vezes maior no grupo de estudo em relação ao grupo de controle. Da mesma maneira, a taxa de mortalidade por neoplasias também foi maior nos municípios de estudo.

Os óbitos por câncer no município de Russas aumentaram nos últimos 20 anos segundo os arquivos de dados do DATASUS (2022). A partir de 2013, Russas e Limoeiro do Norte surgem com proporção de óbitos hospitalares por câncer acima do Ceará e de Fortaleza. Em 2014, mais de 15% dos óbitos hospitalares de Limoeiro do Norte eram por câncer, enquanto o Ceará estava com 9% e Fortaleza, que recebe pacientes de todo estado, apresentou taxa de 11%. Em 2015, Russas teve mais de 14% desses óbitos por câncer, sendo que no Ceará a taxa foi de um pouco mais de 8% e Fortaleza, quase 10%. Em 2016, Russas teve quase 14% desses óbitos relacionados ao câncer, e Limoeiro do Norte, quase 12%, enquanto o Estado do Ceará e Fortaleza eram de pouco mais de 8% e 10%, respectivamente (DIÓGENES, 2017).

2.1.3.4.1 Intoxicação por agrotóxicos

Atualmente, no Brasil, a intoxicação por agrotóxicos faz parte da lista de agravos de notificação obrigatória no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), conforme a Portaria nº 204, de 17 de fevereiro de 2016 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2016) que define a Lista Nacional de Notificação Compulsória de doenças, agravos e eventos de saúde pública nos serviços de saúde, públicos e privados, em todo o território nacional.

No período de 2007 a 2015 observou-se um crescente aumento do número de notificações por intoxicações por agrotóxicos, possivelmente em decorrência do aumento da comercialização dessas substâncias e da melhoria da atuação da vigilância e assistência à saúde para identificação, diagnóstico e notificação dos casos. Nesse período ocorreu um acréscimo de 139% das notificações, sendo o total acumulado de 84.206 casos. Destaca-se que em 2014 foi registrado o maior número de notificações apresentando 12.695 casos. (BRASIL, 2018).

Embora alguns ingredientes ativos sejam classificados como medianamente ou pouco tóxico baseado em seus efeitos agudos, é necessário observar os efeitos crônicos que podem ocorrer em meses, anos ou até décadas após a exposição, manifestando-se em várias doenças como cânceres, malformação congênita, distúrbios endócrinos, neurológicos e mentais (CARNEIRO *et al.*, 2012).

Os agrotóxicos do Grupo Piretróide usados na agricultura, no ambiente doméstico e em campanhas de saúde pública como inseticidas, estão associados a diversos efeitos graves

à saúde. A cipermetrina (Classe II) é tóxica aos embriões de ratos, incluindo a perda pós-implantação dos fetos e malformações viscerais (ASSAYED; KHALAF; SALEM, 2010). Efeitos semelhantes como: mortes neonatais e malformações congênitas foram descritos em seres humanos plantadores de algodão (RUPA; REDDY; REDDI, 1991).

Segundo a OMS, estima-se que para cada notificação de intoxicação por agrotóxicos, outros 50 casos não foram notificados. Estes casos de intoxicação por agrotóxicos não são identificados por fatores diversos: falta de acesso aos serviços de saúde pela população do campo, dificuldades enfrentadas pelos médicos em identificar esse tipo de intoxicação, falta de preenchimento adequado das fichas, medo dos profissionais da saúde de assumir tal notificação haja vista o poder dos grandes fazendeiros do agronegócio nesses territórios, desconhecimento da obrigatoriedade da notificação (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Mais de 70% das mortes por agrotóxicos ocorrem nas regiões Sudeste e Nordeste. Segundo os dados do DATASUS, sistema de registro de casos de óbitos de pacientes que passaram pelo atendimento da rede pública de Saúde, os Estados com mais casos de morte por agrotóxicos, entre 2008 e 2017, foram São Paulo (1.070 mortes), Minas Gerais (819 mortes), Pernambuco (701 mortes) e Bahia (614 mortes) (GUIMARÃES, 2019).

2.1.3.5 Legislação dos agrotóxicos

No Brasil, antes da lei que regulamenta os agrotóxicos, estas substâncias eram discutidas apenas do ponto de vista da eficiência agrônômica, e usadas sem que existissem normas específicas que restringissem seu uso considerando seus efeitos para a saúde e para o ambiente. As avaliações se limitavam a medir os efeitos dos agrotóxicos no controle de espécies espontâneas e de doenças que afetavam a produção agrícola. A partir da década de 1960, a discussão sobre os riscos ambientais associados aos agrotóxicos alcançou expressão mundial, pois o efeito de algumas substâncias – entre as quais os organoclorados – já estavam sendo observados em várias regiões do planeta (FIOCRUZ, 2018).

A regulamentação acerca do uso de agrotóxico atende ao Decreto Federal Nº 10.833, de 7 de outubro de 2021, que regulamenta a Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989, em seu Artigo 1º, Inciso IV, no qual define o termo *agrotóxico* como:

Produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e

industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 2002, p.1).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) afirma que os agrotóxicos causam 70.000 intoxicações agudas e crônicas anuais e que evoluem para óbito, em países em desenvolvimento. Outros mais de 7.000.000 de casos de doenças agudas e crônicas não fatais também são registrados.

O processo de aprovação e registros dos agrotóxicos no Brasil é regulamentado por três órgãos: 1º) MAPA, que verifica a eficácia agrônômica ou veterinária; 2º) IBAMA, que avalia os efeitos ecotóxicos e a poluição ambiental, e; 3º) Ministério da Saúde, mediante a ANVISA, responsável pela avaliação toxicológica das substâncias para os seres humanos, devendo solicitar testes toxicológicos, tais como: DL 50 para toxicidade aguda, dérmica, inalatória e ocular; toxicidade cutânea; toxicidade em longo prazo; potencial carcinogênico; efeitos mutagênicos, teratogênicos; neurotoxicidade, dentre outros (BEDOR, 2008).

O IBAMA se responsabiliza por solicitar testes físico-químicos para identificação molecular, grau de pureza, solubilidade e Potencial Hidrogeniônico (pH), dentre outros. Para os organismos não alvos são solicitados testes com algas, abelhas, plantas e peixes. Ainda requer teste de biodegradabilidade, mobilidade e absorção do solo (BEDOR, 2008).

O Ceará possui legislação própria e específica para os agrotóxicos, com o objetivo de disciplinar o uso, comércio, armazenamento e fiscalização, discriminando as atribuições de diferentes órgãos na atuação da fiscalização do comércio, da destinação final de embalagens e do uso de agrotóxicos (CEARÁ, 1993).

A atividade de pulverização aérea de agrotóxicos em lavouras do Brasil é um tema complexo de ser abordado, tendo em vista o entendimento da classe político-econômica e diversos fatores. No Brasil não existe uma legislação detalhada para restrições de uso das misturas de agrotóxicos, porém para seus ingredientes ativos é estabelecido limites de concentração em alimentos; água e solo têm seus parâmetros estabelecidos separadamente. No Ceará, a Lei 16.820/19 proíbe a pulverização aérea.

Exemplo é o caso da região do Baixo Jaguaribe, onde o uso de pulverização aérea de agrotóxicos impactou na saúde dos trabalhadores do campo, bem como dos moradores que tiveram contaminação das hortas domésticas e projetos de agricultura familiar, dos poços, das casas sob as quais sobrevoam os aviões pulverizantes, além de contaminação dos ecossistemas

locais e regionais. Conforme (MARINHO, 2010), o uso de substâncias extremamente tóxicas como difenoconazol/triazol eram usadas para a pulverização na Chapada do Apodi.

2.1.3.6 Estudo da caracterização dos agrotóxicos

Conforme GALLI *et al.* (2006), os agrotóxicos compreendem uma vasta variedade de substâncias químicas, com diferentes grupos funcionais em suas moléculas e, conseqüentemente, com diferentes mecanismos de ação. A classificação desses produtos é feita, portanto, com base no grupo químico funcional da substância (classificação química), no organismo-alvo de ação e no nível de toxicidade (classificação toxicológica) (BRASIL, 1989) (Quadro 3).

Quadro 3 – Tipos de agrotóxicos

Tipo de agrotóxico	Finalidade ou organismo-alvo	Grupo Químico
Inseticida	Insetos	Organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides.
Herbicida	Ervas daninha	Triazinas, sulfoniluréias e bipiridílios.
Fungicida	Fungos	Hexaclorobenzeno(organoclorado), a captana (dicarboximida) e o etileno-bis-ditiocarbamato (ditiocarmabamato).
Raticidas	Roedores	Fosforeto de zinco, anidrido de arsênio.
Molusquecidas	Caracóis, lesmas	Metaldeído.
Nematecidas	Nemtóides	Carbofuran, aldicarb, terbufós.
Acariacidas	Ácaros	Tetradifon (clorodifenilsulfona), dicofol (organoclorado).
Bactericidas	Bactérias	-
Algicidas	Algas	Brometos de alquilbenzilamônio.

Fonte: BARBOSA, 2011

2.1.3.6.1 Classificação toxicológica dos agrotóxicos

Conforme a ANVISA (2019), existem cinco categorias toxicológicas baseadas no Sistema de Classificação Globalmente Unificado (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*) (GHS), identificadas por faixas coloridas, com pictogramas, imagens e palavras de advertência, sendo: 1) Extremamente tóxico (vermelha/perigo); 2) Altamente tóxico (vermelho/perigo); 3) Moderadamente tóxico (amarelo/perigo); 4) Pouco

tóxico (azul/cuidado), e; 5) Improvável de causar dano agudo (azul/cuidado), além de “não classificado” (sem advertência). A figura da caveira só estará presente nas categorias 1, 2 e 3. Esta classificação é de extrema relevância para o conhecimento do poder tóxico de cada agrotóxico, do ponto de vista de seus efeitos agudos (Quadro 4).

As classes toxicológicas são relacionadas com a “Dose Letal 50” (DL_{50}) oral e dérmica e com a Concentração Letal 50 (CL_{50}) de formulações líquidas e sólidas dos agrotóxicos (Quadro 5). Os termos DL_{50} (Dose Letal 50) e CL_{50} (Concentração Letal 50) são parâmetros toxicológicos experimentais utilizados para a avaliação do nível de toxicidade de uma substância química. A DL_{50} é definida como sendo a quantidade de uma substância que, quando administrada em uma única dose por via oral ou dérmica, produz a morte de 50% dos animais de um dado grupo teste, dentro de um período de observação de 14 dias. É expressa quantitativamente como a massa da substância por massa do indivíduo, que é capaz de matar 50% dos indivíduos do grupo teste. A CL_{50} relaciona-se a concentração média da substância no ar ambiente, inalada pelos animais de um grupo teste, capaz de produzir a morte de 50% dos indivíduos deste grupo, sob determinadas condições, sendo expressa em mg/L de ar ambiente (BUSCHINELLI, 2012).

Quadro 4 – Categorias da classificação toxicológica dos agrotóxicos.

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	Extremamente Tóxico	Altamente Tóxico	Moderadamente Tóxico	Pouco Tóxico	Improvável de causar dano agudo	Não classificado
PICTOGRAMA					Sem Símbolo	Sem Símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	Sem Advertência
CLASSE DE PERIGO						
ORAL	Fatal se ingerido	Fatal se ingerido	Tóxico se ingerido	Nocivo se ingerido	Pode ser perigoso se ingerido	-
DERMICA	Fatal em contato com a pele	Fatal em contato com a pele	Tóxico em contato com a pele	Nocivo em contato com a pele	Pode ser perigoso em contato com a pele	-
INALATÓRIA	Fatal se inalado	Fatal se inalado	Tóxico se inalado	Nocivo se inalado	Pode ser perigoso se inalado	-
COR	VERMELHO	VERMELHO	AMARELO	AZUL	AZUL	VERDE

Fonte: INCA, 2019.

Quadro 5 – Classes toxicológicas são relacionadas com a “Dose Letal 50” (DL₅₀).

CATEGORIA		CAT 1	CAT 2	CAT 3	CAT 4	CAT 5	Não Classificado
Nome da Categoria		Extremamente Tóxico	Altamente Tóxico	Moderadamente Tóxico	Pouco Tóxico	Improvável de causar dano agudo	Não Classificado
Via de exposição oral (mg/kg p.c)		≤ 5	>5 - 50	>5 – 300	>300- 2000	>2000- 5000	>5000
Via de exposição Cutânea (mg/kg p.c)		≤ 50	>50 - 200	>200 – 1000	>1000 - 2000	>2000- 5000	>5000
Via de exposição inalatória	Gases (ppm/V)	≤ 100	>50 - 500	>500 – 2500	>2500 - 20000	>2000	-
	Vapores (mg/L)	≤ 0,5	>0,5 - ≤ 2,0	>2,0 - ≤ 10	>10,0 - ≤ 20	>20	-
	Produtos sólidos e líquidos (mg/L)	≤ 0,05	>0,05 – 0,5	>0,5 – 1,0	>1,0 – 5,0	>5,0	-

Legenda: p.c: Peso corporal
 Fonte: ANVISA, 2019.

2.1.3.6.2 Classificação dos agrotóxicos quanto ao grupo químico

Os agrotóxicos encontrados na pesquisa foram os organofosforados, piretróides, carbamatos, triazinas, triazol e neonicotinoide. Os diagramas das estruturas das substâncias encontradas nessa pesquisa podem ser vistos na plataforma da *International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC*

❖ *Organofosforados*

Os agrotóxicos organofosforados são compostos orgânicos derivados do ácido fosfórico, do ácido tiofosfórico, do ácido ditiofosfórico e fosfônico (AMARAL, 2007). Dentre as três subclasses principais de organofosforados, podemos destacar os fosfatos, os fosfotioatos e os fosforoditioatos (BAIRD, 2002).

Conforme Morais (2009), quando comparados aos organoclorados, os organofosforados são mais tóxicos, considerando um nível de intoxicação aguda. Porém, são menos estáveis quimicamente, não possuindo tendência de bioacumulação. O seu mecanismo de ação tóxica baseia-se na inibição da enzima acetilcolinesterase, que atua nas sinapses do sistema nervoso central e periférico.

❖ *Piretróides*

Os piretróides são pesticidas sintéticos com estrutura química semelhante à piretrina, componente ativo natural extraído das flores do *Chrysanthemum cinerariaefolium*. As piretrinas são usadas há alguns séculos no controle de várias espécies de insetos, sendo consideradas inseticidas ideais por terem baixa toxicidade para mamíferos e um vasto espectro de ação, apresentando também baixo poder residual e efetividade em doses reduzidas (VIERA; NEVES; QUEIROZ, 2007).

O mecanismo de ação inseticida dos piretróides fundamenta-se na alteração da cinética de condutância dos canais de sódio do sistema nervoso dos insetos (SODERLUND *et al.*, 2002).

❖ *Carbamatos*

Os carbamatos são compostos derivados do ácido carbônico. Os agrotóxicos deste grupo possuem alta atividade inseticida, baixa ação residual e reduzida toxicidade em longo prazo (GOULART, 2010). Segundo Bogialli *et al.*, (2004), o mecanismo de ação dos carbamatos é semelhante ao dos organofosforados, também se baseando na inibição da enzima acetilcolinesterase, havendo algumas suspeitas de também serem carcinogênicos e mutagênicos. Dentre os principais representantes dos pesticidas carbamatos, pode-se destacar o carbaril, o carbofurano e o aldicarbe.

Os carbamatos apresentam curta duração no ambiente porque reagem com a água (hidrólise). Os produtos de hidrólise não possuem atividade pesticida e são pouco tóxicos. Os produtos de reações de oxidação dos carbamatos também possuem ação anticolinesterásica (GOULART, 2010).

❖ *Triazinas*

São substâncias derivadas da s-triazina, sendo compostos com estrutura química baseada num sistema heterocíclico de 6 átomos, caracterizado pela presença de átomos de nitrogênio (DOPICO *et al.*, 2002; GARBELLINI *et al.*, 2007). Os produtos de degradação das triazinas possuem elevada toxicidade, sendo muito persistentes nos solos, na água, plantas e animais (GARBELLINI *et al.*, 2007; SOARES, 2011).

❖ *Triazol*

São fungicidas que atuam na produção do ergosterol, importante lipídio fúngico para a formação das células. A ausência desta camada leva ao colapso da célula fúngica (micélio) e a interrupção do crescimento micelal (corpo fúngico) (LARINI, 1999).

❖ *Neonicotinoídes*

Os neonicotinoídes são inseticidas que foram descobertos em 1985 e têm como base a molécula da nicotina. Atualmente, eles pertencem à classe química mais importante de inseticidas introduzidos no mercado mundial desde o piretróide sintético (JESCHKE *et al.*, 2011).

2.1.3.6.3 Comportamento dos agrotóxicos no ambiente

O comportamento de agrotóxicos no ambiente pode ser influenciado por determinados fatores e propriedades físico-químicas das substâncias, como a volatilidade, método de aplicação, tipo de formulação e solubilidade do composto em água, características do solo e plantas, adsorção das moléculas às partículas de solo, persistência e mobilidade dos compostos e condições climáticas do ambiente.

Os agrotóxicos podem contaminar não somente o solo, a água e o ar, mas podem, ainda, atingir os sedimentos e as rochas (DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2014). A migração dessas substâncias entre as matrizes ambientais depende das propriedades físico-químicas dos compostos, tais como a solubilidade em água (S), coeficiente de adsorção normalizado pelo carbono orgânico (K_{OC}), coeficiente de partição octanol-água (K_{OW}), constante da Lei de Henry (KH), pressão de vapor (PV), constante de equilíbrio de ionização ácido ou base (pKa), coeficiente de sorção (Kd), tempo de meia vida no solo ($t_{1/2 \text{ solo}}$), tempo de meia-vida água ($t_{1/2 \text{ sed/água}}$) (CASSAMASSINO, 2005) e também das condições ambientais como temperatura, umidade, velocidade e direção do vento (KOSIKOWSKA; BIZIUK, 2010).

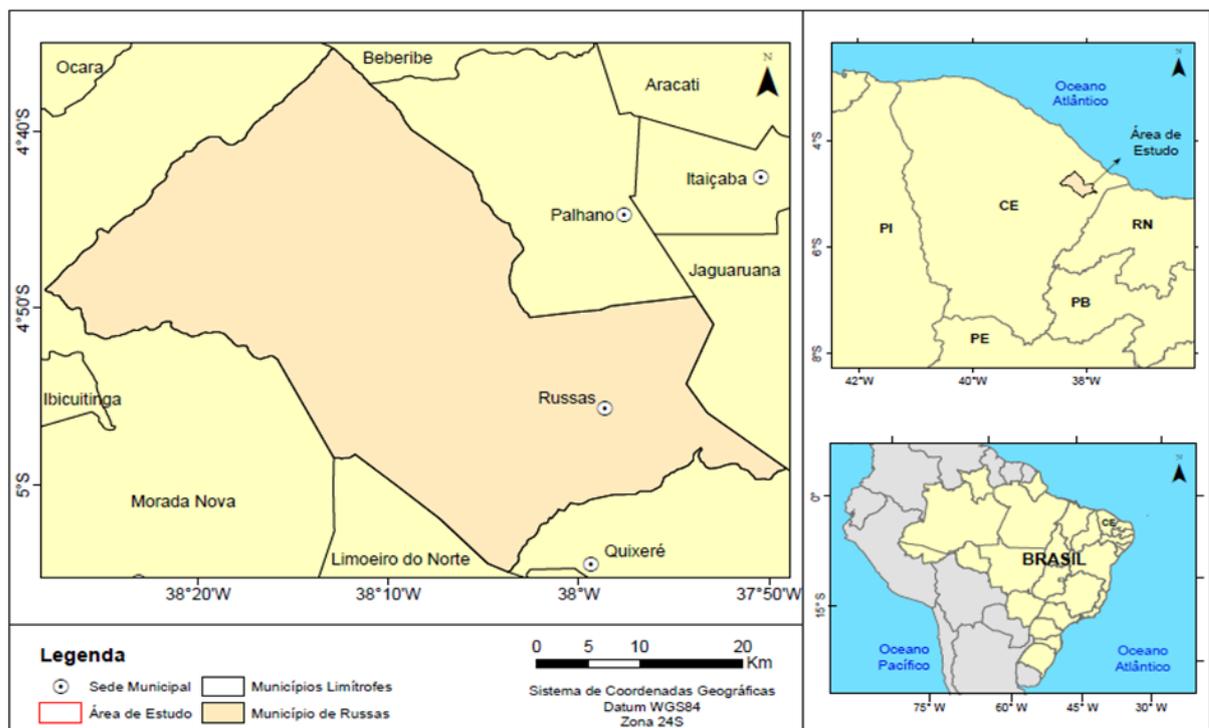
O comportamento de um agrotóxico no ambiente, desde a sua aplicação até o destino final, é identificado através do estudo das propriedades físicas e químicas do meio ambiente. Cada agrotóxico tem sua própria estrutura molecular, individualizando a forma como vai interagir no ambiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Relacionar o conhecimento dos atributos da área (geológico, litoestratigráfico, dentre outros) relacionando-os com os dados da pesquisa é fundamental para o entendimento dos processos presentes na pesquisa. A área está localizada no município de Russas (Figura 2) e situa-se na região do Baixo Jaguaribe, porção nordeste do Ceará, limitando-se com os municípios de Quixeré, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Jaguaruana e Beberibe abrangendo 1.500 km². O município apresenta um quadro socioeconômico onde 14,73% do PIB de Russas, no ano de 2018, estava ligado à agropecuária, 12,95% à indústria e 37,07% ao segmento de prestação de serviços. A administração pública e os impostos representavam 23,64% e 11,62%, respectivamente. No ano de 2019, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o valor da produção da pecuária no município de Russas representou um total de R\$14.527.000. Isso colocou o município na 32ª posição no estado (SEBRAE, 2021).

Figura 2 – Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.1 Contexto geológico local

A região do Baixo Jaguaribe é formada por rochas do embasamento cristalino, constituído pelo Complexo Jaguaretama, mais antigo, e Grupo Orós. Sobrejacentes, a leste do Rio Jaguaribe e formando a Chapada do Apodi ocorrem unidades cretáceas da Bacia Potiguar, Formações Jandaíra e Açú. Bordejando a margem oeste do Rio Jaguaribe, estão representados os sedimentos Tércio-quaternários da Formação Faceira e na faixa litorânea ocorrem os depósitos representativos do Grupo Barreiras (ANM, 2013). Finalmente, na planície fluvial dos cursos d'água ocorrem os sedimentos aluviais Quaternários que estão associados aos depósitos argilosos explorados na região. O município de Russas possui três domínios litológicos predominantes: Cristalino, Coberturas Sedimentares e Manchas Aluvionares, (CAVALCANTE, 1999) (Figura 3).

3.1.1.1 Embasamento Cristalino

Caracterizado pela presença de uma extensa variedade de rochas do Complexo Nordeste (Migmatitos e gnaisses variados, calcários “metamórficos”, calcissilicáticas e ultrabásitos), a área constitui-se de migmatitos homogêneos e heterogêneos, gnaisses, além de zonas com dominância de intensa migmatização, com núcleos granitoides, quartzitos, xistos e calcários. Ocorrem, ainda, anfíbolitos, metabásitos e calcissilicáticas, cuja vocação hidrogeológica é considerada fraca. Nas coberturas sedimentares, as formações mais representativas são Açú e coberturas clásticas sedimentares, e Grupo Barreiras, (RADAMBRASIL, 1981). O embasamento cristalino é composto principalmente de rochas gnáissicas e migmatíticas, quartzitos, micaxistos e ocorrências de muitos corpos granitoides que mostram um elevado grau de metamorfismo variando de fácies anfíbolito a granulito, correspondente ao Arqueano (SOUZA *et al.*, 2002).

3.1.1.2 Coberturas sedimentares

As coberturas sedimentares no município são representadas pelas feições do Grupo Barreiras, Açú e coberturas clásticas indiferenciadas (RADAMBRASIL, 1981).

Na literatura científica não há um consenso em relação a denominação entre Formação Barreiras ou Grupo Barreiras, dessa forma, nessa pesquisa foi adotada a denominação de Grupo Barreiras para o desenvolvimento e interpretação do estudo conforme

RADAMBRASIL (1981).

O Barreiras possui uma litologia muito variada, com arenitos finos a médios, siltitos, argilas variegadas e níveis conglomeráticos. Apresenta estratificação cruzada e cores avermelhadas e amareladas. Dentro deste grupo foi inserida a Formação Faceira, por apresentar uma litologia similar. Esta formação e o Grupo Barreiras ocorrem em discordância sobre o embasamento cristalino, principalmente na margem esquerda do rio Jaguaribe e sobre os patamares da Formação Açú (SOUZA *et al.*, 2002).

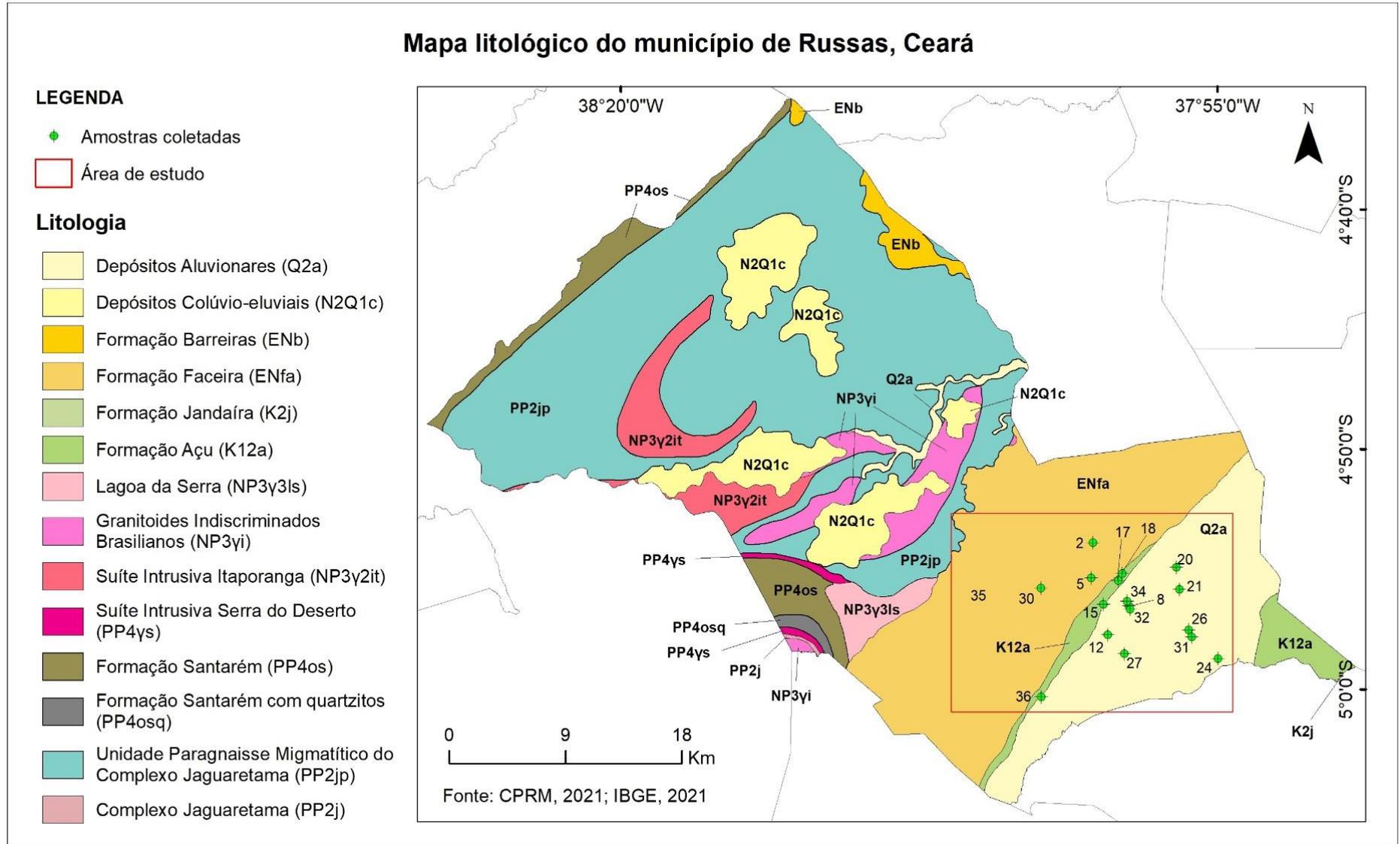
A Formação Faceira, constituída de conglomerados e arenitos, é atribuída ao Pliopleistoceno. A ocorrência desta unidade está situada na margem esquerda do rio Jaguaribe, depositada em discordância sobre o embasamento cristalino (RADAMBRASIL, 1981). As características das unidades litoestratigráficas são fundamentais na compreensão das litologias locais, distinguindo e detalhando as formações presentes na área, a qual constitui-se de sedimentos areno-argilosos mal consolidados de origem continental, dispendo-se em camadas areno-siltosas, arenosas, conglomeráticas e ferruginosas, recobrando de maneira discordante as formações litoestratigráficas que compõem o Grupo Paraíba (ARAUJO, 1993). Os sedimentos estão expostos nas encostas do Vale do rio Jaguaribe e de seus afluentes, bem como nas falésias localizadas entre o médio e baixo curso fluvial e no topo dos Tabuleiros (OLIVEIRA, 2001).

A Formação Açú, segundo Kreidler e Andery (1949), é composta por arenitos médios a muito grossos, intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos localmente conglomeráticos, de tonalidades cinza claro, amarelada e avermelhada. Esta Formação ocorre sotaposta aos sedimentos Jandaíra e sobreposta ao embasamento cristalino representando a base da Bacia Potiguar.

3.1.1.3 Manchas Aluvionares

Os depósitos aluvionares são compostas por areias com granulação variando de fina a grossa, seixos, calhaus, siltes, argilas e matéria orgânica cujos materiais são inconsolidados. A sua espessura é variada, de local a local mas, de modo geral, vai aumentando com a proximidade do litoral (RADAMBRASIL, 1981). Estas zonas ocorrem em toda a área de planície, com largura considerável no município de Russas (VASCONCELOS; FEITOSA, 1998).

Figura 3 – Litologia da área de estudo.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.2 Geomorfologia

A geomorfologia desempenha papel preponderante, pois as feições do modelado são mais facilmente identificadas e passíveis de uma delimitação mais rigorosa e precisa (SOUZA *et al.*, 2002). Segundo Bastos (2012), os processos de evolução das paisagens variam de acordo com as características ambientais de cada domínio natural, além das diversas formas de uso e ocupação do solo. O município de Russas apresenta duas unidades morfológicas: Depressão Sertaneja e Planície Fluvial.

3.1.2.1 Depressão Sertaneja

Na depressão sertaneja a dinâmica dos processos origina-se das elevadas térmicas diárias e regime pluviométrico da região. A morfodinâmica atual deste contexto está diretamente ligada aos condicionantes climáticos como o intemperismo físico, ações pluviais e fluviais. Este domínio ocupa cerca de 2/3 do Ceará, aproximadamente 100.000 km² (SOUZA, 2002).

São observados níveis altimétricos médios de 130-150m. Conforme Souza (2002), nesse nível as topografias são planas ou levemente onduladas. Outro nível altimétrico está a uma altitude superior a 300m, que apresenta dissecação mais evidente, constituindo os níveis mais elevados da Depressão Sertaneja.

Conforme Taleires (2019), a depressão sertaneja está presente nas áreas periféricas dos grandes planaltos sedimentares ou cristalinos, apresentando-se também entre os maciços residuais. Nos sertões, a degradação mecânica das rochas é algo generalizado, o que vai depender da composição das rochas (caráter mineralógico), pois a textura granular favorece a alteração e é decisiva na determinação do coeficiente de dilatação. Dependendo da intensidade da insolação a rocha pode dilatar de forma diferenciada e o desgaste será variado, levando ao desgaste em maior ou menor tempo.

Ao lado da degradação mecânica está o escoamento superficial, que completa o quadro que domina a morfodinâmica semiárida. As variações de umidade, associadas à falta de chuvas em um longo período do ano, aliadas à precária proteção por parte da vegetação (caatinga), fortalecem o desempenho do processo erosivo em períodos chuvosos, sendo mais intenso com as primeiras chuvas, que em geral são de maior intensidade. Devido a topografia, as chuvas torrenciais seguem um escoamento superficial difuso mobilizando os detritos da desagregação mecânica ocorrida nos períodos secos, levando o material fino a uma distância

maior que os materiais grosseiros, que normalmente ficam na margem dos relevos residuais. Assim, é possível identificar com frequência a presença de lajedos e chão pedregosos. O escoamento fluvial, por ser inconstante, possui baixa capacidade de entalhe. De alimentação deficiente, os rios são fracamente inclinados e os leitos arenosos derivam basicamente dos detritos finos mobilizados pelas enxurradas (TALEIRES, 2019).

Segundo Souza (2002), devido ao dinamismo que ocorre nessas áreas, há uma predominância de rampas pedimentadas que coalescem para formar a superfície sertaneja. As áreas de acumulação também são exemplos de manifestações de processos atuais.

3.1.2.2. Planícies Fluviais

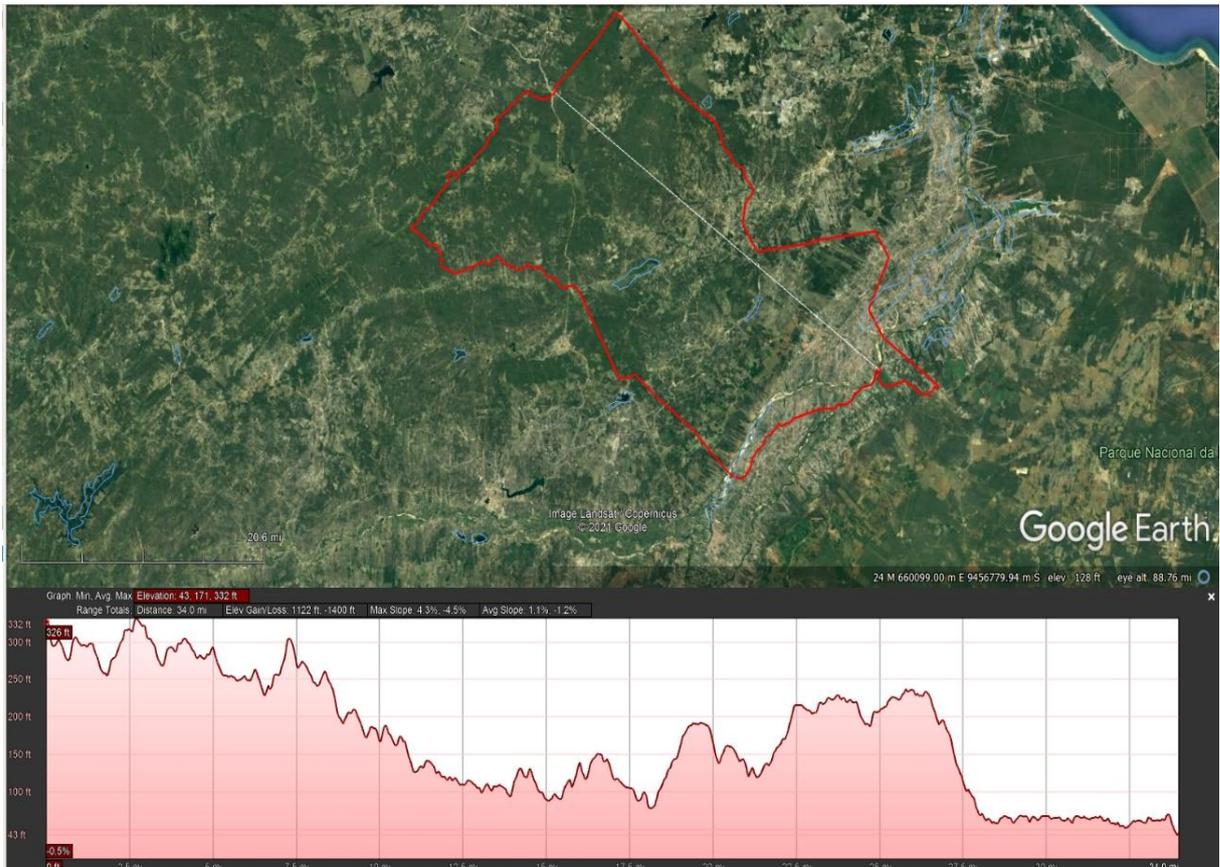
As planícies fluviais são áreas de evolução recente da paisagem e apresentam acumulação fluvial sujeitas a inundações periódicas, bordejam a calha dos rios, atingindo alargamento considerável nos baixos vales, assumindo dimensões expressivas quando os sedimentos aluviais têm menor calibre e os rios de maior vazão como o Jaguaribe, (TALEIRES, 2019). Os solos aluviais são profundos, imperfeitamente drenados e com eventuais problemas de salinização.

Na Bacia do Jaguaribe, o entalhe do rio a montante é mais efetivo, evidenciando o trabalho da hidráulica e da erosão fluvial, com a presença de material imaturo e de calibre maior. Já no médio curso, o material predominante é areia grosseira e seixos arrastados, enquanto no baixo curso o material mais encontrado é de natureza areno-argilosa (TALEIRES, 2019).

Segundo Sousa (2002), as planícies fluviais são ambientes de transição com vulnerabilidade moderada, com tendência a instabilidade. Os solos são revestidos por mata ciliares, com a predominância da carnaúba na comunidade florística. São áreas de preferência para projetos de irrigação, tanto que na área de estudo está presente o canal de irrigação dos Tabuleiros de Russas, que atendia ao projeto de irrigação daquele município e, também, serve para o abastecimento de comunidades rurais.

Usando perfis construídos no programa *Google® Earth Pro*, foi observado no município de Russas um relevo que se apresenta diversificado quanto a sua inclinação. A Figura 4 exibe uma intensa variedade de altitudes das feições geomorfológicas do município de Russas.

Figura 4 – Feições geomorfológicas do relevo do município de Russas.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.3 Solos

Os solos de Russas se apresentam bem diversificados, com as associações distribuídas em consonância com a compartimentação do relevo, constituindo unidades morfopedológicas representados por solos aluviais, areias quartzosas distróficas, cambissolos, solos litólicos, planossolos solódico, podzólico vermelho-amarelo e vertissolos (SOUZA *et al.*, 2005).

De acordo com Souza et al. (2005), os solos da Bacia do Jaguaribe, em sua maior parte, apresentam sinais de degradação devido à intensificação dos processos erosivos ao longo da evolução histórica do uso e ocupação das terras.

As unidades morfopedológicas que ocorrem na área de Russas são apresentadas no Quadro 6. A nomenclatura utilizada para as associações de solos se baseia na nova classificação brasileira de solos (GONÇALVES; EMBRAPA SOLOS, 2018).

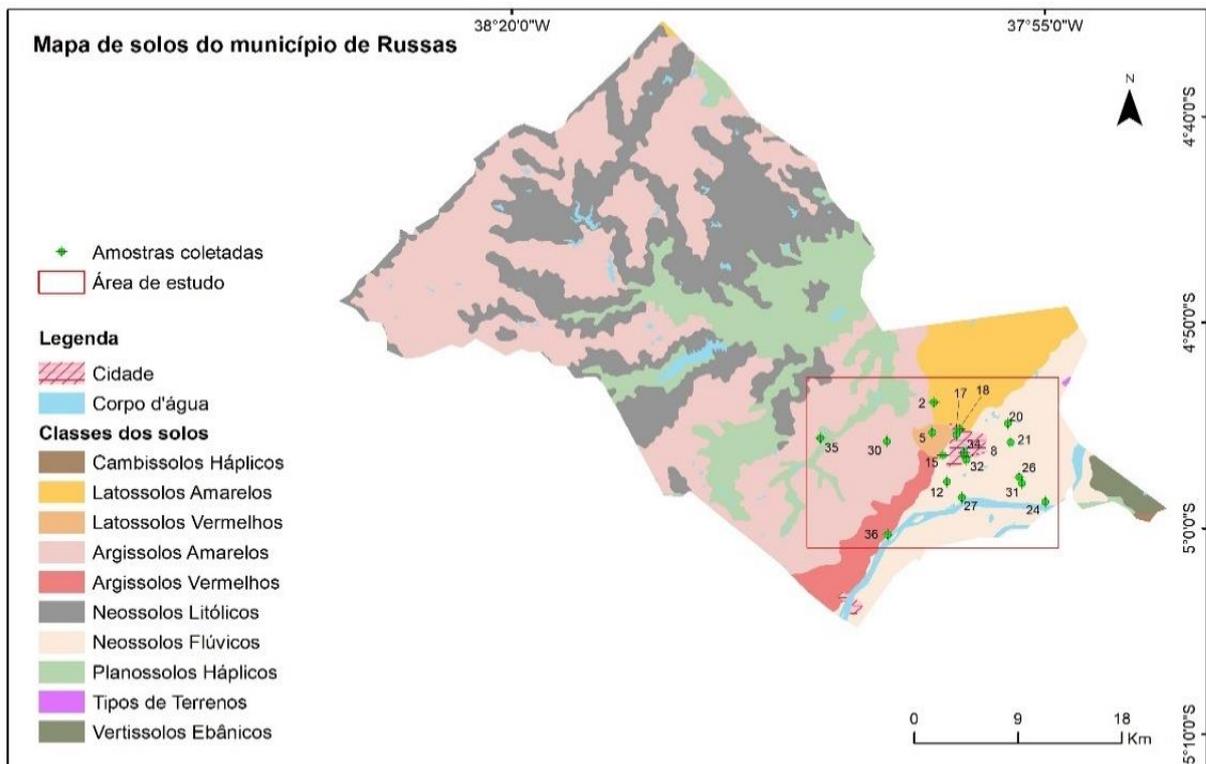
Quadro 6 – Unidades morfopedológicas que ocorrem na área de Russas

Unidades Geomorfológicas	Feições da Morfologia	Associação de Solos
Planície Fluvial	Planícies fluviais dos rios Jaguaribe, Banabuiú e das pequenas planícies	Neossolos Flúvicos, Planossolos e Vertissolos
Depressão Sertaneja	Pedimentos conservados e parcialmente dissecados	Planossolos, Luvisolos, Neossolos Litólicos e afloramentos de rochas

Fonte: SOUZA *et al.*, 2002

Os solos que predominam na área de estudo são os argissolos vermelho- eutróficos, argissolos amarelo-distróficos, latossolos vermelho-distróficos, latossolos amarelo-distróficos e eutróficos, neossolos flúvicos e planossolos háplicos (Figura 5).

Figura 5 – Mapa de solos do Município de Russas



Fonte: FUNCEME (prelo 2021).

❖ *Argissolos*

Os solos dessa ordem são constituídos por material mineral com notável diferenciação entre as camadas, cor, estrutura e textura. Os teores de argila crescem com a profundidade apresentando, assim, maior coesão e plasticidade em maiores profundidades. O

horizonte superficial possui textura média a arenosa. As drenagens se apresentam de moderadas a bem drenadas, apresentando maior retenção de água abaixo da superfície; quanto a textura, ela é argilosa. Nesse caso, o solo é indicado para exploração agrícola, vista a elevada capacidade de reserva de água. Quando o gradiente textural varia de médio a arenoso, com presença de cascalho e relevo acentuado, o terreno está mais suscetível a erosão e apresenta fertilidade baixa (CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Argissolos Vermelho Eutróficos*

Os argissolos de cores vermelhas apresentam altos teores de óxidos de ferro. Quanto à proporção de argila, na camada subsuperficial ela é encontrada em maior quantidade, quando se compara com o horizonte superficial. Essa diferenciação de textura e estrutura é facilmente percebida em campo. A sua fertilidade natural é bem variada. Quando caracterizado como eutrófico, demonstra alta fertilidade (CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Argissolos Amarelo-Distróficos*

São originados principalmente de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares do Grupo Barreiras na região litorânea. O relevo nas áreas de ocorrência é pouco movimentado favorecendo a mecanização no uso das terras. A principal limitação de uso é a fertilidade normalmente baixa, risco de erosão causada pela diferença de textura superficial e subsuperficial e condições de declividade. Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade. Quando caracterizado como distrófico, apresenta baixa fertilidade (CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Latossolos*

Apresentam cores vermelhas marcantes em função dos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. Ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola. Em menor expressão, podem ocorrer em áreas de relevo ondulado.

Os latossolos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados normalmente por sua baixa a média capacidade de troca de cátions

(CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Latossolos vermelho-distróficos*

Mais de 95% dos latossolos são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 e teor de fósforo disponível extremamente baixo, quase sempre inferior a 1 mg/dm³. Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade. A fração argila dos latossolos é composta principalmente por caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e óxidos de alumínio (gibbsita). Alguns latossolos, formados de rochas ricas em ferro, apresentam, na fração argila, a maghemita e, na fração areia, a magnetita e a ilmenita. A esses últimos, estão associados os elementos-traço (micronutrientes) como o cobre e o zinco, importantes para o desenvolvimento das plantas (CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Latossolos amarelos distróficos e eutróficos*

Solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares do Grupo Barreiras na região litorânea do Brasil. A cor amarelada é uniforme em profundidade, o mesmo ocorrendo com o teor de argila. A textura mais comum é a argilosa ou muito argilosa. Outro aspecto de campo refere-se à elevada coesão dos agregados estruturais (solos coesos). Quando distróficos apresenta solos de baixa fertilidade e quando eutróficos apresenta solos de alta fertilidade.

❖ *Neossolos*

São constituídos por material mineral ou orgânico de pouca espessura. Suas características preponderantes são provenientes do material que lhe deu origem e, dessa forma, são considerados solos pouco evoluídos e de difícil caracterização quanto ao seu processo de formação (CUNHA *et al.*, 2006).

❖ *Neossolo Flúvico*

São solos formados a partir da sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes, assim sua espessura e granulometria são bastante diversificadas. São solos férteis, com argila de alta atividade, tornando a região propícia para a agropecuária (CUNHA *et al.*,

2006).

❖ *Planossolos*

Estão localizados em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas. São, geralmente, pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve). Apresentam texturas média, argilosa ou muito argilosa, adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita, São solos com boa fertilidade natural e com grande capacidade de fornecer nutrientes à vegetação. O relevo suave também beneficia a atividade agrícola (CUNHA *et al*, 2006).

❖ *Planossolos háplicos*

São solos com alta fertilidade e com grande condição nutricional, o que os tornam adequados para o uso agrícola. Além disso, não possui caráter sódico, ou seja, elevados teores de sódio que causariam toxidade para as plantas, sendo muito susceptíveis à erosão (CUNHA *et al*, 2006).

3.1.4 Vegetação

O território cearense caracterizado por uma vegetação adaptada a um clima quente e semiárido, com espécies que desenvolveram mecanismos de adaptação à escassez hídrica. A Caatinga cobre a maior parte da região com clima semiárido do Nordeste, sendo classificada como uma floresta arbórea ou arbustiva. Essa vegetação é composta por árvores e arbustos de porte baixo, muitos dos quais apresentam características xerofíticas, adaptadas às condições de aridez. A Caatinga tem sido impactada pela atividade agrícola, exploração de madeira e lenha, além do uso extensivo para a pecuária (PRADO, 2003).

Na Depressão Sertaneja, a caatinga ocorre predominantemente. Conforme Fernandes (1998), ela é definida como uma formação vegetal xérica, caducifólia no estio, garranchenta, por vezes com plantas espinhosas e suculentas, podendo revelar-se em dois padrões: caatinga arbustiva e caatinga arbórea.

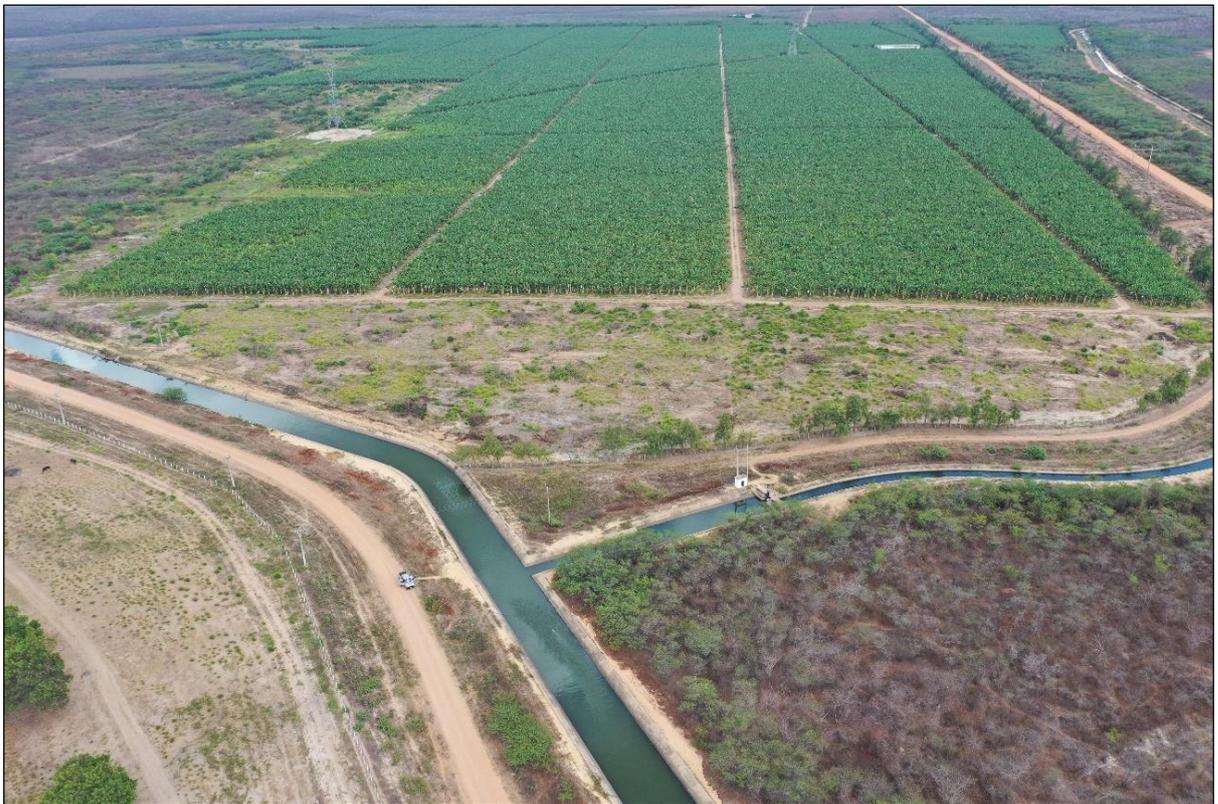
De acordo com Cavalcante (2012), nas planícies fluviais ocorre a Vegetação Subcaducifólia de Várzea, apresentando uma fisionomia dominada pela carnaúba (*Copernicia prunifera*), consorciada com espécies arbustivas e arbóreas. Compõem a fauna deste ambiente

as espécies que são também encontradas nas vegetações de Tabuleiros e Caatinga.

3.1.5 Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas

O Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas está localizado nos municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova, mais precisamente no Baixo Vale do Jaguaribe e distante 160 km de Fortaleza. A área é constituída por uma faixa contínua de terras agricultáveis ao longo da margem esquerda do Rio Jaguaribe, desde a cidade de Russas até a confluência do Rio Banabuiú, na região nordeste do Ceará (Figura 6).

Figura 6 – Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas.



Fonte: Elaborada pela autora.

O Perímetro Irrigado de Tabuleiros de Russas possui uma área irrigável implantada de 10.564 hectares. Os métodos de irrigação utilizados são divididos entre gotejamento (50%) e microaspersão (50%). As culturas cultivadas abrangem frutas, hortaliças, grãos, pastagem, cana-de-açúcar, madeira (sabiá) e oleaginosas, totalizando 1.705,7 hectares em 2008. Os benefícios esperados incluem a geração de 15 mil empregos diretos, 30 mil empregos indiretos, beneficiando diretamente 240 mil pessoas, com uma renda anual de R\$ 180 milhões (ADECE,

2011).

A disponibilidade de vazão era de 2,9 m³ s⁻¹ no ano de 2014, porém esta disponibilidade foi reduzida para 1,2 m³ s⁻¹ no ano de 2019. Esta redução de 58,6% na vazão acarretou como consequência uma redução de 69,5% na área irrigada e de 72% no valor bruto da produção (DISTAR, 2020).

Cabe destacar que após o longo período de escassez hídrica, as recargas recebidas pelos reservatórios não permitiram de imediato aumentar de forma significativa a disponibilidade de água para os projetos públicos de irrigação.

A caracterização do semiárido traz, tradicionalmente, em seu bojo, a incidência da seca como uma das maiores aflições que acometem a população sertaneja (POMPEU; TASSIGNY, 2006). Os perímetros públicos de irrigação surgiram como alternativa sustentável para o Ceará e, com isso, o favorecimento do agronegócio transformando os agricultores sertanejos em pequenos e médios empresários e instalando no sertão estratégias de desenvolvimento capitalista que tornassem o Nordeste apto a atuar no mercado de exportação (PONTES *et al.*, 2013).

Conforme Tavares *et al.* (2017), os perímetros são áreas extensas de irrigação que permitem o cultivo e desenvolvimento de várias culturas, proporcionando a expansão dos agropolos. Regido pela Lei nº 12.787 de 11 de janeiro de 2013, o plano de metas dos perímetros irrigados dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação elencando como objetivos principais o incentivo à ampliação da área irrigada no país, aumento da produtividade e promoção do aumento da competitividade do agronegócio.

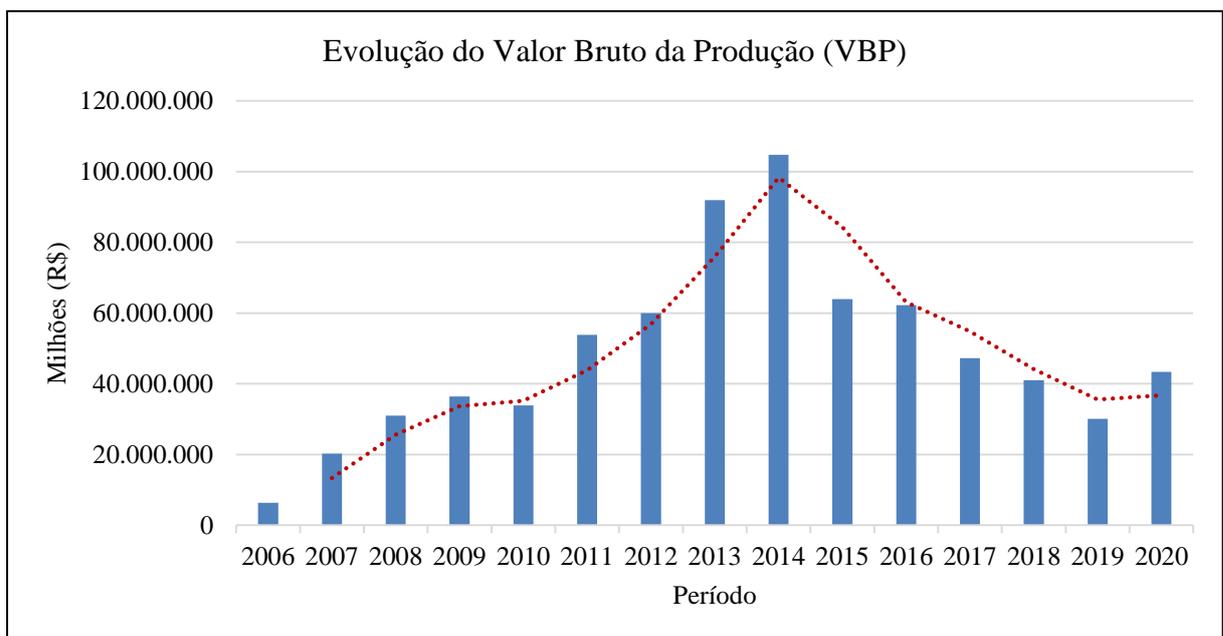
O perímetro pioneiro implantado pelo DNOCS foi o de Morada Nova, em 1968. No período de 1968 a 1987 foram implantados outros 09 perímetros irrigados federais que, até então, tinham caráter de assentamentos de pequenos produtores. Em 1987, o Perímetro Araras-Norte inaugura a inclusão de lotes para empresários nos projetos. Em seguida, iniciaram as operações os Perímetros de Jaguaribe-Apodí (1989), Baixo-Acaraú (2001) e Tabuleiros de Russas (2004). Em 2008 o perímetro irrigado com maior retorno econômico e maior capacidade produtiva no Ceará foi o Tabuleiros de Russas, com uma participação de aproximadamente 9,1% do valor total de frutas frescas exportadas no ano de 2008 por este estado (COUTINHO, 2015).

De acordo com os dados do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, o Estado do Ceará dispõe de 14 perímetros públicos Araras-Norte (município de Varjota), Ayres de Souza (município de Sobral), Baixo-Acaraú (municípios de Acaraú), Forquilha (município de Forquilha), Curu-Pentecoste (município de Pentecoste), Curu-

Paraipaba (município de Paraipaba), Morada Nova (municípios de Morada Nova e Limoeiro), Jaguaruana (município de Jaguaruana), Tabuleiros de Russas (municípios de Morada Nova, Limoeiro do Norte e Russas), Jaguaribe-Apodi (município de Apodi e Limoeiro), Ema (município de Iracema), Icó-Lima Campos (município de Icó), Várzea do Boi (município de Tauá) e Quixabinha (município Mauriti). Com a irregularidades das chuvas no estado do Ceará o maior açude do semiárido, o Castanhão (6.700 hm³), em 2109 apresentava volume acumulado de 203,32 hm³ e, no mesmo mês, em 2020 o volume era de 777,12 hm³, um acréscimo de 29,6%. O açude terminou o ano de 2020 com um volume percentual de 11,6%, (DNOCS, 2021).

Os eventos climatológicos, baixa queda pluviométrica e baixa recargas dos açudes, vem contribuindo para uma redução do Valor Bruto da Produção. O Gráfico 4 evidencia esse cenário no PITR.

Gráfico 4 – Evolução do Valor Bruto da Produção (VBP) do Projeto de Irrigação Tabuleiros de Russas - CE, no período de 2006 a 2020



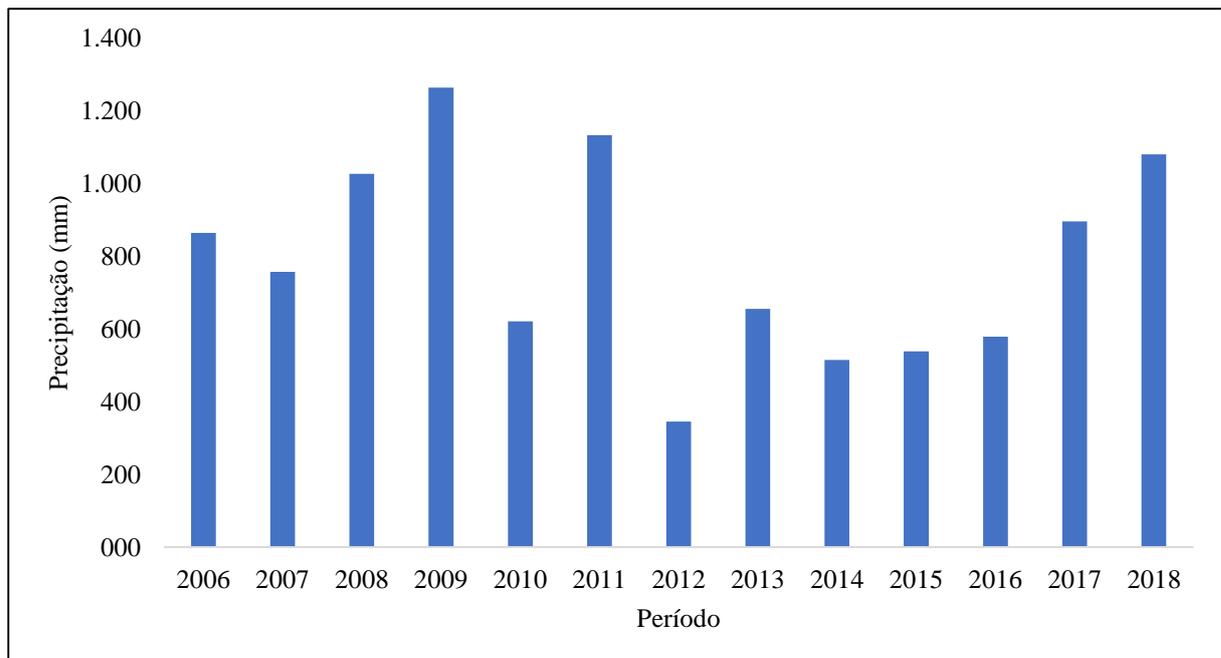
Fonte: DNOCS (2021).

O projeto Tabuleiros de Russas, no ano de 2020, reduziu a cota de água de 2,90 m³/s para 0,95 m³/s, resultando na irrigação de uma área equivalente a 25% do total da área irrigável da 1ª Etapa, totalizando 10.765,72 hectares. Essa redução na disponibilidade hídrica contribuiu para uma diminuição significativa no Valor Bruto da Produção (VBP), comparado a 2014, registrando uma queda aproximada de 60%.

A redução no Valor Bruto de Produção (VBP) não é reflexo apenas das

irregularidades das chuvas, mas também da diminuição da presença de empresas no Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas (PITR). Em 2011, quando choveu 1.333,10 mm, e em 2014, ano de arrecadação, com 514,30 mm, observou-se uma queda significativa, como ilustrado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Precipitações no município de Russas – CE (2006 – 2018).



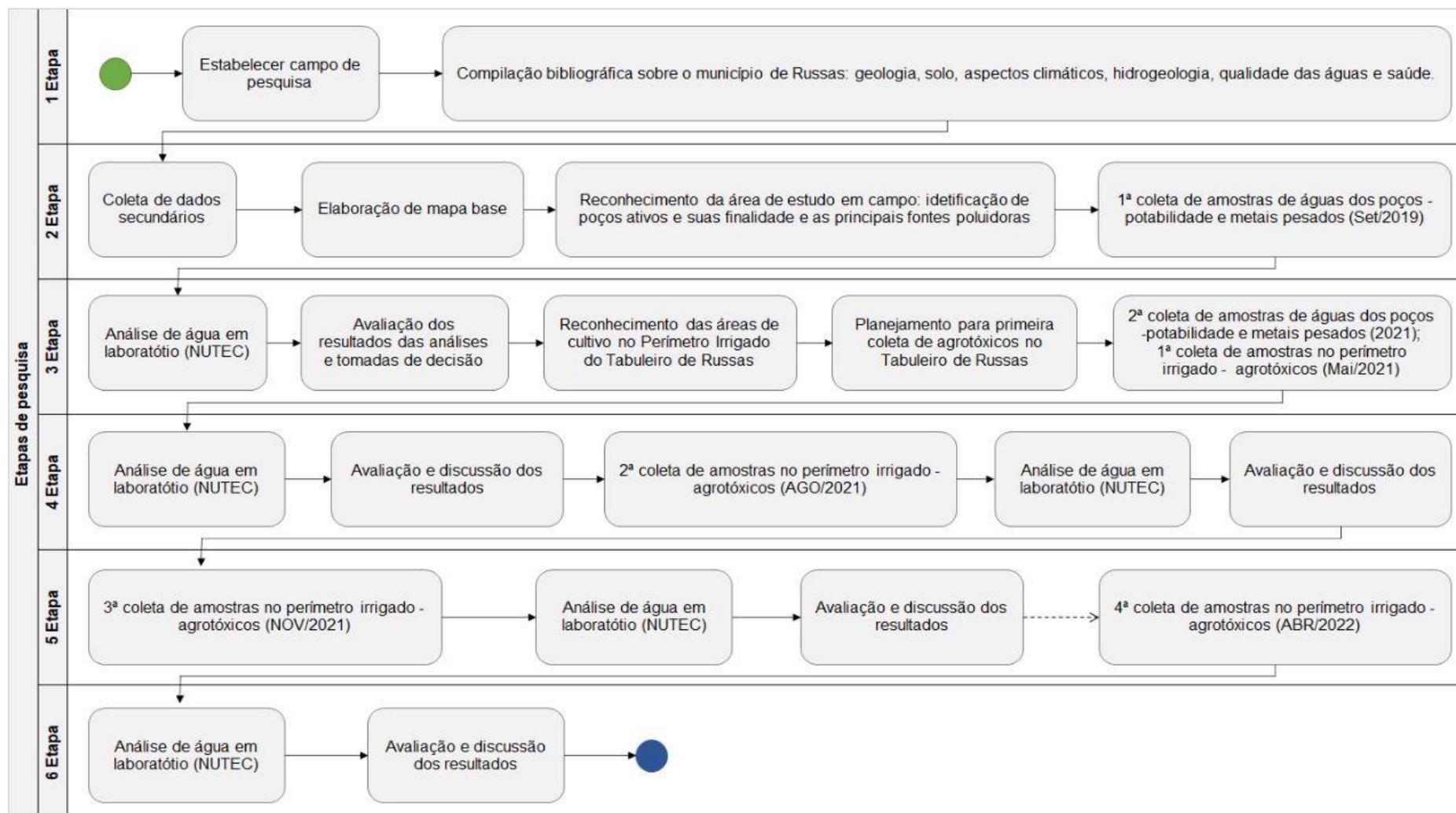
Fonte: DNOCS (2021).

Conforme relatórios de síntese informativa dos projetos públicos de irrigação do DNOCS (2021) os maiores tipos de culturas são as de frutas, as de coco e hortaliças.

3.2 Metodologia aplicada a escolha dos pontos de amostragem

A metodologia aplicada para o desenvolvimento da pesquisa está dividida em seis (06) etapas, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma da Pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

1ª Etapa: Foram compilados dados relevantes da literatura acerca do tema, analisados conjuntos de dados existentes e obtido detalhes adicionais para construir uma base sólida de conhecimento. A revisão bibliográfica abordou questões geológicas, características do solo, dos fenômenos meteorológico, e qualidade da água incluindo propriedades físico-químicas e presença de metais pesados. Paralelamente foram investigados possíveis contaminações por agrotóxicos nas águas municipais, juntamente com informações relacionadas à saúde na região de estudo.

2ª Etapa: Na segunda fase foram coletados dados secundários proveniente de Fontes confiáveis com o registro de poços na CPRM/SGB, CAGECE e COGERH. Um mapa base foi confeccionado para oferecer uma visão espacial da área de estudo. Foram, então, selecionados pontos de abastecimento comunitário, espacializados dentro de um perímetro que abrangesse o PITR, as diferentes litologias, bem como poços em distritos e na sede de Russas, e definido o plano de amostragem. Durante esse estágio foi realizado o reconhecimento da área de estudo, identificando as principais fontes poluentes. Foi realizada a primeira coleta de água para análise físico-química e de metais pesados.

3ª Etapa: Na terceira fase, a ênfase foi nas análises e interpretação dos dados fundamentais para orientar as decisões sobre os passos seguintes da pesquisa. Nessa etapa foram realizadas as análises e interpretação dos dados para tomadas de decisões quanto ao prosseguimento das atividades. Essa etapa envolveu um reconhecimento aprofundado do Perímetro Irrigado de Tabuleiros de Russas juntamente com o planejamento meticuloso da coleta inicial do primeiro ciclo focado nas análises dos agrotóxicos presentes na água.

4ª Etapa: Na quarta fase, ocorreu a seleção minuciosa dos lotes de cultivo no Perímetro Irrigado de Tabuleiros de Russas (PITR) destinados às coletas e análises ao longo do primeiro e segundo ciclo de estudo sobre agrotóxicos.

5ª Etapa: No quinto estágio, foram interpretados os resultados do primeiro e segundo ciclo, ao passo que se efetuou a coleta de amostras de água para o terceiro ciclo de análise dos agrotóxicos.

6ª Etapa: No sexto estágio, procedeu-se à interpretação dos resultados do terceiro ciclo e coleta de amostras para compor o quarto ciclo de análise dos agrotóxicos. Subsequentemente, a pesquisa foi finalizada consolidando os resultados e conclusão da pesquisa.

Para seleção dos pontos de amostragem foi elaborado mapa de pontos que contemplasse as diferentes características da área, tais como litotipos, solos, cobertura e uso do solo.

Com base nos resultados das análises físico-químicas e de metais das análises obtidas em 2019, foram definidos pontos para amostragem de agrotóxicos, sendo as coletas realizadas durante o período de 2021 a 2022. A seleção dos locais de coleta foi orientada pelo critério de abastecimento comunitário e distribuição pública, conforme apresentado nos quadros 7 e 8, respectivamente. As amostras foram coletadas em dois períodos distintos: primeiro em setembro de 2019, compreendendo a estação seca, e posteriormente em maio de 2021 e 2022, abrangendo a quadra chuvosa. O intervalo de tempo para realização e continuidade da pesquisa se deve à pandemia do Coronavírus, que impossibilitou a continuação da pesquisa, sendo retomando somente em 2021.

Algumas (poucas) comunidades fazem uso de dessalinizadores, uma vez que a manutenção desses equipamentos é realizada pela própria comunidade. Dessa forma, para o ano de 2019, foram coletadas amostras de águas naturais e dessalinizadas nos postos que possuíam o equipamento. Na pesquisa de 2021, nos pontos com dessalinizadores, foram coletadas apenas as águas dessalinizadas, uma vez que são as águas consumidas. A escolha dos agrotóxicos pesquisados foi baseada nas informações obtidas durante as visitas aos lotes de cultivo e em pesquisas em artigos, teses e dissertações realizadas no Baixo Jaguaribe.

Em alguns pontos de coleta das amostras as coordenadas não foram identificadas para preservar a identidade do proprietário do lote.

Quadro 7 – Coordenadas UTM (Zona: 24M) e características dos pontos de coletas das amostras de águas para análises físico-químicas e metais pesados.

PONTO	LOCALIDADE	UTME	UTMN	Características do Local
2	Sítio Coaçu	610539	9458450	Poço tubular ativado de uso comunitário, profundidade de 48m, construído pela prefeitura. A água é utilizada para uso doméstico e para os animais. O dessalinizador foi removido há 8 anos. É a própria comunidade que faz a manutenção e limpeza da caixa d'água e do poço. O consumo de água para beber é proveniente do caminhão pipa, quando o mesmo aparece.
5	Poço da Fazenda Lote T-316	610388	9455740	Lote T-316, localizado no Perímetro Irrigado de Russas, profundidade do poço é de 98m. A água do poço é muito salobra e não é utilizada pelo proprietário, já que não tem dessalinizador. Ele utiliza a água do canal (Dnocs) que vem do Castanhão para irrigação de cultivos (banana, milho, uva, coqueiro), para abastecimento doméstico, plantio de capim e pastagem (carneiro e aves). Compram água para beber.

PONTO	LOCALIDADE	UTME	UTMN	Características do Local
8	Colégio Unecim	613292	9453590	O poço profundo possui 37m. É usado para abastecimento do colégio e utilizado para consumo com uso do dessalinizador e pré-tratamento; a água passa pelo filtro de areia, em seguida é usado um dosador de cloro e depois a água é dessalinizada. Segundo informação a água da CAGECE não chega no colégio. O colégio é próximo ao posto de saúde. A cada 06 meses tem a limpeza da caixa e manutenção do poço. O colégio possui 818 alunos e 105 funcionários.
8 (D)	Colégio Unecim	613292	9453590	-
12	Pitombeira	611681	9451353	Local de venda de água. O poço ativado tem 10m de profundidade. Segundo a proprietária, é feita a manutenção a cada 03 meses. Faz uso do dessalinizador. Usam o poço há 05 anos. A água é comercializada, vende em média 300L/dia.
12 (D)	Pitombeira	611681	9451353	-
15	Alto São João	611341	9453705	Poço tubular comunitário ativado feito pela Prefeitura/Sohidra tem 24 anos de construção com profundidade de 57m. Usam a água para abastecimento doméstico. Água para consumo humano é da Cacege, mas quando falta água utilizam do poço. Desde 2021 o poço encontra-se parado com a bomba comprometida.
17	Perícia Forense	612487	9455544	Poço tubular ativado construído pelo governo com profundidade entre 80 a 90m, e vazão de 2700L/h. A água é usada para abastecimento do prédio (lavagem e limpeza dos corpos e banho dos médicos).
18	Tabuleiros do Catavento	612779	9456059	Poço comunitário feito pela Sohidra. Possui profundidade de 64m, com vazão de 4000L/h. A água é comercializada, em média 40L/dia. Dentro da comunidade existem mais outros poços clandestinos para abastecimento residencial. A Prefeitura faz o monitoramento da qualidade água.
18 (D)	Tabuleiros do Catavento	612779	9456059	-
20	Escola – Bom Sucesso	616980	9456537	A água do poço é usada para cozinhar, lavar e, às vezes, cozinhar. Para beber a água é comprada. A escola da rede municipal atende 181 alunos do ensino fundamental.
21	Vila Ramalho	617215	9454857	A água é utilizada para vários fins, inclusive para beber. Usam produto químico para matar lagarta em cultivo familiar. Em 2021 foi instalado dessalinizador. A água é comercializada a R\$ 1,00 (Um real) a 20L, sendo vendidos aproximadamente 600L/dia.
24	Projeto São José Sohidra	620214	9449555	Poço tubular do projeto São José - 2001 - Sohidra encontra-se ativado, em 2019 foi instalado dessalinizador. Embora a comunidade faça a manutenção do poço, o dessalinizador encontra-se sucateado, a manutenção do equipamento é

PONTO	LOCALIDADE	UTME	UTMN	Características do Local
				realizada pela comunidade.
24 (D)	Proj São José Sohidra	620214	9449555	-
26	Ingá	617956	9451748	Poço ativado de uso comunitário e foi instalado há 20 anos. Possui dessalinizador, no entanto apresenta características físicas mais acentuada e mais turva, com coloração mais avermelhada em relação a amostra de água natural. Existem polos de cerâmica em entorno da localidade. A água para beber é comprada.
26(D)	Ingá	617956	9451748	Coletada do dessalinizador, porém não estava funcionando.
27 (P)	Pedro Ribeiro (poço Cagece)	612966	9449926	Bateria de poços da Cagece, com profundidades variando de 20 a 60m. Captação de água para posterior tratamento. A água também é captada no rio Sucurujuba e enviada para estação de tratamento e abastecimento da cidade. Os canos que recebem a água do rio para ser armazenada são de ferro.
27 (R)	Cagece (rio)	612966	9449926	-
30	Lote 361 – Distrito de Peixe	606490	9454960	O poço tem 01 ano de construção; é um poço tubular com profundidade de aproximadamente 100m.
31	Ingá (trado comunitário)	618192	9451197	São dois poços rasos do tipo manual com profundidades entre 6 e 7m que estão sendo usados há 03 anos, principalmente para consumo humano. A água abastece outras comunidades.
32	Cacimba Centro	613389	9453315	Cacimba antiga (mais de 50 anos) abastece aproximadamente 30 caminhões pipas/dia, 8.000L, para outros distritos. Abastece a cidade. Profundidade de 12m.
34	Poço da lagoa	-	-	Poço construído há 4 anos, possui profundidade de 11 m. Usam a água para abastecimento doméstico.
35	Comunidade de Peixes	600696	94552693	Recebe água do canal de irrigação, posto de coordenado pelo SISAR, atende 600 famílias, tem parâmetros de agrotóxicos monitorados, tendo em vista que água vem do canal.
36	Comunidade Sítio Paraíso	606528	9446609	Poço da Associação Comunitária Sítio Paraíso, vazão 6 m ³ /h, a água é comercializada, R\$ 1,00 (um real) 20L, possui dessalinizador e atende e 151 famílias.

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: D = água coletada do dessalinizador.

UTME: Universal Transverse Mercator Easting

UTMN: Universal Transverse Mercator Northing

Quadro 8 – Localização dos pontos de coletas das amostras de águas para análises de agrotóxicos

Amostras	UTME	UTMN	Identificação da Amostra
01	577040	9438420	Açude Curral Velho – Canal – Morada Nova
02	592749	9442276	Canal – Limoeiro do Norte
03	-	-	Lote A - Perímetro Irrigado de Russas - Canal
04	-	-	Lote B - Perímetro Irrigado de Russas - Canal
05	600696	94552693	Comunidade de Peixes – Russas – Poço
06	-	-	Lote C - Perímetro Irrigado de Russas - Canal
07	612034	9454909	CAGECE – Russas – Poço
08	612779	9456059	SOHIDRA – Comunidade Tabuleiros do Catavento – Russas - Poço
09	616980	9456537	Escola Bom Sucesso – Russas – Poço
10	617215	94548576	Vila Ramalho – Russas – Poço
11	613292	9453590	Escola Unicim - Russas- Poço
12	613389	9453315	Cacimbão – Russas – Poço
13	-	-	Poço da lagoa – Russas – Poço
14	611681	9451353	Comunidade Pitombeira – Russas
15	606528	9446609	Sítio Paraíso – Russas – Poço
16	618192	9451197	Comunidade Ingá – Russas – Poço
17	605599	9442680	SISAR – Miguel Pereira – Russas – Poço
18	603513	9440204	CAGECE – Flores – Russas – Poço
19	602367	9441441	SISAR – Ramal de Flores- Russas – Poço
20	610100	9447208	ETTA CAGECE – São João de Deus
21	-	-	Lote D – Perímetro Irrigado de Russas
22	607648	9447572	Rio Jaguaribe
23	613734	9449948	Rio Jaguaribe – Pedro Ribeiro
24	-	-	Lote E – Limoeiro do Norte

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: (-) Não identificado

UTME: *Universal Transverse Mercator Easting*

UTMN: *Universal Transverse Mercator Northing*

3.3 Metodologia para escolhas dos pontos de amostragem e substâncias usadas nas áreas de cultivo do PITR

Inicialmente foram realizadas visitas em lotes de cultivo do PITR, onde foram identificadas as substâncias usadas no plantio. Geralmente, quem permanece nos lotes são os trabalhadores ou alguns caseiros que não souberam informar com segurança as substâncias utilizadas. Foram visitados 11 lotes com culturas e extensões diversas (Quadro 9). As limitações para pesquisa nos lotes incluem o acesso, ausência de funcionários/caseiros para atender ou que estão na plantação e a desconfiança/insegurança para informar algo relacionado ao uso de agrotóxicos.

Foram selecionados 11 pontos de amostragem ao longo do PITR, tendo início no açude Curral Velho no município de Morada Nova e município de Limoeiro do Norte, ambos identificado como ponto de controle, tendo em vista que o canal tem início no açude, passa por Limoeiro, área de intenso uso de agrotóxicos, e faz limite com o município de Russas. Os demais pontos de amostragem foram na área do município de Russas.

Para as análises de agrotóxicos foram coletadas amostras de águas subterrâneas em períodos diferentes do ano de 2021, sendo a primeira coleta realizada no mês de maio, a segunda no mês de agosto e a terceira no mês de novembro, sendo coletada 19, 20 e 21 amostras respectivamente. No quarto e último ciclo, no mês de maio de 2022, foram coletadas 24 amostras, sendo 07 amostras de águas do canal de irrigação do PITR, 02 do Rio Jaguaribe e 15 de águas subterrâneas, em Russas.

O período estabelecido seguiu a orientação da Portaria nº 888/21 do MS no qual é levado em consideração o período de aplicação de substâncias de agrotóxicos nos cultivos.

Art 44 - § 4º As coletas de amostras para análise dos parâmetros de agrotóxicos deverão considerar a avaliação dos seus usos na bacia hidrográfica do manancial de contribuição, bem como a sazonalidade das culturas.

Quadro 9 – Agrotóxicos identificados nos lotes do PITR.

PONTO	EXTENÇÃO (ha)	CULTIVO	NOME COMERCIAL	CLASSE	GRUPO QUÍMICO	CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA	CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL
01	8,35	Banana	Furadan	Inseticida	Metilcarbamato de benzofuranila	III	II
02	8,42	Abacate	-		-	-	-
03	8,42	Banana/mamão	Não sabe		-	-	-
04	8,27	Banana/mamão	Não sabe		-	-	-
05	8,40	Acerola	Fertilizante mineral misto	-	-	-	-
06	8,40	Coco	Malathion	Inseticida	Organofosforado	II	I
			Amabectin	Inseticida	Avermectina	III	III
07	8,42	Limão / manga	Pulveriza não sabe	-	-		-
08	8,32	Acerola	Orgânica				-
09	8,40	Acerola	Orgânica				-

PONTO	EXTENÇÃO (ha)	CULTIVO	NOME COMERCIAL	CLASSE	GRUPO QUÍMICO	CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA	CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL
10	7,36	Cebola /Macaxeira	Cabril TOP	Fungicida	Alquilenobis (ditiocarbamato)	III	II
					Estrobilurina	III	II
11	24,89	Banana	Opera	Fungicida	Estrobilurina	IV	II
					Triazol	IV	II
			Escore	Fungicida	Triazol	I	II

Fonte: Elaborada pela autora a partir de informações fornecidas pelo DISTAR

3.4 Metodologia das coletas

Os equipamentos portáteis para realização das medidas *in situ* foram devidamente calibrados no Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC) antes de serem empregados para as medidas em campo durante todos os períodos de coleta.

As coletas foram conduzidas em conformidade o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Para as análises físico-químicas foram utilizadas garrafas tipo “pet”, previamente lavadas várias vezes com a água a ser amostrada. Após enxágue e bombeamento da água por cerca de 5 (cinco) minutos. Todo o material foi devidamente etiquetado para a identificação das amostras. O volume coletado para realização das análises foi de 2L.

Para análises de metais e agrotóxicos, foram utilizados recipientes de vidro tipo âmbar com tampa de plástico rosqueada com batoque de teflon. Toda material de vidraria usada para análises, como: balões e pipetas, dentre outros, foi previamente lavada com sabão neutro, água destilada e deixado por 48 horas em uma solução de ácido nítrico a 1%. Posteriormente foi lavado novamente com água destilada e seco na estufa. Todos os recipientes foram identificados com o número da amostra, garantindo que, em cada ciclo de coleta, a mesma amostra fosse coletada no mesmo recipiente para evitar contaminação (Figura 8). No momento da coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas, com gelo.

Para coletas em águas do canal do Pitr e do rio Jaguaribe foi utilizado balde de aço inox com capacidade de 3 litros, amarrado a uma corda de nylon, o balde foi lançado a uma determinada profundidade de aproximadamente dois metros do rio para uma maior homogeneização da amostra (Figura 9).

Figura 8 – Recipientes usados nas coletas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 9 – Recipiente usado para coleta de água do canal e rio Jaguaribe.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.5 Metodologia das análises físico-químicas em águas

Todas as análises, físico-químicas, metais pesados e agrotóxicos foram realizadas no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC).

Os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros foram os recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (APHA; AWWA; WEF, 2012). Foram analisados as seguintes variáveis: potencial hidrogeniônico (pH a 25°C), cloretos ($\text{mgCl}^{-1}\text{L}^{-1}$), dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), ferro total (mgFeL^{-1}), nitratos ($\text{mgN-NO}_3^{-}\text{L}^{-1}$), nitritos ($\text{mgN-NO}_2^{-}\text{L}^{-1}$), sódio ($\text{mgNa}^{+}\text{L}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (mgSTD.L^{-1}), sulfatos ($\text{mgSO}_4^{2-}\text{L}^{-1}$), cor aparente (mgPt-CoL^{-1}), turbidez (uT), amônia ($\text{mgN-NH}_3\text{L}^{-1}$), cloro residual ($\text{mgCl}_2\text{L}^{-1}$), fluoretos ($\text{mgF}^{-}\text{L}^{-1}$), sulfeto de hidrogênio ($\text{mgS}^{2-}\text{L}^{-1}$) e condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), conforme exigência da legislação vigente para águas destinadas ao consumo humano.

O Quadro 10 apresenta os métodos utilizados para a realização das análises físico-químicas nas amostras coletadas durante os dois períodos das coletas.

Quadro 10 – Parâmetros e metodologias das análises físico-químicas

PARÂMETRO	METODOLOGIA
Determinação de cloretos	Método 4500 Cl ⁻ B. Argentometric Method.
Determinação de dureza total	Método 2340 C. EDTA. Titrimetric Method
Determinação de ferro total	Método 3500 Fe B. Phenantholine Method
Determinação de nitratos	Rodier, J. Método del Salicilato sódico
Determinação de nitritos	Método 4500 NO ₂ ⁻ Colorimetric
Determinação de pH	Método 4500 H ⁺ B. Eletrometric Method
Determinação de Sódio	Método 3500 Na B. Flame Emission Photometric Method
Determinação de sólidos totais dissolvidos	Método 2540 C. Total Solids Dried at 180° C
Determinação de sulfatos	Método 450 -SO ₄ ²⁻ E. Turbidimetric Method
Determinação de sulfetos em água	4500 -S ²⁻ F. Iodoetric Method
Determinação de cor	Método 2120-E ADMI de filtro tristimulus. Colorímetro Digimed DM-Cor
Determinação de turbidez	Método 2130 B. Nephelometric Method
Determinação de amônia	Método 4500 NH ₃ C. Titrimetric Method
Determinação de cloro residual	Hach Test kits – pocket colorimeter
Determinação de fluoretos	Cromatografia de íons

Fonte: Elaborado pela autora. Dados fornecidos por Nutec.

3.6 Metodologia para as análises de metais pesados em águas

Foram analisadas 18 amostras de águas em 2019 e 10 amostras em 2021 (APÊNDICE A). No primeiro período, nos pontos que existiam dessalinizadores foram coletadas duas amostras no mesmo ponto água natural e água dessalinizada, para uma comparação dos resultados, tendo em vista que alguns equipamentos se apresentavam oxidados, podendo comprometer o resultado. Para 2021 foram coletadas apenas as águas destinadas ao consumo humano e, sendo assim, foram consideradas as águas dessalinizadas uma vez que essas eram as águas consumidas. Em outros locais não foi possível a coleta, haja vista que os poços estavam desativados ou por problemas ligados a acesso, sendo usado o critério de abastecimento humano. Na conservação das amostras, foi acrescentado 2mL de ácido nítrico para 500 mL da amostra. As análises foram realizadas por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) conforme método 3120 B, descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012) bem como os procedimentos operacionais técnicos (POT-76) do Laboratório de Química Instrumental (LQI) do NUTEC. Foi utilizado o equipamento de *Emission Spectrometer* da marca *Thermo Scientific*, modelo iCAP 6000 Series (Figura 10). As coletas das amostras seguiram os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes (ANA, 2011).

Figura 10 – Análise de metais.



Fonte: Elaborada pela autora.

As 25 substâncias analisadas incluem Alumínio (Al), Arsênio (As), Boro (B), Bário (Ba), Bismuto (Bi), Cálcio (Ca), Cádmi (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Antimônio (Sb), Escândio (Sc), Selênio (Se), Estanho (Sn), Estrôncio (Sr), Vanádio (V) e Zinco (Zn) (Tabela 1).

Para a determinação dos teores totais dos parâmetros inorgânicos contidos na água, foi adotado o procedimento de ataque ácido, 7,0 mL de ácido nítrico (HNO₃) e 1,0 mL peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Esse processo foi realizado por meio da técnica de digestão por forno micro-ondas, utilizando o rotor de alta pressão, modelo SK-10 da marca Milestone Ethos, conforme *application note* HPR-EN-17.

Para interpretar os dados, foram usados os limites de quantificação (LQ) e limites de detecção (LD) conforme apresentado na Tabela 1. De acordo com Ribane *et al.*, (2004), o limite de quantificação (LQ) representa a menor quantidade do analito em amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis pelo laboratório/método, ou seja, é a menor concentração/massa da substância/composto que pode ser determinada quantitativamente. O limite de detecção (LD) por sua vez, é a menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, embora não necessariamente quantificado, sob as condições experimentais estabelecidas. Se a concentração for menor que o limite de detecção, considera-se não detectado (ND).

De acordo com a regulamentação, é fundamental que os limites de detecção (LD) dos métodos analíticos sejam ser necessariamente inferiores aos valores máximos permitidos (VMPs) dos compostos. Isso garante que a concentração do poluente atenda aos requisitos preconizados pela norma vigente, assegurando que a água fornecida não ofereça risco à saúde. A capacidade de detectar um poluente é maior quando tanto o LD quanto o LQ da técnica são menores, isto é, quanto menor a concentração possível de ser mensurada, melhor a capacidade de monitoramento. Essa informação é crucial, pois mesmo que a concentração esteja baixo, se um poluente é detectado no ambiente, medidas preventivas devem ser adotadas (BERGAMASCO *et al.*, 2011).

Tabela 1 – Limites de Quantificação (LQ) e Limite de Detecção (LD) do método analítico.

Parâmetro	LD (mgL⁻¹)	LQ (mgL⁻¹)
Alumínio - Al	0,005	0,05
Antimônio – Sb	0,001	0,03
Arsênio – As	0,03	0,1
Bário – Ba	0,0005	0,01
Bismuto – Bi	0,002	0,01
Boro – B	0,003	0,1
Cálcio – Ca	0,0005	0,003
Cádmio – Cd	0,0005	0,005
Chumbo – Pb	0,003	0,01
Cobalto – Co	0,0005	0,03
Cobre – Cu	0,05	0,1
Cromo – Cr	0,001	0,1
Escândio – Sc	0,001	0,05
Estanho – Sn	0,0005	0,005
Estrôncio – Sr	0,003	0,01
Ferro – Fe	0,0005	0,01
Magnésio – Mg	0,001	0,01
Manganês – Mn	0,0005	0,005
Molibdênio – Mo	0,001	0,01
Níquel – Ni	0,001	0,01
Potássio – K	0,005	0,03
Selênio – Se	0,005	0,01
Vanádio – V	0,0005	0,005
Zinco – Zn	0,001	0,05

Fonte: Elaborada pela autora. Valores informados pelo Laboratório de Química Instrumental do NUTEC.
 Legenda: LD - Limite de Detecção do Equipamento; LQ - Limite de Quantificação do Equipamento.

3.6.1 Especificação do Cromo

Dada a preocupação em relação ao cromo trivalente e hexavalente, foi realizada a análise de especificação do elemento para as amostras coletadas em 2021. Para análises foi usado o método 3500-Cr descrito no (APHA *et al.*, 2017). O Cromo hexavalente é determinado colorimetricamente através da reação com difenilcarbazida em solução ácida. Um complexo colorido de vermelho violeta e composição desconhecida é produzido. A reação é muito sensível e a absorção molar baseada em Cromo é maior que $(40000\text{Lg}^{-1}\text{cm}^{-1})$ em 540nm. A amostra foi digerida com uma mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) e oxidada com permanganato de potássio (KMnO_4), antes da reação com difenilcarbazida ($\text{C}_3\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}$) (DPC). A leitura das amostras foi realizada no Espectrofotômetro de absorção UV-Vis Shimadzu UV-2600 (China) equipado com Lâmpada de Deutério (160-380 nm) e Lâmpada de halogênio 50 w (380-780 nm) e cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho óptico foram utilizados para as leituras das amostras numa faixa de 250 a 650 nm.

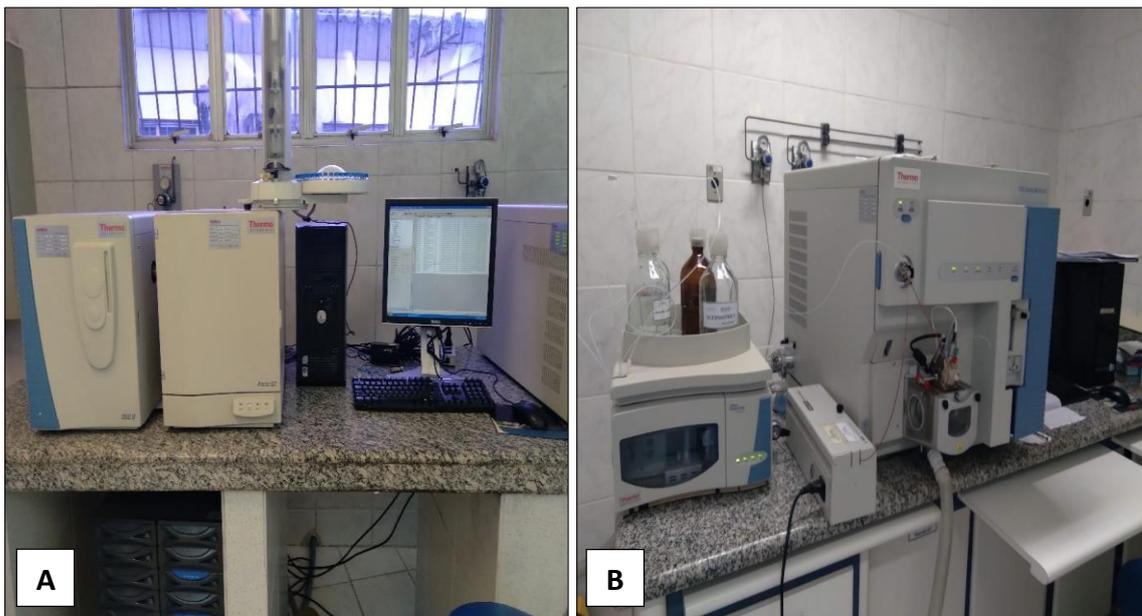
3.7 Metodologia para análise de agrotóxicos

As análises foram realizadas por cromatografia gasosa (GC) usando um cromatógrafo a gás GCMS-QP 2010 Plus, Shimadzu® e cromatografia líquida usando um cromatógrafo líquido acoplado a um espectrômetro de massas triplo quadrupolo (LC-MS/MS) com interface por eletronebulização (ESI) e Ionização Química à Pressão Atmosférica (APCI) marca *Thermo Scientific*, equipado com bomba quaternária, modelo *surveyor* plus marca *Thermo Scientific*. Para separação dos compostos foi usada uma coluna analítica Ascentis C-18 da marca Sigma-Aldrich (15cm x 2,1mm d.i., 3,0 μm) à temperatura de 35°C (± 3). As análises do glifosato em água foram realizadas usando o método cromatografia de íons. Os equipamentos estão representados nas Figura 11, A e B. As substâncias analisadas foram aquelas cujo laboratório dispunha de padrões:

- a) 1º Ciclo – 16 substâncias: acefato+metamidofos, aldicarbe+aldicarbe sulfóxido, ametrina, carbendazim, carbofurano, difenoconazol, dimetoato, diuron, glifosato, imidacloprido, malation, pernetrina profenofos, simazina tiametoxan, tebuconazol e glifosato.
- b) 2º Ciclo - 15 substâncias: acefato + metamidofos, aldicarbe+aldicarbe sulfóxido, tiametoxan, carbendazim, imidacloprido, dimetoato, carbofurano, simazina, diuron, ametrina, malation, tebuconazol, difenoconazol, profenofos e glifosato.

- c) 3º Ciclo: 10 substâncias: acefato + metamidofos, aldicarbe+aldicarbe sulfóxido, ametrina, carbofurano, dimetoato, imidacloprido, malation, permetrina, tebuconazol e glifosato.
- d) 4º Ciclo: 38 substâncias: acefato + metamidofos, aldicarbe+aldicarbe sulfóxido, tiametoxan, carbendazim, imidacloprido, dimetoato, carbofurano, simazina, diuron, ametrina, malation, tebuconazol, difenoconazol, profenofos, 2,4 D + 2,4,5 T, Alacloro, Aldrin+Dieldrin, Atrazina, Ciproconazol, Clordano, Clorpirifos, p,p' DDD + p,p' DDE + p,p' DDT, endosultan ($\alpha + \beta + \text{sais}$), endrin, lindano (gama hch), metolacloro, molinato, trifluralina, azoxistrobina, bifentrina, cipermetrina, deltametrina, paration metil, pentimentalina, permetrina, propiconazol, trifloxistrobina e glifosato.

Figura 11 – A: Cromatografo gasoso (GC) – B: Cromatógrafo líquido (LC-MS/MS).



Fonte: Laboratório de Química Instrumental do Nutec

3.8 Metodologia para interpretação dos resultados

Os resultados das análises foram expostos através de mapas, tabelas, gráficos e diagramas, facilitando a interpretação dos resultados. Foram utilizadas portarias e legislações vigentes para a comparação dos valores obtidos com os VMP's, relacionando com os impactos causados ao meio ambiente e na saúde da população daquele município. Para confecção dos mapas foram utilizados dados vetores dos órgãos oficiais (IBGE, IPECE e CPRM) e *Softwares* ArcGIS® 10.6.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi conduzida considerando os limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes para águas destinadas ao consumo humano. Neste contexto, foram identificadas potenciais fontes poluentes e discutidas sua relação com os impactos causados ao meio ambiente e à saúde no referido município.

4.1 Águas superficiais e subterrâneas

Foi publicado um artigo pela autora (Mendes *et al.*, 2021) (Apêndice C) que aborda as condições climáticas, o *déficit* hídrico associado aos longos períodos de estiagem e a oferta hídrica superficial e subterrânea do município de Russas. Os recursos hídricos subterrâneos aparecem como uma das principais fontes para suprir a carência hídrica local. Foi realizada a classificação dos reservatórios de águas superficiais e subterrâneos, e a série histórica da pluviometria do município no período de 1980 a 2018. As precipitações para um período de 28 anos, ao longo da série histórica indicaram que o município de Russas apresentou quatro anos de seca severa, seis anos de normal seco, 19 períodos classificados como normal chuvoso, sete chuvoso moderado, dois chuvoso severo e um período chuvoso.

O município apresentou um quadro hídrico quantitativo bastante delicado, com longos períodos de estiagem. Os reservatórios superficiais foram classificados de pequenos a muitos pequenos, onde o menor apresentou uma área de 235m² e o maior com 6.105.126m², Açude Santo Antônio de Russas, com vazão de 12 m³/h, conforme Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Nesse período, o município apresentou 358 poços cadastrados, dos quais apenas 35% estão ativos com vazão total 668,9m³/h. De acordo com o balanço hídrico realizado para Russas, observou-se que não se dispõe de uma oferta hídrica favorável. Essa região é fomentada pelo agronegócio.

As águas superficiais do município de Russas, além de possuírem reservatórios superficiais reduzidos (MENDES *et al.*, 2021), apresentam um quadro trófico bastante delicado. Conforme disponível na plataforma da COGERH (Tabela 2), o estado trófico das águas do açude Santo Antônio de Russas, período de 2008 a 2020, apresenta predominância de águas eutróficas, sendo: Eutrófica (67,5%), Mesotópica (2,5%), Oligotrófica (22,5%) e Hipereutrófica (7,5%) (Figura 12).

Tabela 2 – Estado trófico das águas do açude Santo Antônio, Russas – CE.

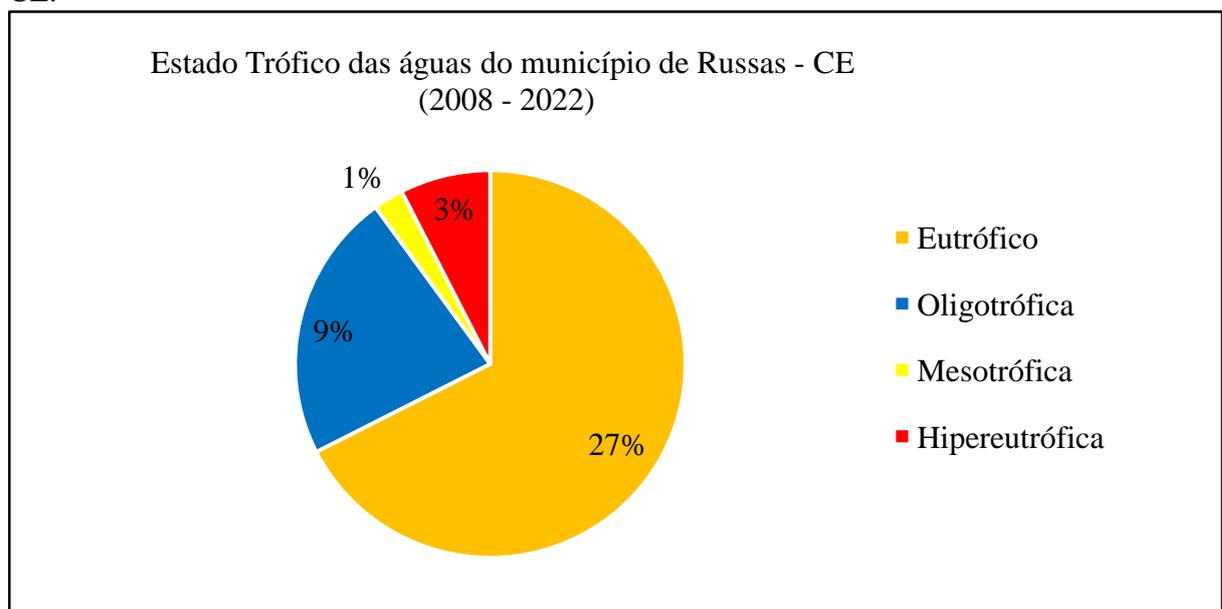
ANO	ESTADO TRÓFICO DA ÁGUA/PRECIPITAÇÃO MENSAL (mm)							
	Fevereiro		Maio		Agosto		Novembro	
2008	EUT	97,2	EUT	217,4	EUT	15,0	N.I	0,0
2009	EUT	179,7	EUT	298,6	EUT	49,6	N.I	0,0
2010	EUT	176,4	OLI	49,4	N.I	0,0	N.I	0,0
2011	MES	269,4	EUT	140,4	OLI	5,2	OLI	0,0
2012	N.I	48,4	OLI	0,0	OLI	0,0	OLI	0,0
2013	OLI	21,6	OLI	59,6	OLI	0,0	EUT	15,3
2014	EUT	26,6	EUT	131,0	EUT	0,0	EUT	2,0
2015	EUT	45,4	HIP	6,2	EUT	0,0	N.I	0,0
2016	N.I	160,8	N.I	49,0	N.I	0,0	N.I	0,0
2017	N.I	42,2	EUT	68,6	EUT	0,0	HIP	0,0
2018	N.I	78,2	EUT	74,2	EUT	0,0	EUT	0,0
2019	EUT	240,4	EUT	95,0	EUT	3,2	EUT	0,0
2020	EUT	72,9	EUT	105,5	HIP	6,9	EUT	20,8

Elaborada pela autora.

Fonte: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (2022).

Legenda: OLI: Oligotrófica – MES: Mesotrófica – EUT: Eutrófica – HIP: Hipereutrófica – NI: Não informado

Figura 12 – Classificação do estado trófico das águas superficiais do município de Russas – CE.



Elaborado pela autora.

Fonte: dados da Cogerh (2022).

O crescimento populacional, agregado aos fatores climáticos e as atividades humanas, são os principais fatores responsáveis pela poluição dos recursos hídricos, principalmente os superficiais. Vários tipos de resíduos, de diversas fontes, contribuem para comprometer a qualidade das águas.

Esgotos domésticos e efluentes provenientes das atividades como carcinicultura e pecuária contribuem com significativas cargas orgânicas. As indústrias com uma série de compostos sintéticos e elementos químicos potencialmente tóxicos e as atividades agrícolas contribuem para a contaminação por pesticidas e fertilizantes ricos em sais minerais (NETO; FERREIRA, 2007). Essas ações antrópicas podem afetar a qualidade do ambiente para os organismos aquáticos, ou mesmo para a saúde humana, por meio da ingestão de águas contaminadas. As últimas décadas foram marcadas pela crescente preocupação com o efeito das atividades humanas sobre o meio ambiente. A sociedade organizada está cada vez menos tolerante aos problemas associados à poluição hídrica (BRAGA *et al.*, 2005).

A eutrofização é reconhecida como um dos problemas de qualidade da água de maior importância na atualidade. Dentre os males causados pela eutrofização destacam-se a proliferação acelerada de macrófitas aquáticas e algas que podem produzir substâncias tóxicas nocivas à saúde (BARRETO *et al.*, 2013)

4.2 Vulnerabilidade e tipos de poços da área de estudo

Litologicamente, a área onde existe a maior oferta de água é no Sistema Aluvionar. Conforme Cardoso (2006), ele corresponde aos depósitos arenosos e argilosos que ocorrem margeando os baixos cursos dos principais rios da área do Baixo Jaguaribe, ocupando uma área de 1160 km² (13%) representa uma importante fonte de armazenamento de água.

Os tipos de poços encontrados no município são, geralmente, do tipo amazonas. São estruturas escavadas com diâmetros superiores a 5m e apresentam um revestimento parcial, ou total, em sua parede, diferenciando-se dos poços do tipo cacimbão apenas pelo diâmetro (VASCONCELOS, 2014).

Embora não tenha uma direção de fluxo hídrico subterrâneo bem definido da área de estudo, por falta de informações construtivas dos poços, percebe-se a vulnerabilidade local, como é o caso do ponto 32 representando uma cacimba antiga (mais de 50 anos), nível estático de 12 m, localizada no centro da cidade de Russas. De acordo com informações de usuários, havia uma escola próxima com um canal a céu aberto onde o efluente era perene. A Figura 13 mostra a vulnerabilidade do local. A ocupação urbana e a carga de esgoto, tendo em vista a falta

de estrutura de saneamento do município, são potenciais fontes de contaminação dessa importante fonte hídrica.

Figura 13 – Vulnerabilidade do local do ponto 32.



Fonte: Elaborada pela autora.

Esse tipo de construção é uma prática antiga usada para captar águas subterrâneas, e os poços escavados são encontrados, geralmente, em sedimentos não consolidados, como aluviões, e nas áreas rebaixadas entre as dunas nas regiões costeiras. Captam água geralmente em profundidades não superiores a 15m, porém, dependendo da região, podem ter profundidades superiores a 50m. As cacimbas não possuem revestimento, sendo bastante comuns em leitos de rios sazonais ou nas margens de reservatórios de águas superficiais. O ponto 32, Figura 14, A e B, ilustra o tipo de construção antiga com estruturas arcaicas e abastecimento de carros-pipas, respectivamente.

Outro exemplo de vulnerabilidade do local em função do fluxo hídrico subterrâneo é o ponto 15, Figura 15, A, B, C e D. Sendo A: Profundidade do poço, aproximadamente 3m; B: Esgoto a céu aberto próximo ao local do ponto de coleta; C: lixão bem próximo desse ponto, e, D: Entulho de ferro velho.

Figura 14 – Ponto 32: Cacimbão no centro do município de Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 15 – Local de coleta da amostra 15 no município de Russa – CE.

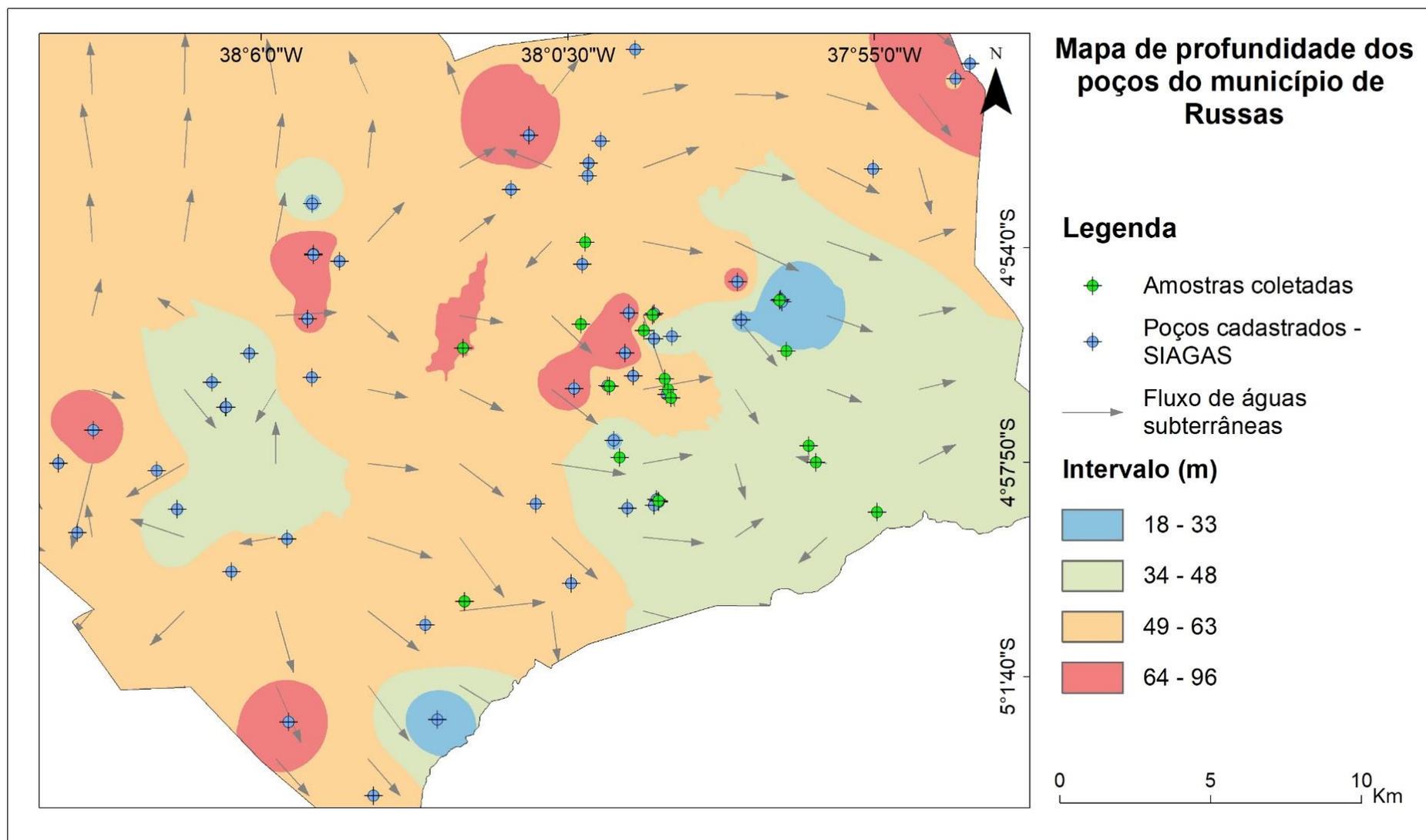


Fonte: Elaborada pela autora.

Em alguns locais, a vulnerabilidade da área, como no ponto 15, é bem evidente podendo haver infiltração de substâncias nos solos, atingindo o nível freático. As ações antrópicas contribuem de forma efetiva para a contaminação das águas subterrâneas.

Foi elaborado o mapa de profundidade dos poços (Figura 16), pois há pontos de coletas em poços rasos localizados, em sua maioria, nas aluviões com altitudes mais baixas e com alta permeabilidade sendo, então, mais vulneráveis à contaminação. Os poços amostrados nesta pesquisa são bem rasos. Foram utilizados os dados de poços cadastrados no SIAGAS que apresentavam as informações necessárias para a elaboração do mapa.

Figura 16 – Mapa de profundidade de poços e fluxo hídrico subterrâneo do município de Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Resultado das análises físico-químicas das águas subterrâneas

A Tabela 3 mostra os resultados médios, mínimos e máximos obtidos para os parâmetros físico-químicos que foram analisados: cloretos ($\text{mgCl}^{-1}\text{L}^{-1}$), dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), ferro total (mgFeL^{-1}), nitratos ($\text{mgNNO}_3^{-}\text{L}^{-1}$), nitritos ($\text{mgNNO}_2^{-}\text{L}^{-1}$), pH a 25°C, sódio ($\text{mgNa}^{+}\text{L}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (mgSTD.L^{-1}), sulfatos ($\text{mgSO}_4^{2-}\text{L}^{-1}$), cor aparente (mgPt-CoL^{-1}), turbidez (uT), amônia ($\text{mgN-NH}_3\text{L}^{-1}$), cloro residual ($\text{mgCl}_2\text{L}^{-1}$), fluoretos ($\text{mgF}^{-}\text{L}^{-1}$), sulfeto de hidrogênio ($\text{mgS}^{2-}\text{L}^{-1}$) e condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em 18 (dezoito) pontos de coleta durante o mês de setembro de 2019, e 10 (dez) pontos durante o mês de maio de 2021. A preocupação em coletar amostras em locais com dessalinizadores foi em função dessas águas serem destinadas ao consumo humano. No entanto, para os cálculos das médias foram excluídas as amostras coletadas nesses referidos pontos, tendo em vista que não há parâmetros de considerações de utilização e manutenção do equipamento, como: tempo de uso da membrana, membrana nova, dentre outros fatores, considerando apenas as águas naturais. Nas discussões e geração dos gráficos as amostras dessalinizadas foram consideradas. Foi utilizado o Limite de Quantificação (LQ) do método onde os resultados apresentavam-se inferiores ao LQ.

Os parâmetros com resultados anômalos foram: cloretos (mg.L^{-1}), dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), ferro total (mg.L^{-1}), Sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) e condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$). Após identificação dos anômalos, *outliers*, esses valores foram removidos para obtenção dos cálculos das médias, foi gerado um novo *box plot* com as suas novas médias. Para as médias dos resultados foram excluídas as águas dessalinizadas.

Tabela 3 – Resultados médios das análises físico-químicas das águas subterrâneas, Russas – CE.

Parâmetro Analisado	Período Seco (2019) (18 Amostras)			Período Chuvoso (2021) (10 Amostras)			LQ	VMP (mg/L)	
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo		MS Nº 888/2021	CONAMA Nº 396/2008
Cloretos (mg Cl ⁻ .L ⁻¹)	509,93	29,00	1.652,50	327,30	27,90	838,30	2,0	≤ 250,0	≤ 250,0
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	333,56	80,20	591,50	125,55	52,50	443,20	2,0	≤ 500,0	-
Ferro total (mg Fe.L ⁻¹)	0,10	< LQ	0,1	0,1	< LQ	0,10	0,10	≤ 0,3	≤ 0,3
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ .L ⁻¹)	16,01	< LQ	56,40	51,89	< LQ	134,4	5,0	≤ 250,0	≤ 250,0
Sódio (mgNa ⁺ .L ⁻¹)	261,73	14,60	678,90	139,09	11,80	356,30	1,0	≤ 200,0	≤ 200,0
STD (mg.L ⁻¹)	869,57	90,7	2.538,80	1.078,29	98,80	2.840,40	2,0	500,0	500,0
Turbidez (NTU)	4,81	< LQ	37,40	0,74	0,50	1,40	0,1	≤ 5,0	-
CE (µS.L ⁻¹) 25°C	2.019,08	334,00	5.841,00	1.267,17	153,0	2.270,00	-	-	-
Cor (uH)	NR	-	-	6,29	1,30	11,00	0,1	≤ 15,0	-
Amônia (mg N-NH ₃ .L ⁻¹)	NR	-	-	0,10	< LQ	0,10	0,10	≤ 1,5	-
Cloro Residual (mg Cl ₂ .L ⁻¹)	NR	-	-	0,15	< LQ	0,50	0,01	0,2 - 2,0	-

Parâmetro Analisado	Período Seco (2019) (18 Amostras)			Período Chuvoso (2021) (10 Amostras)			LQ	VMP (mg/L)	
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo		MS Nº 888/2021	CONAMA Nº 396/2008
Fluoreto (mg F-.L-1)	NR	-	-	0,23	< LQ	0,50	0,10	≤ 1,5	≤ 1,5
Sulfeto (mg S ₂ ²⁻ .L-1)	NR	-	-	0,10	< LQ	0,10	0,10	≤ 0,1	-
Magnésio (mg Mg ⁺⁺ .L ⁻¹)	57,22	< LQ	355,7	26,05	< LQ	92,90	2,0	-	-
Bicarbonatos (mg HCO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	171,67	43,80	542,8	200,37	4,1	564,60	2,0	-	-
Potássio (mg K ⁺ .L ⁻¹)	7,43	0,5	25,6	11,18	0,1	39,60	2,0	-	-
Cálcio (mg Ca.L ⁻¹)	80,16	< LQ	401,0	26,24	< LQ	112,50	2,0	-	-
Carbonatos (CO ₃ mg.L ⁻¹)	3,01	< LQ	20,3	8,93	< LQ	65,22	2,0	-	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: NR – Não Realizado – CE: Condutividade elétrica - STD: Sólidos totais dissolvidos - (D): Dessalinizador – LQ: Limite de Quantificação – VMP: Valor máximo permitido – MS: Ministério da Saúde

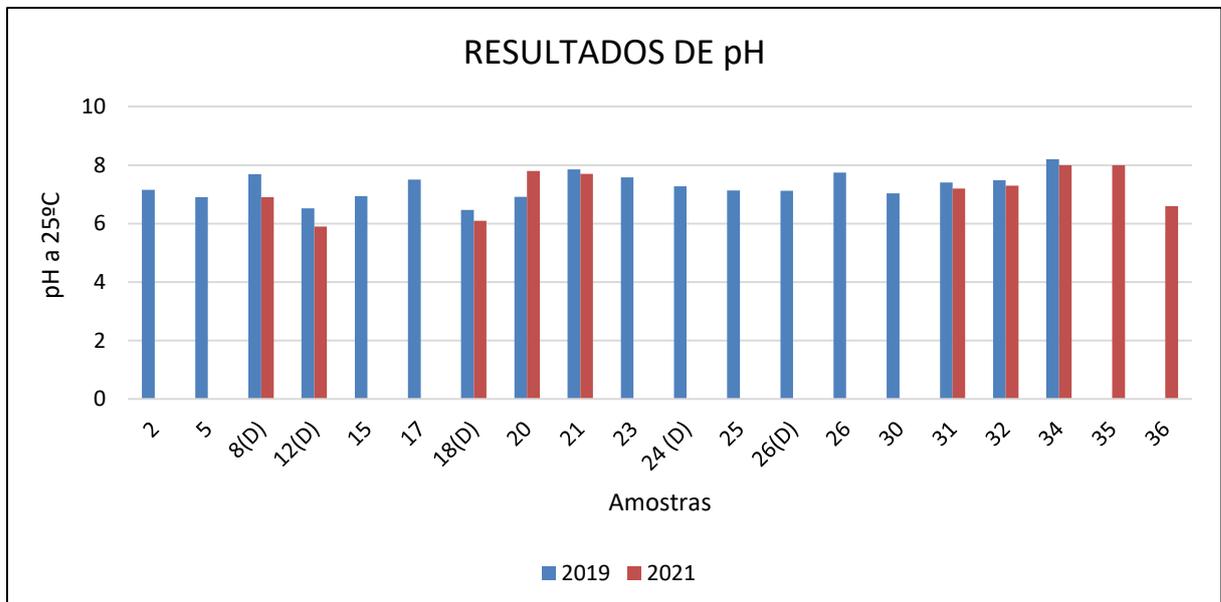
Dentro do contexto climatológico a maior parte dos rios são naturalmente intermitentes, os eventos de estiagem comprometem os reservatórios superficiais e subterrâneos. O município apresenta um quadro hídrico quali-quantitativo bastante delicado, tanto nos recursos hídricos superficiais como subterrâneos, em virtude das formações geológicas predominantes na área, as rochas cristalinas, nas quais a água captada apresenta baixa vazão e qualidade comprometida pela concentração de sais.

❖ pH a 25°C

Conforme Hounslow (1995), a principal razão dos valores de pH da água serem inferiores a 6 (seis) é a quantidade significativa de minerais de argila que dissolvem e liberam valores de sílica (Si) e alumínio (Al) anormalmente alto para a água. Valores mais elevados de pH geralmente se encontram em águas com predominância dos íons sódio (Na^+) e cálcio (Ca^{++}) ou em águas ricas em bicarbonatos (HCO_3^-); as águas poluídas geralmente são mais ácidas.

O Gráfico 6 mostra os valores médios do pH obtidos para as amostras coletadas nos anos 2019 e 2021.

Gráfico 6 – Resultados obtidos para os valores de pH (Anos de 2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a tabela de resultados para análises físico-químicas (APÊNDICE A), observou-se que nas coletas realizadas em setembro de 2019, o pH variou de 6,47 a 8,20, com média de 7,3. Para as coletas realizadas em maio de 2019, o pH variou de 5,90 a 8,00, com

média de 7,15. As amostras 18 e 02 apresentaram o menor e o maior valor, com 6,47 e 8,2 respectivamente. Em 2021 a amostra 12 apresentou o menor valor com 5,9 e o maior valor com 8,0 para a amostra 34. A amostra 35 é uma água proveniente de açude, e possui valor também de 8,0.

Em maio de 2021, considerado um período chuvoso, a amostra 12 apresentou uma leve tendência ácida com valor de 5,90, e esse valor pode ser devido a influência das chuvas durante os períodos das coletas pois, segundo Pohling (2009), a água da chuva é levemente ácida. O efeito prejudicial da chuva ácida para o solo é consequência dos nutrientes lixiviados e metais pesados tóxicos quase insolúveis, como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg), que podem ser dissolvidos em pH menor que 3,0 e liberados como íons tóxicos e migrar para a zona saturada.

❖ *Sólidos Totais Dissolvidos (STD)*

A Portaria GM/MS nº888/2021 estabelece o valor máximo permitido (VMP) ≤ 500 mgL⁻¹ para esse parâmetro. A média de STD (mg.L⁻¹) para 2019 foi de 869,57 e 2021 de 1.078,29, ambos acima do valor máximo permitido pela legislação.

Pode-se observar no APÊNDICE A, que os valores obtidos de STD para as amostras 2, 5, 15, 17, 20, 30 e 34, coletadas durante setembro/2019, se encontraram em não conformidade com o VMP pela legislação vigente e, portanto, foram consideradas impróprias para o consumo humano. As amostras 8D, 12D, 18D e 26D são águas dessalinizadas, no entanto a amostra 26D não atende ao VMP estabelecido pela Portaria para esse parâmetro.

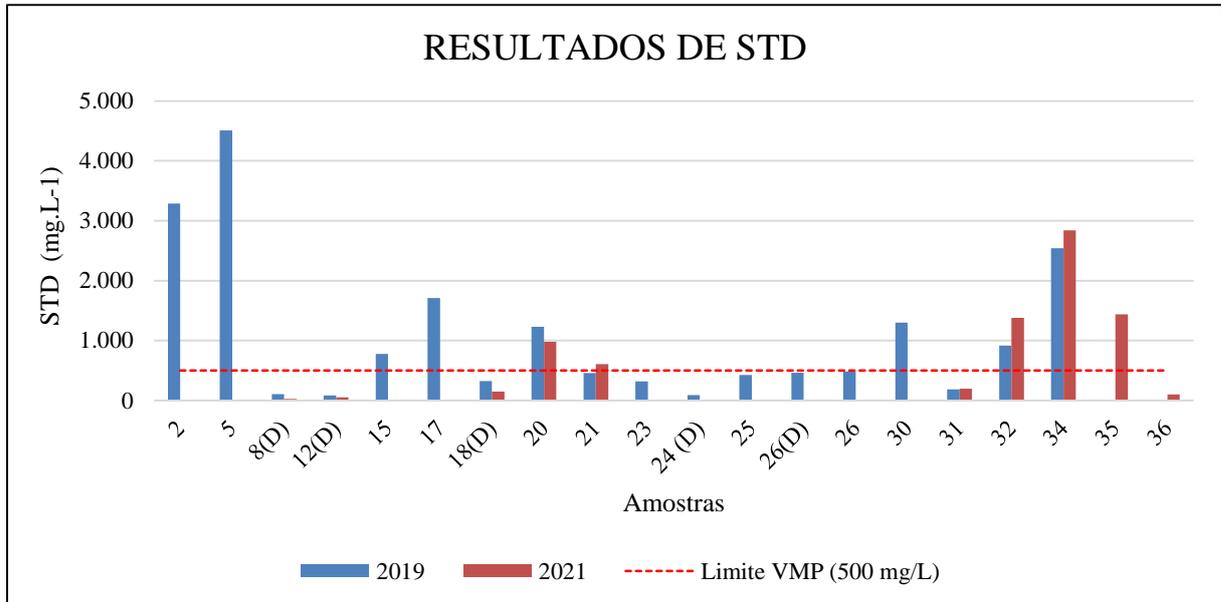
A Resolução nº 396/2008 do CONAMA estabelece o VMP $\leq 1.000,0$ mgL⁻¹ para STD, sendo assim as amostras 2, 5, 17, 20, 30 e 34, coletadas em setembro/2019, se encontraram em não conformidade com o VMP e, portanto, também foram consideradas impróprias para o consumo humano conforme esta Resolução.

Observa-se no Gráfico 7 que os pontos 2 e 5 apresentaram maior aumento da concentração de STD. Esses pontos encontram-se no Perímetro Irrigado de Russas onde, além da contribuição geogênica natural da área, esses pontos podem estar recebendo resíduos de agrotóxicos aplicados na área.

Em relação aos resultados de STD para as amostras coletadas durante maio/2021, mostrados no Apêndice A, pode-se observar que os valores obtidos para as amostras 20, 21, 32, 34 e 35 encontraram-se em não conformidade com o VMP e, portanto, foram consideradas impróprias para o consumo humano, apresentando média de 1.078,29 mgL⁻¹. Comparando-se

os resultados com a Resolução nº 396/2008 do CONAMA, as amostras 32, 34 e 35 estavam em não conformidade com o VMP e, portanto, também foram consideradas impróprias para o consumo humano pela Resolução 396/2008.

Gráfico 7 – Resultados obtidos para os valores de STD (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

❖ *Condutividade Elétrica (CE)*

A Portaria do Ministério da Saúde e a Resolução do CONAMA citadas, não estabelecem Valor Máximo Permitido (VMP) para este parâmetro. Observou-se que em 2019 ocorreu um aumento significativo deste parâmetro (Gráfico 8) decorrente, provavelmente, das condições climatológicas e possivelmente de fontes contaminantes antrópicas, como efluentes e usos de pesticidas.

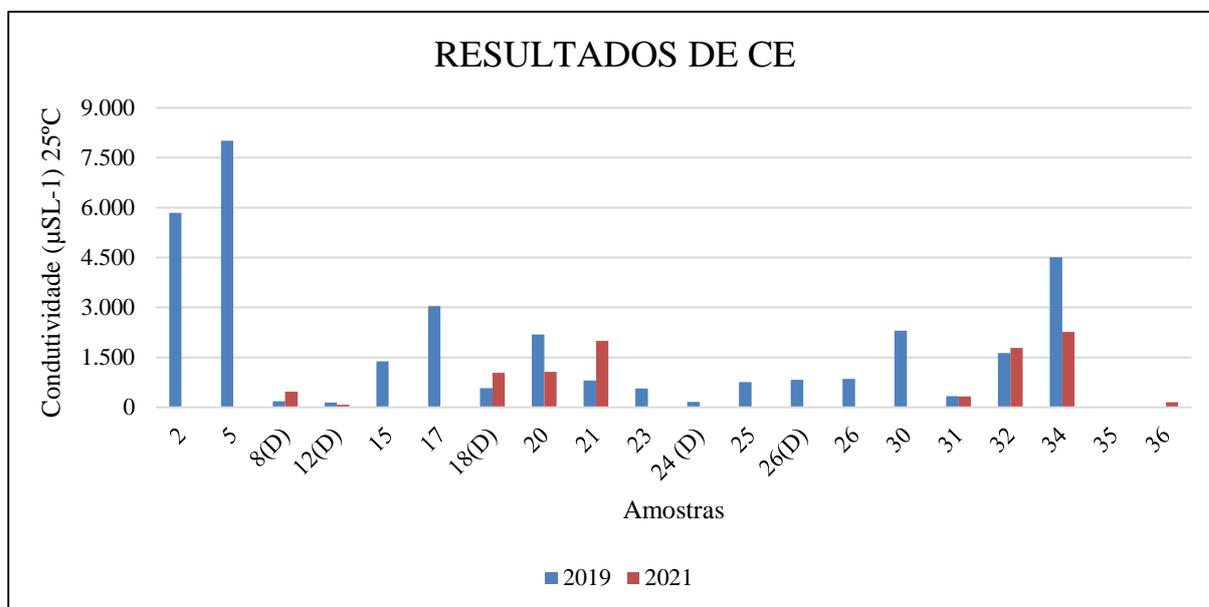
Durante o mês de maio de 2021, correspondente ao período chuvoso, ocorreu a redução da condutividade e salinidade devido à diluição dos íons (Cl^- e Na^+), causada pelas chuvas. Esse fenômeno está associado aos ciclos de recarga e descarga aquífera, diluindo e concentrando os sais.

A redução da CE da água se deve às diluições dos sais com a recarga de aquífero enquanto nos períodos secos ocorre o inverso, onde a ausência de precipitação pluviométrica e a adsorção de íons das rochas aumenta a concentração de sais.

Com a elevação de sais nas águas dos poços, ocorre também a alteração nas águas produzidas pela dessalinização por osmose reversa, onde a água dessalinizada irá possuir mais

sais e, conseqüentemente, menor qualidade. Nas comunidades beneficiadas com o dessalinizador, a água dessalinizada é o principal produto utilizado para o consumo doméstico, principalmente para beber e cozinhar.

Gráfico 8 – Resultados da condutividade elétrica nas águas subterrâneas (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

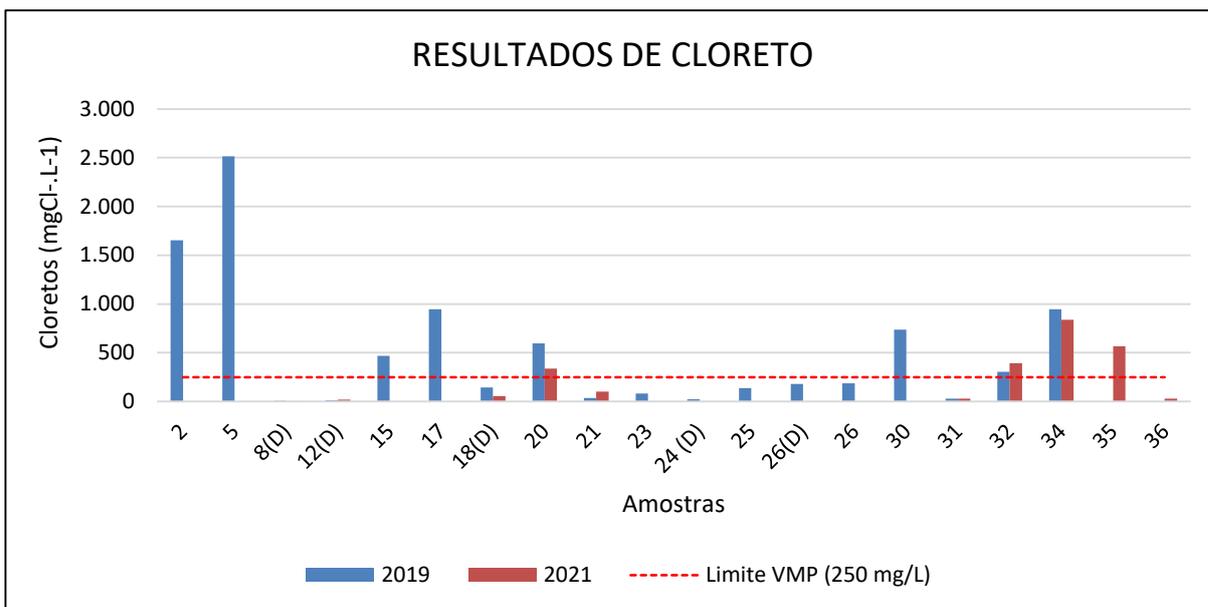
❖ Cloreto

De acordo com APÊNDICE A, para as amostras coletadas durante o mês de setembro de 2019, com base nos resultados médios obtidos para os parâmetros que contribuiram para a salinidade da água, observou-se que as concentrações do íon cloreto (mgCl^{-1}) variaram de 29,00 a 1.652,50, com média de 509,93. Um valor de *outliers* de 2.513,80, no ponto 05 foi extraído da média.

No período de 2019 o cloreto aparece em oito (8) amostras acima VMP (250 mgCl^{-1}) da Portaria nº 888/21 do MS (BRASIL, 2021). Conforme o Gráfico 9, as maiores concentrações desse elemento foram nos pontos 02 e 05, localizados no Pitr. Nessa área o aumento da salinidade nas águas pode ser influência do uso de agrotóxicos também pode estar contribuindo para uma maior concentração do mesmo.

Elevados teores de cloreto podem indicar a poluição da água subterrânea por efluentes líquidos domésticos, que refletem as formas de uso do solo e a deficiência no saneamento, uma vez que as excretas humanas também representam uma fonte de cloreto para as águas naturais (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Gráfico 9 – Resultados do teor de cloreto presente nas águas subterrâneas (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

Os cloretos, quando encontrados em teores elevados, conferem a água sabor salgado e possuem efeitos laxativos, e tais íons podem ter origem natural (dissolução de minerais ou intrusão de águas marinhas) ou antropogênica (esgotos domésticos e industriais) (BRASIL, 2014).

As amostras 8D, 12D, 18D e 26D são oriundas de dessalinizadores e encontram-se dentro dos padrões de potabilidade do MS destinados ao consumo humano.

Para as amostras coletadas em 2021, as de números 20, 32 e 34 não atenderam aos padrões da Portaria GM/MS nº 888 de 4 maio de 2021 do Ministério da Saúde para água de consumo humano. A amostra 35 é proveniente da água do canal, mas, também não atende a referida Portaria.

❖ *Dureza total (mgCaCO₃L⁻¹)*

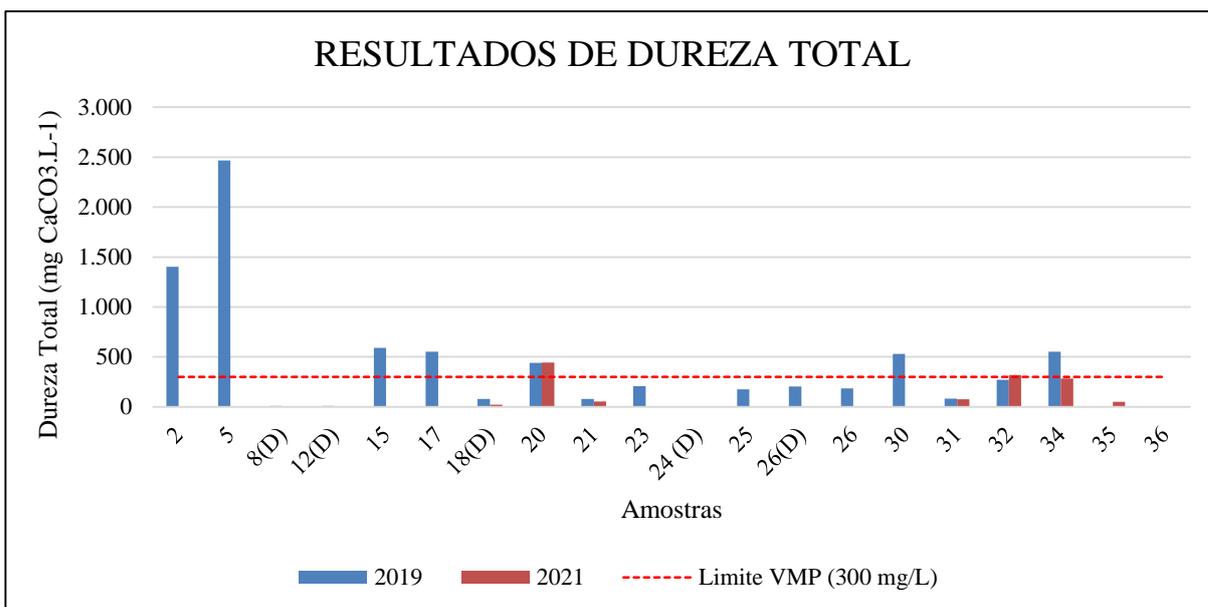
Conforme a Tabela 3, a média da dureza total das 18 amostras analisadas em 2019 foi 333,56 mgCaCO₃L⁻¹. Em 6 (seis) amostras, que foram coletadas nos pontos 2, 5, 15, 17, 20, 30 e 34, as concentrações não atenderam a Portaria nº 888/21 do Ministério da Saúde que estabelece o VMP ≤ 300 mgCaCO₃L⁻¹.

As concentrações da dureza total estão mais presentes para as coletas realizadas em 2019, correspondente ao período seco. Os valores cálcio e magnésio variam em cálcio <LQ a 401,0 mg Ca. L⁻¹, e no magnésio variam de <LQ a 355,7 mg Mg⁺⁺.L⁻¹, com médias de 80,16 e

57,22 respectivamente. Os pontos 2 e 5 apresentaram maiores concentração, como é visto no Gráfico 10.

Nas amostras coletadas em 2021, correspondente ao período chuvoso, as concentrações de dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), cálcio e magnésio variam em: cálcio $<\text{LQ}$ a $112,50 \text{ mg Ca. L}^{-1}$ e no magnésio variam de $<\text{LQ}$ a $92,90 \text{ mg Mg}^{++}\text{.L}^{-1}$, com médias de 26,24 e 26,05, respectivamente. Neste ano, 100% das amostras atenderam à Portaria do MS.

Gráfico 10 – Resultados da dureza total presente nas águas (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

A dureza total não possui significado em termos sanitários e, em função do seu valor, a água pode ser classificada em mole ou branda ($< 50 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), dureza moderada ($50 - 150 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$), dura ($150 - 300 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$) e muito dura ($> 300 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$) (LIBÂNEO, 2016).

Porém, segundo Cortecchi (2006), a relação extraordinária entre a dureza das águas, controlada essencialmente por cálcio e magnésio, e a incidência de doenças cardiovasculares foi considerada em base a uma correlação negativa, ainda que fraca, entre esses dois elementos, em várias regiões do mundo industrializado e não industrializado.

Logan (1965) estabeleceu uma classificação para a dureza das águas (Tabela 4).

Dentro da classificação de Logan (1965), para 2019 foram classificadas como águas moles as amostras coletadas nos pontos 8D, 12D, 21D, 23, 24 e 31; águas intermediárias as amostras coletadas nos pontos 25 e 26; e águas duras as amostras coletadas nos pontos: 2, 5, 15, 17, 20, 23, 30 e 34.

Para o ano de 2021, as amostras foram classificadas como águas moles nas amostras dos pontos 8D, 12D, 18D, 31e 36D; foi classificada como água intermediária a amostra coletada no ponto 21 e; classificadas como águas duras as amostras coletadas nos pontos 20, 32, 34 e 35.

Tabela 4 – Classificação das águas segundo a dureza ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$).

TIPO	TEOR DE CaCO_3 (mgL^{-1})
Mole	0 – 100
Intermediária	100 – 200
Dura	Acima de 200

Fonte: LOGAN, 1965.

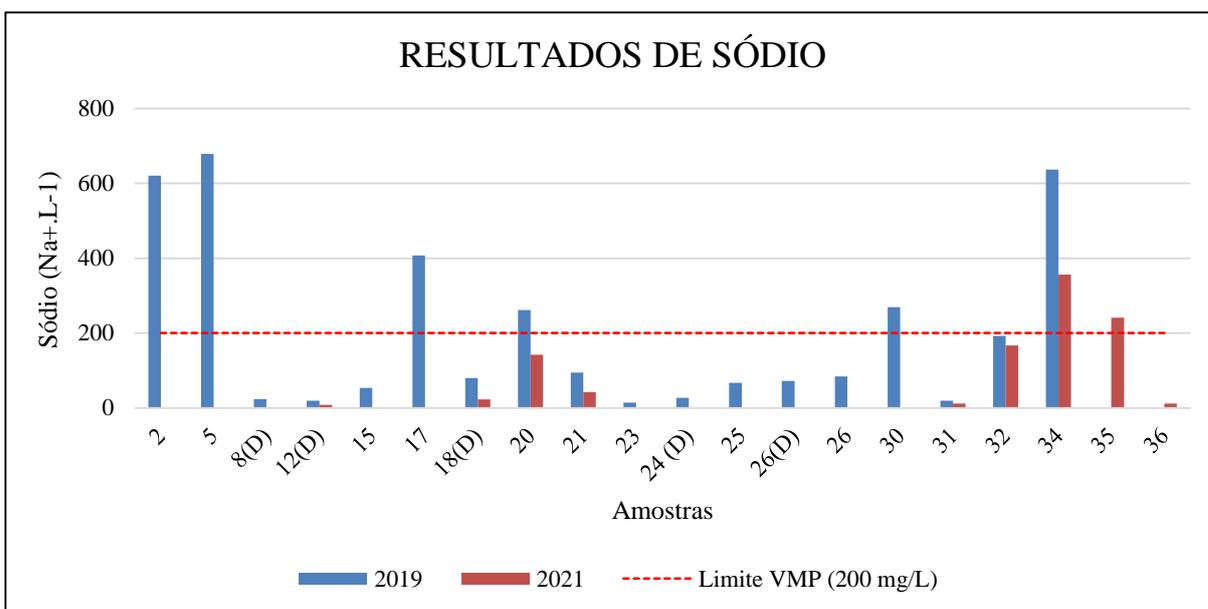
❖ *Sódio*

As concentrações de sódio estão mais presentes nas amostras coletadas em 2019 (Apêndice A). Os valores variaram de 14,60 a 678,90 mg/L, média de 261,57 ($\text{mgNa}^+.\text{L}^{-1}$), com 6 (seis) amostras fora dos padrões de potabilidade (pontos 2, 5, 17, 20, 30 e 34). Para 2021, as concentrações de sódio variaram de 11,80 a 356,3 mg/L, média de 139,09 ($\text{mgNa}^+.\text{L}^{-1}$).

Conforme o Gráfico 11, durante o mês de setembro/2019 pode-se observar que as concentrações obtidas para os íons Cl^- e Na^+ foram maiores que as concentrações obtidas durante o mês de maio/2021. Como consequência, ocorreu aumento dos valores da condutividade elétrica e da salinidade da água e isso pode ser explicado devido ao efeito da evaporação, pois quando a água evapora de um corpo d'água, a concentração de sais pode aumentar.

Em regiões que apresentam alta pluviosidade, a recarga dos aquíferos é constante o que permite renovação da água subterrânea e assim, diluição dos sais dissolvidos presentes. Porém, em regiões cujo índice de pluviosidade é baixo, caso do Nordeste por conta do clima semiárido, ocorre a salinização na superfície do solo através da evaporação da água que sobe por capilaridade e concentra os íons na água subterrânea. Em decorrência do baixo índice pluviométrico, os sais mais solúveis podem ainda ser carregados para as camadas mais profundas do solo aumentando ainda mais a salinidade (GHEYI *et al.*, 2016).

Gráfico 11 – Resultados do teor de sódio presentes nas águas (2019 e 2021).



❖ Sulfatos

A concentração dos íons sulfatos ($\text{mgSO}_4^{2-}\text{L}^{-1}$) variaram de LQ a 56,40 em 2019, com média de 16,01. Para as amostras coletadas em 2021 variaram de LQ a 134,40, com média de 51,89 (Apêndice A), o VMP para esse parâmetro é $\leq 250,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Portanto, em ambos os anos as amostras atendem aos limites estabelecidos pela Portaria.

As águas subterrâneas com excesso de sulfato ($> 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) podem causar efeitos laxativos e, na presença de íons de magnésio (Mg^{2+}) e sódio (Na^+) podem provocar distúrbios gastrointestinais. O sulfato também é caracterizado por aumentar a salinidade dos solos e predomina nas águas muito ácidas, com $\text{pH} < 2$, devido à dissociação incompleta do ácido sulfúrico (SANTOS, 2008).

❖ Nitratos (NO_3^-) e nitritos (NO_2^-)

Entre as principais fontes de poluição das águas usadas para consumo humano destacam-se os resíduos orgânicos de origem humana e animal contendo nitrogênio, que as deterioram fortemente, tanto em superfície quanto em subsolo, criando sérios problemas de saúde.

Os fertilizantes nitrogenados, com NH_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HP}_2\text{O}_5$ e $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, têm papel proeminente. No solo, o íon amônia (NH_4^-) é retido por adsorção por minerais

silicáticos, enquanto o íon nitrato (NO_3^-) torna-se inteiramente solúvel na água intersticial e abundantemente disponível para plantas e culturas (CORTECCI, 2006).

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, o nitrato é uma das formas do nitrogênio encontrado no meio aquático, composto químico final de oxidação de materiais orgânicos (ESTEVEZ, 1998). Segundo Santos (2008), em termos geoquímicos, esse íon não é proveniente de processos geológicos, e o aumento da concentração desse elemento na água é devido, principalmente, às atividades antrópicas (poluição).

O nitrato pode atingir tanto as águas superficiais quanto as águas subterrâneas como consequência da produção da atividade agrícola, incluindo o excesso de aplicação de fertilizantes nitrogenados inorgânicos e adubos (FUNASA, 2017).

O padrão de potabilidade para o nitrito é de no máximo $1,0 \text{ mgL}^{-1}$ e os teores encontrados em todas as amostras ($< \text{LD}$ a $0,16 \text{ mgL}^{-1}$) apresentaram-se de acordo com o padrão recomendado. A Portaria nº 888/21 do Ministério da Saúde estabeleceu nova regra estabelecendo que a soma das razões das concentrações de nitrito e nitrato e seus respectivos VMPs, 10 mg/L e 1 mg/L , respectivamente, não deve exceder 1, expresso pela Equação 1.

$$\frac{[N-\text{NO}_3]}{(\text{VMPN}-\text{NO}_3)} + \frac{[N-\text{NO}_2]}{(\text{VMPN}-\text{NO}_2)} \leq 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Na Tabela 5 estão expressos os valores para nitrato e nitrito com os valores dos resultados das análises para 2019, 2021 e os calculados conforme estabelecido pela Portaria do MS. Para as amostras coletadas em 2019, as concentrações de nitratos ($\text{N-NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$) variaram de $< \text{LQ}$ a 12,80, média de 3,4. Estas ficaram fora dos VMP's individuais das amostras 15 e 17. Para a nova regra da Portaria nº 888/21 do MS, a amostra 2 não atende ao VMP estabelecido. O nitrito atende aos limites da Portaria, tanto nos valores individuais como na nova regra. Para 2021 os resultados das análises para nitratos e nitritos mostraram que ambos atenderam aos limites da Portaria para os valores individuais os nitritos em ambos os períodos se encontram dentro dos VMP's estabelecidos pela legislação.

Tabela 5 – Resultados de nitrato e nitrito com a Portaria nº 888/201 MS.

PERÍODO	RESULTADOS DAS AMOSTRAS NITRATO E NITRITO																					
	2	5	8 (D)	12 (D)	15	17	18 (D)	20	21	23	24 (D)	25	26 (D)	26	30	31	32	34	35	36	LQ	
NA/2019	9,9	LQ	LQ	0,4	12,8	11,1	0,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	0,5	0,5	7,9	1,5	6,7	7,4	-	-	0,3	
NA/2021	-	-	LQ	LQ	-	-	0,3	LQ	LQ	-	-	-	-	-	-	-	7,2	9	0,5	2,6	0,3	
NI/2019	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	0,05	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	-	-	0,02
NI/2021	-	-	LQ	LQ	-	-	0,1	-	LQ	-	-	-	-	-	-	-	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	0,02
19-MS 888/21	1,01	0,05	0,05	0,06	1,3	1,13	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,81	0,17	0,69	0,76	-	-	-	
20-MS 888/21	-	-	0,05	0,05	-	-	0,05	0,13	0,05	-	-	-	-	-	-	0,05	0,74	0,92	0,07	0,28	-	

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: D: Águas dessalinizadas; NA: Nitrato; NI: Nitrito; MS: Ministério da Saúde.

❖ *Ferro Total (mgFe.L⁻¹)*

Apesar do ferro ser considerado um micronutriente para a maioria dos seres vivos, a ingestão contínua em demasia pode gerar acúmulo de ferro nos tecidos, células e organelas, o que tem sido associado a diversos processos patológicos, tais como doenças hepáticas e cardíacas, disfunções hormonais e do sistema imunológico (MONTEIRO; CONDE; POPKIN, 2002).

De acordo com Szikszay (1993), a presença ou ausência de ferro na água subterrânea depende dos seus estados de oxidação e de condições de pH. Durante a oxidação de sulfeto de ferro através de formação de sulfato de ferro e ácido sulfúrico, as bactérias de oxidação de sulfetos (*Thiobacillus thiooxydans* e *Thiobacillus ferrooxydans*) contribuem para a solubilização do ferro.

O ferro, em grandes quantidades, confere sabor e cor desagradáveis às águas, tornando-as inadequadas ao uso doméstico e industrial. Elevados valores desse íon nas águas ocasionam diversos problemas para o abastecimento público. Podem dar cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários e, ainda, contribuir para o desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (PICANÇO; LOPES; SOUZA, 2002).

Os valores das concentrações de Ferro total (mgFe.L⁻¹) apresentaram dois valores anômalos (0,60 e 2,6 mgL⁻¹), mas ambos foram excluídos das médias. Assim, os resultados variaram de LQ a 0,1 em 2019, com média de 0,10. Para as amostras coletadas em 2021, variou de LQ a 0,10, com média de 0,1 mgL⁻¹ (Apêndice A). A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece um VMP de 0,3 mgL⁻¹ para ferro na água para consumo humano.

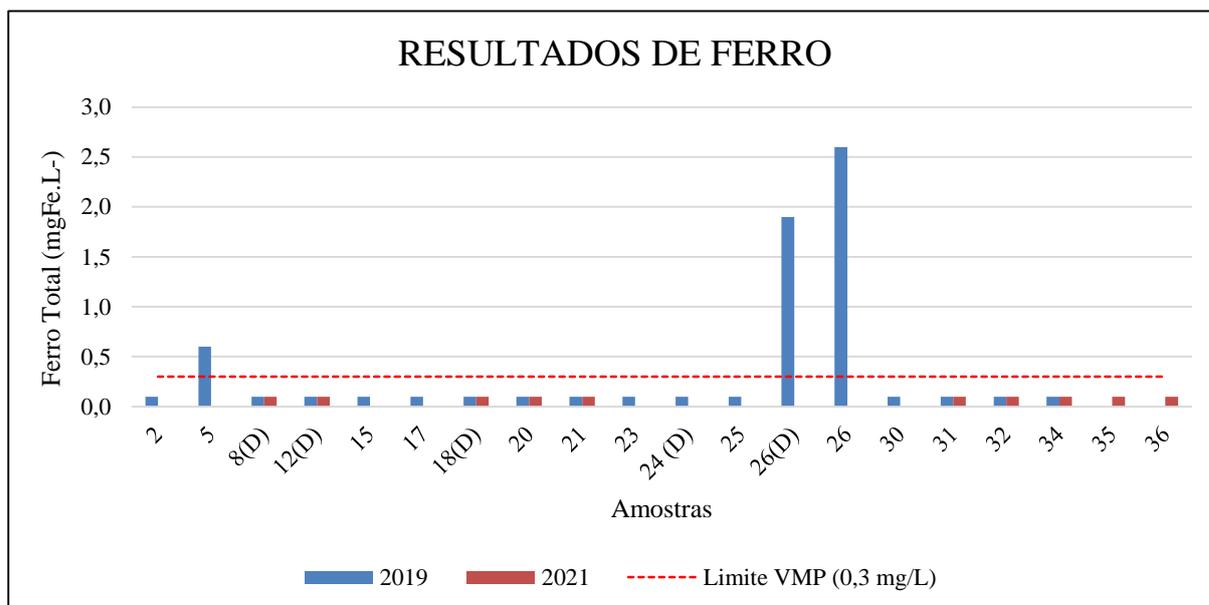
O ferro, em grandes quantidades, confere sabor e cor desagradáveis às águas, tornando-as inadequadas ao uso doméstico e industrial. Elevados valores deste íon nas águas ocasionam diversos problemas para o abastecimento público. Podem dar cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários e, ainda, contribuir para o desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (PICANÇO; LOPES; SOUZA, 2002).

De acordo com os resultados das análises (APÊNDICE A), as maiores concentrações de ferro nas águas subterrâneas ocorreram pontualmente no ponto 26, na

localidade de Ingá.

Conforme o Gráfico 12, os valores de ferro para 2019 são maiores que os de 2021. As amostras do ponto 26 e 26(D) apresentaram características físicas mais acentuadas e são mais turvas e coloração mais avermelhada. O poço, instalado há mais de vinte anos, possui dessalinizador e, no entanto, esta amostra encontra-se fora do limite estabelecido pela Portaria nº 888/202 do Ministério da Saúde. Essa concentração de ferro na água pode estar relacionada a má construção do poço, com bombeamento inadequado, como ainda, provavelmente, pela influência dos sedimentos do grupo Barreiras que apresenta teores de óxido de ferro em sua composição mineralógica.

Gráfico 12 – Teores de ferro total presentes nas águas (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora.

❖ *Turbidez (uT)*

A turbidez da água é a medida da sua capacidade em dispersar a radiação. Quantitativamente, este fenômeno pode ser expresso em termos de coeficiente de dispersão ou alguma unidade empírica, com turbidez nefelométrica (ESTEVES, 1998). É uma característica física que traduz a resistência oferecida pela água à passagem dos raios luminosos e está relacionada com a presença de materiais em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, entre outros) ou com a poluição das águas pelos esgotos e resíduos industriais (DERISIO, 2000).

A Portaria GGM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 ressalta que para água subterrânea, pós-desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT. Em 2019 as amostras 20, 26 e 26D não atenderam aos limites máximos permitidos pela referida Portaria. Em 2021, todas as amostras encontram-se dentro do limite permitido. Os valores para turbidez variaram de LQ a 37,40 em 2019, com média de 4,81. Para as amostras coletadas em 2021, variou de 0,50 a 1,40, com média de 0,74 (Tabela 3).

❖ *Cor aparente (mgPt-Co. L⁻¹)*

A cor aparente da água pode ter origem natural a partir da decomposição da matéria orgânica e/ou da presença de metais de ferro e manganês ou origem antropogênica resultado dos despejos de efluentes domésticos e/ou industriais (VON SPERLING, 2014). Porém, sabe-se que as substâncias húmicas presentes na água submetida à desinfecção com cloro, reagem com este formando trialometanos, que são compostos orgânicos potencialmente cancerígenos. A cor de origem antropogênica, na água, pode ou não ser causada por compostos tóxicos e é sempre um indicativo de poluição.

A Portaria GGM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 estabelece o valor máximo de 15 uH (Unidade Hazen) (mgPt-CoL⁻¹).

Em 2019 não foi realizada a análise desse parâmetro. Para 2021 os resultados encontraram-se dentro do valor máximo permitido (Tabela 3), variando de 1,3 a 11uH, apresentando média de 6,29 uH.

4.3.1 Classificação iônica

Para a geração dos diagramas de Piper e Stiff foi utilizado o *software* Qualigraf disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), onde os diagramas elaborados mostram a classificação das amostras segundo esse critério, apresentando graficamente as concentrações em porcentagem para cada íon analisado.

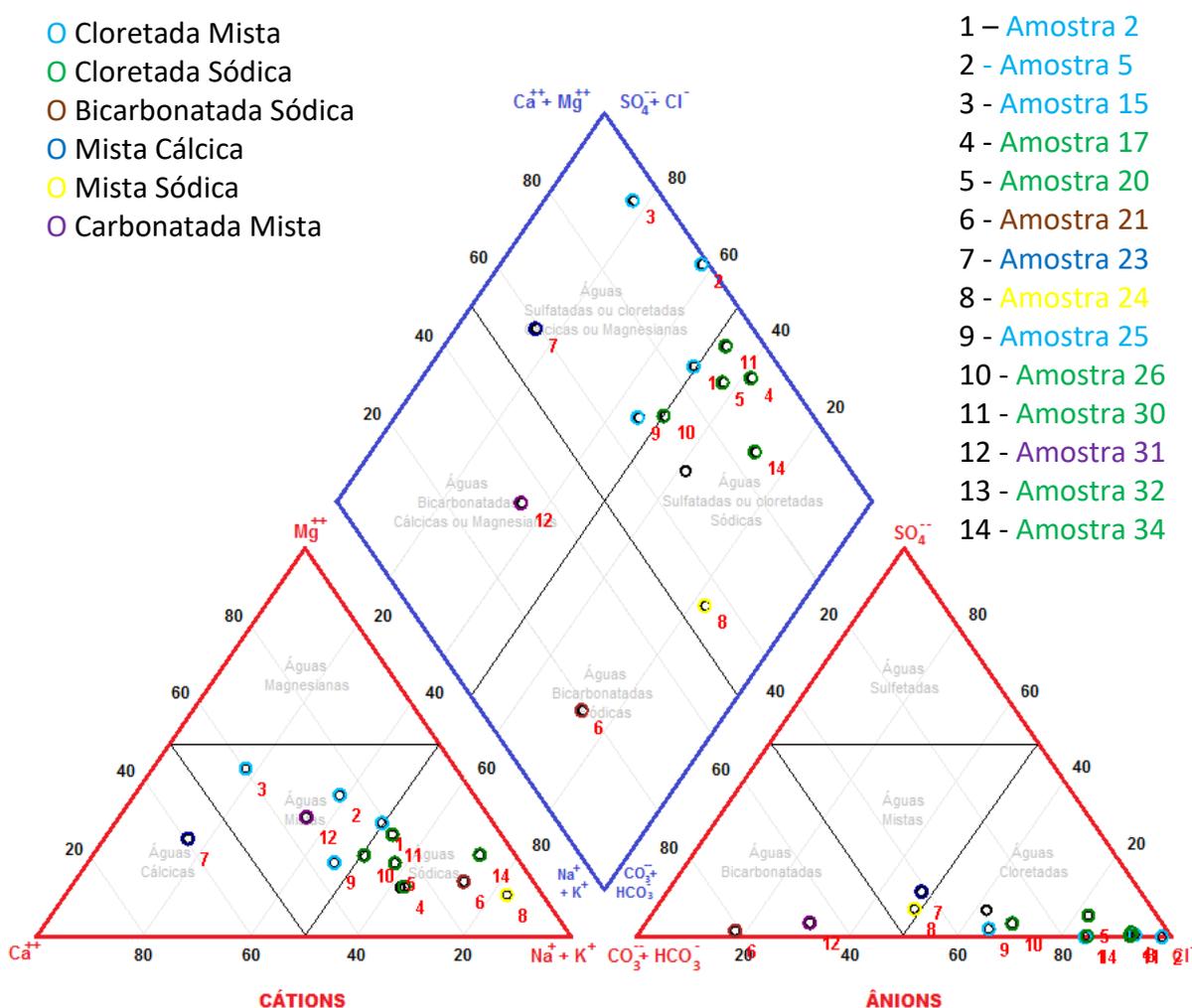
Para a classificação iônica das amostras foram excluídas as amostras provenientes de dessalinizadores. Para 2019 o estudo foi realizado para 14 amostras e para 2021 foram 05 amostras, contemplando os períodos seco e chuvoso, respectivamente.

A quantidade das amostras referente ao ano de 2021 foi inferior por conta da exclusão das amostras dessalinizadas. A água proveniente do equipamento não apresentam as mesmas características das águas naturais, podendo comprometer o resultado.

4.3.1.1 Diagrama de Piper

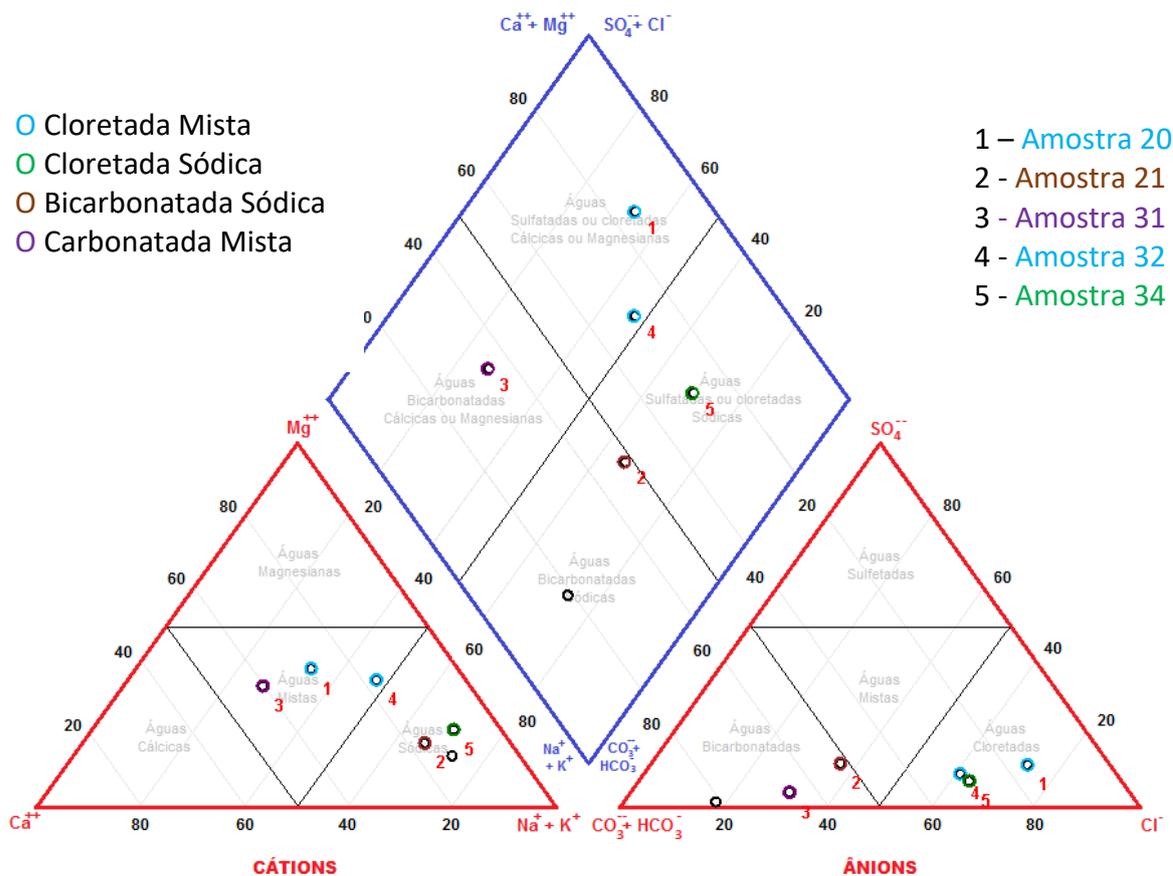
No período seco predominam as águas Cloretadas Sódicas (42,85%) seguidas de Cloretadas Mistas (28,60%); as águas Bicarbonatadas Sódicas, Mistas Cálcicas, Mistas Sódicas e Mistas Carbonatadas apresentam (7,14%) por classe. Na quadra chuvosa predominam as águas Cloretadas Mista (40%), seguidas das classes Cloretadas Sódicas, Bicarbonatadas Sódicas e Mista Carbonatadas com (20%) cada classe. As Figuras 17 e 18 mostram os diagramas de Piper (PIPER, 1944) com as amostras dos dois períodos amostrados.

Figura 17 – Classificação iônica das águas subterrâneas (2019).



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 18: Classificação iônica das águas subterrâneas (2021).



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.2 Influências antrópicas na qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano no município de Russas

Esse estudo foi publicado como artigo (*Anthropic Influences on the Quality of Underground Waters for Human Consumption in Russas, Ceará, Northeastern Brazil*) (Apêndice D), que identificou as potenciais fontes poluentes na zona urbana de Russas e avaliou os potenciais riscos para a saúde humana.

4.4 Resultados das Análises de metais pesados

Foram analisadas 21 amostras de águas em 2019 e 8 amostras em 2021. No ano de 2021, dado período da pandemia do coronavírus (COVID-19), foram escolhidos pontos de abastecimento humano, no entanto, em alguns deles não foi possível o acesso ou estavam desativados.

Em 2019, em pontos com dessalinizadores, foram coletadas duas amostras (águas

brutas e dessalinizada) para uma comparação dos resultados. Em 2021 foram coletadas águas dessalinizadas destinadas ao consumo humano, mas em alguns locais não foi possível realizar a coleta porque alguns poços estavam parados ou desativados, em outros não se tinha acesso e, dessa forma, foi usado o critério de abastecimento humano.

As 25 substâncias analisadas nas amostras incluem o alumínio (Al), arsênio (As), boro (B), bário (Ba), bismuto (Bi), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), antimônio (Sb), escândio (Sc), selênio (Se), estanho (Sn), estrôncio (Sr), vanádio (V) e zinco (Zn). As análises foram realizadas por ICP-OES, no Laboratório de Química Instrumental (LQI) do NUTEC.

Os VMPs para presença de metais na água, pelo Ministério da Saúde e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para presença de metais na água destinada ao consumo humano.

Metais	CONAMA	Ministério da Saúde
	VMP Portaria n° 396/08 (mgL ⁻¹)	VMP Portaria n° 888/21 (mgL ⁻¹)
Alumínio (Al)	0,2	0,2
Antimônio (Sb)	0,005	0,006
Arsênio (Ar)	0,001	0,01
Bário (Ba)	0,7	0,7
Bismuto (Bi)	*	*
Boro (B)	0,5	*
Cálcio (Ca)	*	*
Cádmio (Cd)	0,005	0,003
Chumbo (Pb)	0,01	*
Cobalto (Co)	*	*
Cobre (Cr)	2,0	2,0
Cromo (Cr)	0,05	0,05
Escândio (Sc)	*	*
Estanho (Sn)	*	*

Metais	CONAMA	Ministério da Saúde
	VMP Portaria nº 396/08 (mgL ⁻¹)	VMP Portaria nº 888/21 (mgL ⁻¹)
Estrôncio (Sr)	*	*
Ferro (Fe)	0,3	0,3
Magnésio (Mg)	*	*
Manganês (Mn)	0,1	0,1
Molibdênio (Mo)	0,07	*
Níquel (Ni)	0,02	0,07
Potássio (K)	*	*
Selênio (Se)	0,01	0,04
Vanádio (Va)	0,05	*
Zinco (Zn)	5,0	5,0

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: * - não estabelece valores.

Conforme a Portaria GM/MS nº888/2021, o limite de quantificação (LQ) dos métodos utilizados deve ser menor ou igual ao VMP para cada parâmetro analisado. Na Resolução nº 396/2008 do CONAMA, o Limite de Detecção do Método (LDM) é considerado como a menor concentração de uma substância que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, pelo método utilizado.

Os metais pesados analisados nesta pesquisa foram avaliados com base no Anexo 9 da Portaria de Consolidação nº 888/GM/MS, de 04 de maio de 2021, que estabelece os VMPs na tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde humana. Embora o CONAMA, na Resolução nº 386, de 3 de abril de 2008, estabeleça limites máximos para a presença de metais pesados em águas subterrâneas, serão considerados os VMP's da Portaria de Consolidação GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (MS), haja vista que elas se destinam ao consumo humano.

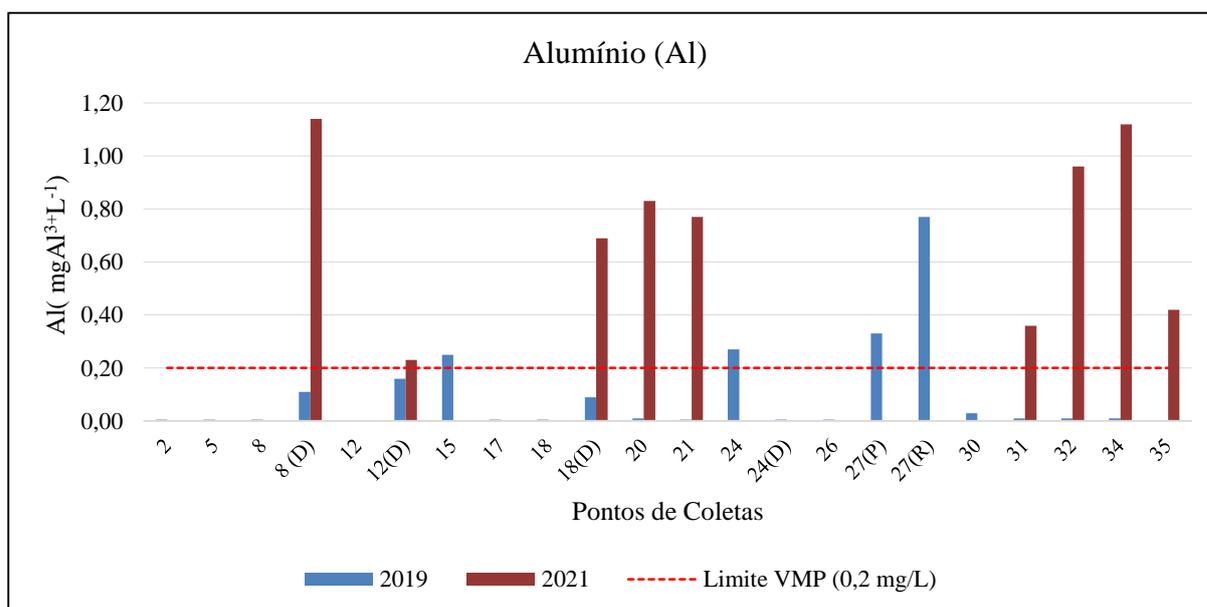
O APÊNDICE A mostra os resultados obtidos para os metais analisados nas amostras de águas coletadas no município de Russas nos meses de setembro/2019 e maio/2021, correspondentes aos períodos seco e chuvoso, respectivamente. De modo geral, identificou-se nas amostras de água subterrânea do município a presença de cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr), os quais estão presentes na composição de alguns agrotóxicos, que será abordado

posteriormente. Os resultados mostram, ainda, que as águas se encontram impróprias para o consumo humano, conforme estabelecido pelas legislações em vigor.

4.4.1 Alumínio (Al^{3+})

As concentrações de alumínio no período seco variaram entre 0,1 e 0,77 mg $Al^{3+}L^{-1}$, com 9 amostras que tiveram teores abaixo do LD. Além disso, apresenta uma média de 0,17 mg $Al^{3+}L^{-1}$. No período chuvoso, os valores apresentaram-se entre 0,23 e 1,14 mg $Al^{3+}L^{-1}$, com média de 0,72 mg $Al^{3+}L^{-1}$. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução nº 396/2008 do CONAMA estabelecem o VMP = 0,2 mg $Al^{3+}L^{-1}$. A concentração média para o período chuvoso foi maior que os valores estabelecidos pelas duas legislações citadas, conforme pode ser visualizado no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Concentrações médias do Alumínio (Al) 2019 -2021.



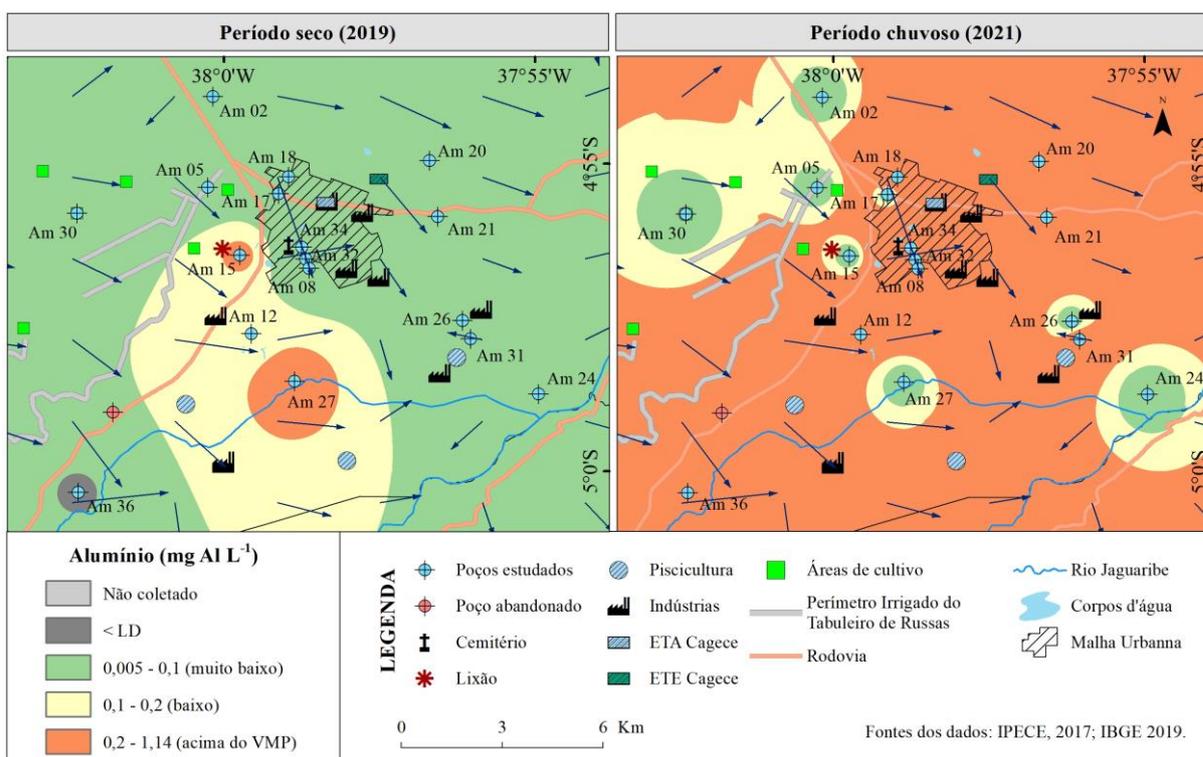
Fonte: Elaborado pela autora.

Em uma primeira análise, foi observado que em 2019 as amostras 15, 24, 27 (P), 27(R) encontraram-se fora dos limites estabelecidos pelas legislações vigentes. Em 2021 todas as amostras estavam acima do VMP estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde.

Observa-se, na Figura 19, que nas amostras localizadas no centro urbano de Russas, possuem os valores mais expressivos, e isso se deve, possivelmente, a contribuição do fluxo subterrâneo da área, dada a carga de lixiviados no período chuvoso.

No período seco, a maior concentração de alumínio foi de $0,77 \text{ mgAl}^{3+}\text{L}^{-1}$ obtida na amostra 27(R), água natural, e no período chuvoso a maior concentração foi de $1,14 \text{ mgAl}^{3+}\text{L}^{-1}$ obtida na amostra 8D, coletada do dessalinizador. Esse valor de Al pode ser justificado porque durante a fase de operação o equipamento (Figura 20, A) poderá sofrer corrosão, havendo liberação de metais pesados na descarga do concentrado (GAIO, 2016).

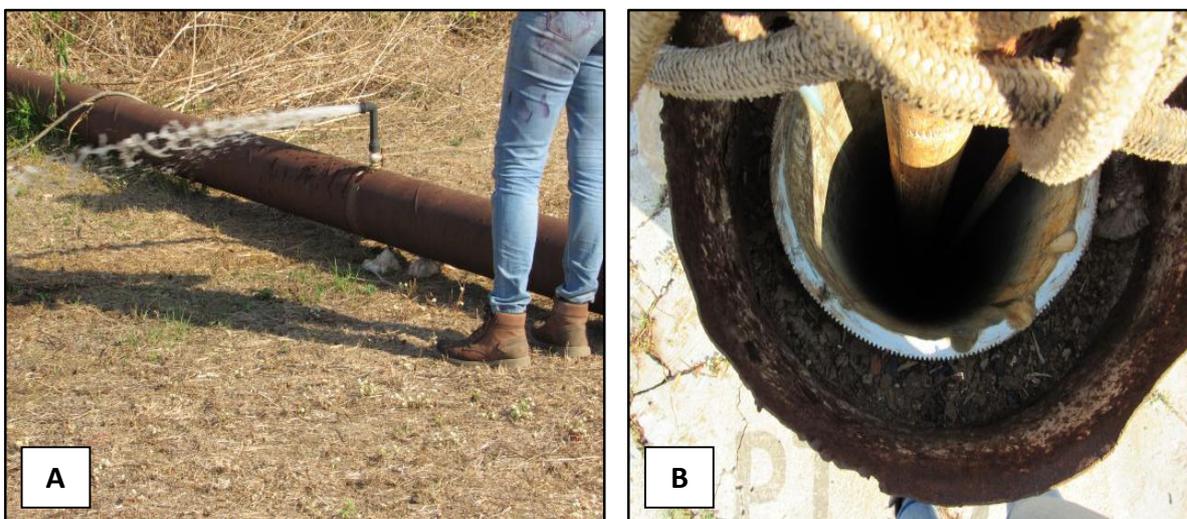
Figura 19 – Distribuição espacial do teor de alumínio nas amostras estudadas.



Fonte: Elaborada pela autora.

A amostra 27(P) se refere a um poço da CAGECE, localidade de Pedro Ribeiro, e esse resultado pode ser explicado em função da localização do ponto. O mesmo encontra-se em área dos aluviões, com maior permeabilidade e contribuição do fluxo subterrâneo, no qual pode estar recebendo material lixiviado de outros locais ou da rede de esgoto, onde o alumínio é usado no tratamento da água de distribuição, ou ainda, por contaminação da própria estrutura do poço, fragmentos de metais podem cair dentro do poço (Figura 20, B).

Figura 20 – A: Registro do ponto de coleta 27(R); B: Registro do ponto de coleta 27(P).



Fonte: Elaborada pela autora.

A falta das tampas dos poços e a grande quantidade de lixo nos terrenos favorece a contaminação das águas por substâncias orgânicas e, conseqüentemente, a contaminação microbiológica na decomposição da matéria orgânica e no sedimento dos poços, incluindo as argilas, inferindo a liberação de alumínio na sua forma mais perigosa à saúde humana (BAZANTE-YAMAGUISSHI, 2013).

O alumínio é liberado para o ambiente principalmente por processos naturais; porém, vários fatores influenciam sua mobilidade e subsequente transporte no ambiente. O metal entra na atmosfera como material particulado oriundo de erosão natural do solo, mineração ou atividade agrícola, gases vulcânicos e combustão de carvão. O alumínio pode ocorrer na água em diferentes formas e sua concentração depende de fatores físicos, químicos e geológicos. As concentrações do alumínio dissolvido em águas com pH próximo a neutro geralmente estão entre $0,001$ e $0,05\text{mgL}^{-1}$, mas aumentam para $0,5 - 1,0\text{mgL}^{-1}$ em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica, podendo chegar a valores acima de $90,0\text{mgL}^{-1}$ em águas extremamente acidificadas afetadas por drenagem ácida de mineração (CETESB, 2017).

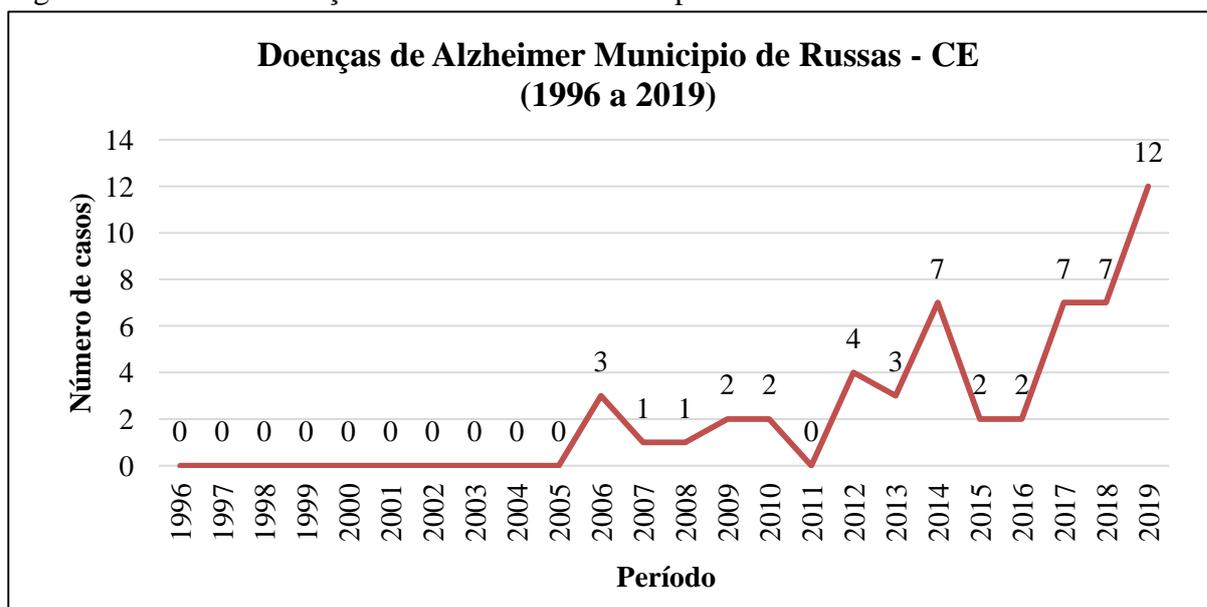
O alumínio afeta a qualidade da água e valores acima de $0,2 \mu\text{gL}^{-1}$ podem causar processos neurodegenerativos. Estudos epidemiológicos sugerem possível associação entre o mal de Alzheimer e alumínio na água como um fator de risco para o desenvolvimento ou aceleração da doença, entretanto outros estudos não confirmam esta associação. Pesquisadores acreditam que a doença resulta mais da combinação de diferentes fatores do que de uma causa só para a maioria dos indivíduos (CETESB, 2017; BRAGANÇA; MELNIKOV; ZANONI,

2011).

Segundo Cordecci (2006), ainda com referência à saúde humana, a ingestão de hidróxido de alumínio por via oral, como antiácido, pode diminuir significativamente a assimilação de fosfato e de flúor, causando hipofosfatemia e desmineralização de ossos. Tem sido considerado que a doença de Alzheimer seja correlacionável ao acúmulo de alumínio em regiões críticas do cérebro e com a formação de ligações alumínio-DNA.

Mendes *et al* (2022) observaram um aumento progressivo nos casos da doença de Alzheimer no município de Russas (Figura 21), provavelmente pela presença de alumínio nas águas. Os resultados encontrados são preocupantes uma vez que a ingestão do alumínio em níveis elevados, além de impactar a qualidade da água destinada ao abastecimento público, pode ser prejudicial podendo causar riscos à saúde da população do município. Os resultados observados se devem, provavelmente, à presença desse metal na água.

Figura 21: casos da doença de Alzheimer no município de Russas – CE.



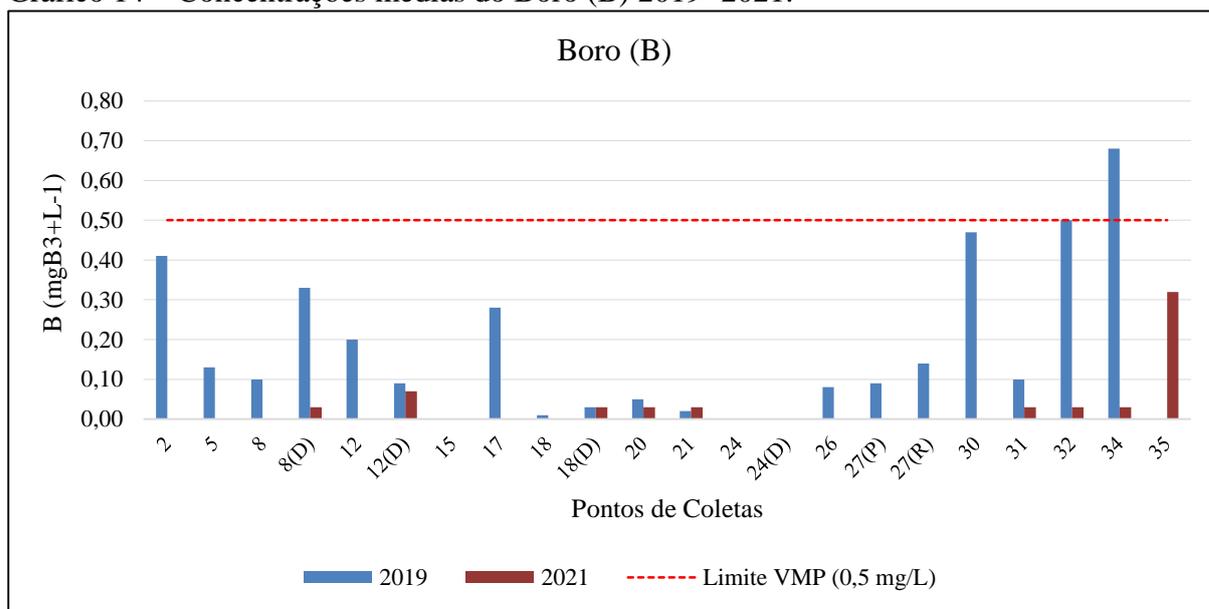
Fonte: DATASUS (com adaptações, 2022).

4.4.2 Boro (B)

As concentrações de boro variaram entre 0,001 e 0,68 $\text{mgB}^{3+}\text{L}^{-1}$ com média de 0,18 $\text{mgB}^{3+}\text{L}^{-1}$ durante o período seco. No período chuvoso, apenas duas amostras apresentaram valores detectáveis, as amostras 12 e 36 (0,07 e 0,32 $\text{mgB}^{3+}\text{L}^{-1}$, respectivamente) e média de 0,20 $\text{mgB}^{3+}\text{L}^{-1}$ (Gráfico 14). A Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelece limite para o boro,

porém a Resolução nº 396/2008 do CONAMA estabelece um VMP de $0,5 \text{ mgB}^{3+}\text{L}^{-1}$, portando, em relação a concentração média dos dois períodos foi menor que ao máximo estabelecido pela Resolução nº 396/2008 do CONAMA.

Gráfico 14 – Concentrações médias do Boro (B) 2019 -2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em 2019, a maior concentração de boro foi de $0,68 \text{ mgBL}^{-1}$ obtida na amostra 34, pode estar associada às fontes antrópicas como cultivos agrícolas, que usam substâncias de agrotóxicos, e o cemitério da Cidade (Figura 22), cujo teor está fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008. Porém, em 2021 a amostra coletada no mesmo ponto teve concentração abaixo do limite de detecção ($< \text{LD}$).

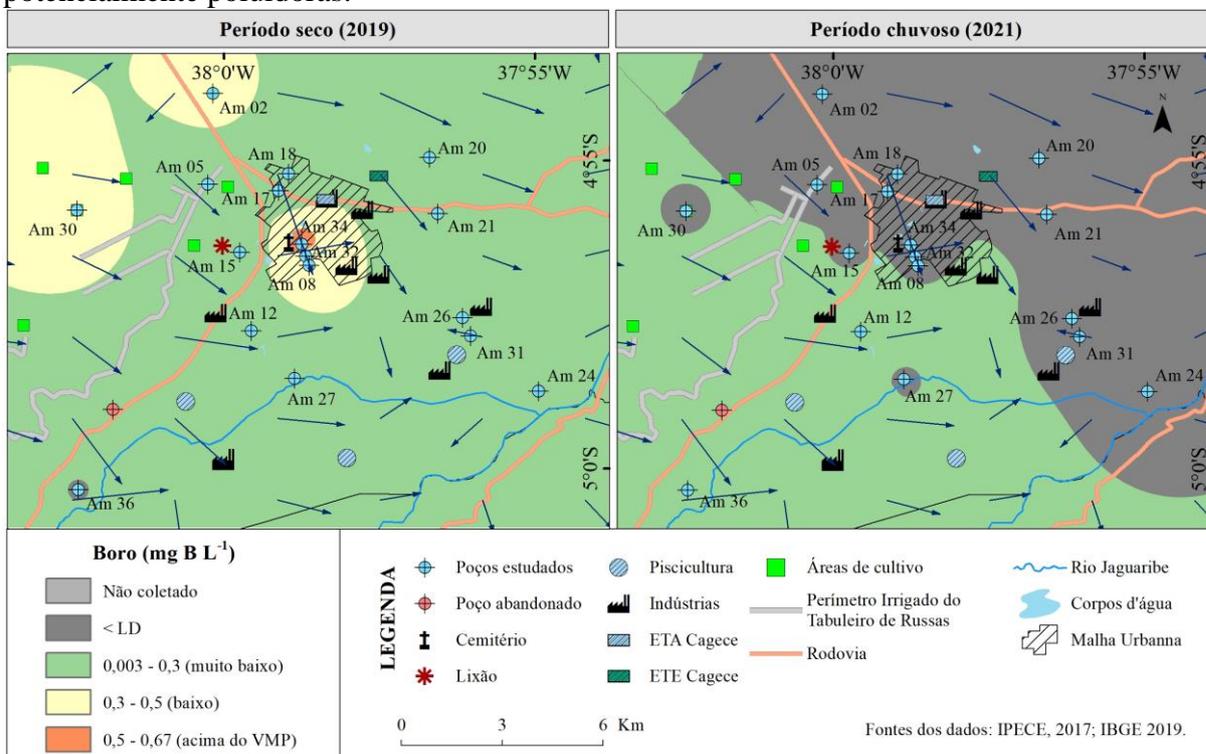
Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, importantes componentes de solos altamente intemperizados de países tropicais, adsorvem grandes quantidades de boro. Esse elemento é citado, entre os micronutrientes, como o de maior mobilidade e mais facilmente lixiviável, embora seja o mais sorvido pelo solo (JORGE, 2009). O boro possui forte afinidade, principalmente às frações argila e à matéria orgânica do solo, e está presente na composição de vários minerais associados a silicatos e a hidróxidos, em que os processos de adsorção e dessorção possuem papel determinante na sua solubilidade no solo e, conseqüentemente, na disponibilidade às plantas (PINTO, 2010).

A alta concentração deste elemento nos solos ocorre por influência antrópica, haja vista que o descarte de resíduos industriais que o empregam na manufatura tem aumentado. Ele

é constituinte básico de vidros, esmaltes, cerâmicas, ligas metálicas e detergentes que na decomposição podem reagir com o solo. Devido ao elevado potencial de entrada de boro na cadeia alimentar humana, em concentrações que podem causar sérios riscos à saúde, tornou-se importante conhecer seu comportamento químico no solo, sob o ponto de vista agrônômico e ambiental (SOARES; ALLEONI; CASAGRANDE, 2005).

Conforme Pohling (2009), a forma mais comum de ocorrência em água é como ácido bórico [H_3BO_3 ou $\text{B}(\text{OH})_3$] não ionizado. Em elevado pH ($\geq 10,0$), a maioria do boro está presente como $\text{B}(\text{OH})_4^-$. O mineral mais importante é o tetraborato de sódio (Borax- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Em águas subterrâneas influenciadas pela atividade humana, a exemplo da água embaixo de aterros sanitários, o teor de ácido bórico aumenta significativamente. Por esta razão, o boro pode ser um elemento indicador de influência humana, tendo em vista que o ácido bórico quase não está dissociado; em função disso, não há reação ou absorção entre o solo e o ácido bórico, enquanto outros elementos tendem a reagir ou serem adsorvidos.

Figura 22 – Distribuição espacial do teor de boro nas amostras estudadas e fontes potencialmente poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.3 Bário (Ba^{2+})

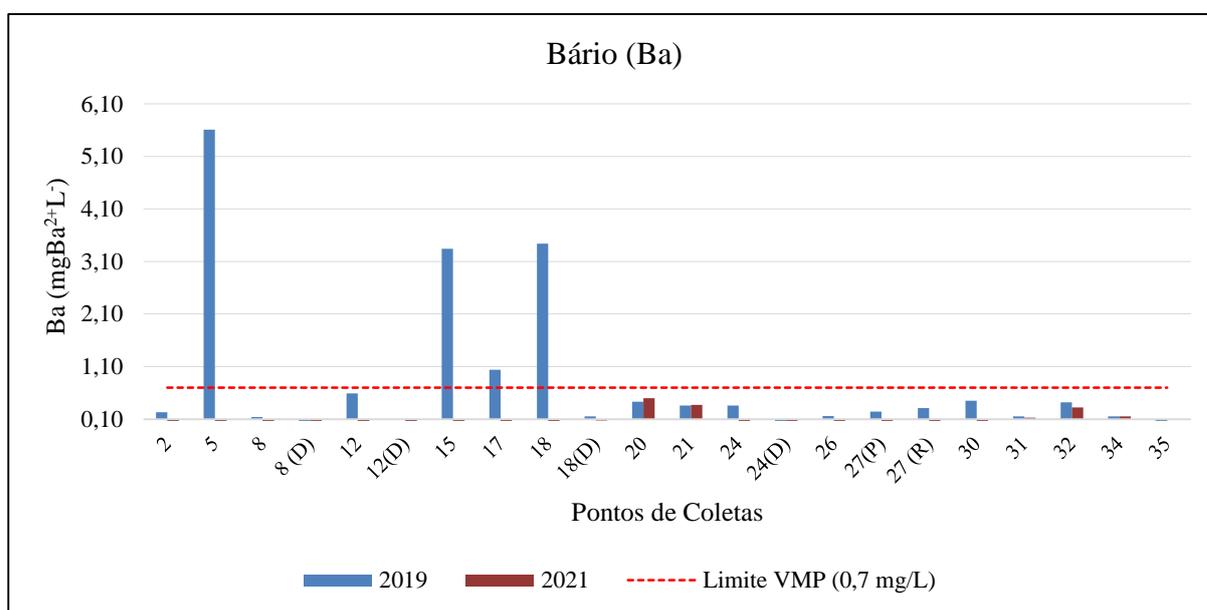
As concentrações de bário apresentadas no gráfico 15 variaram entre 0,0005 e 5,61 $mgBa^{2+}L^{-1}$, com média de 0,65 $mgBa^{2+}L^{-1}$ no período seco e oscilando de 0,0005 a 0,37 $mgBa^{2+}L^{-1}$, com média de 0,19 $mgBa^{2+}L^{-1}$ no período chuvoso. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução nº 396/2008 do Conama estabelecem o VMP de 0,7 $mgBa^{2+}L^{-1}$.

As amostras 5, 15, 17 e 18, para 2019, se encontravam em desacordo com os limites estabelecidos pelas legislações, nesse ano a maior concentração de bário foi obtida no ponto de coleta correspondente a amostra 5 (5,61 $mgBa^{2+}L^{-1}$). No período chuvoso, 2021, a maior concentração foi a amostra 20 (0,50 $mgBa^{2+}L^{-1}$). Não houve coleta no ponto correspondente a amostra 5 no período chuvoso, tendo em vista que água é usada apenas para irrigação. No ponto de amostragem 5, a presença de bário pode ter influência pelo uso de agrotóxicos, tendo em vista se encontra no PITR (Figura 23).

O bário ocorre naturalmente na maioria das águas superficiais e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas. Outras ocorrências estão relacionadas à contribuição antrópica, como infiltração de efluentes líquidos nos aquíferos (CETESB, 2017).

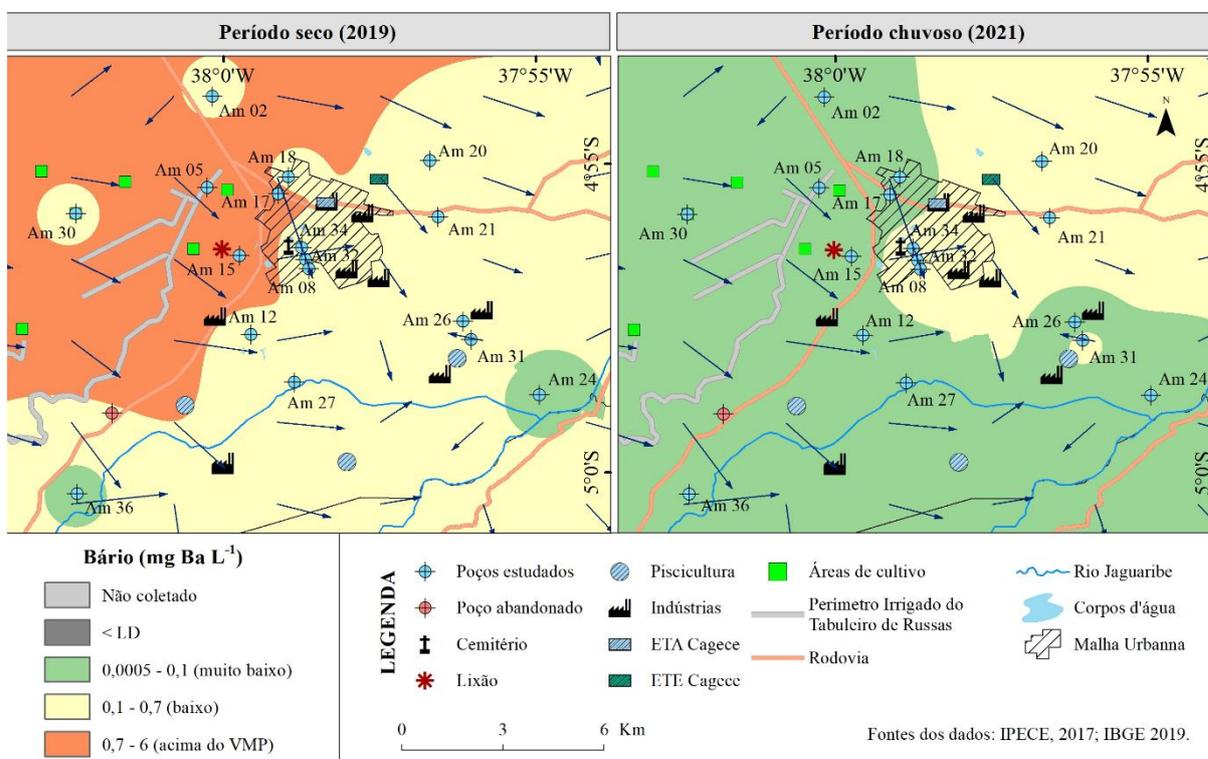
O ponto 17 está localizado no prédio da Perícia Forense de Russas, e a água é usada para uso múltiplo da Instituição (lavagem e limpeza dos corpos e banhos dos médicos). Existe uma pequena estação de tratamento próximo ao poço, no qual os efluentes passam por um pré-tratamento antes de serem lançados na rede de esgoto (Figura 24). O valor detectado na amostra foi de (1,04 $mgBa^{2+}L^{-1}$), a portaria GM/MS Nº 888/21 estabelece valor máximo de (0,7 $mgBa^{2+}L^{-1}$).

Gráfico 15 – Concentrações médias do Bário (Ba) 2019-2021.



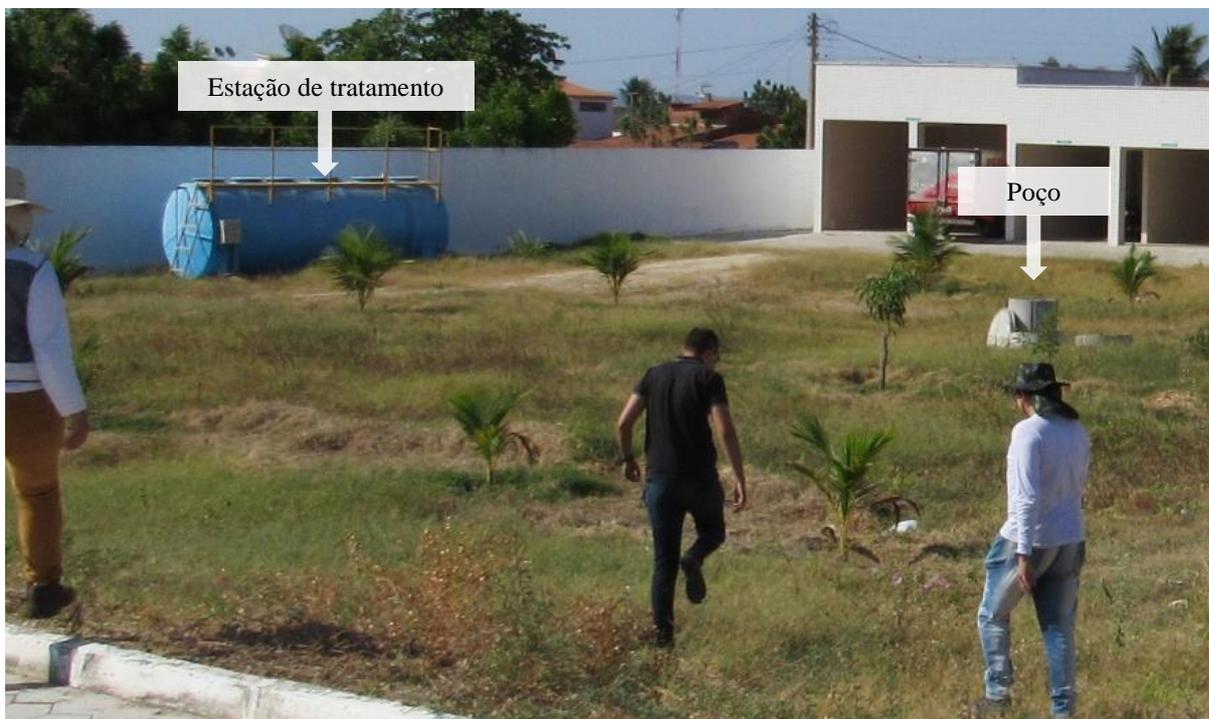
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 – Distribuição espacial do teor de bário nas amostras estudadas e fontes potencialmente poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 24 – Estação de tratamento ponto 17, próxima ao poço visitado.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os pontos 15 sofre influência de ações antrópicas. O mesmo encontra-se a jusante do lixão, fonte de potencial de contaminação.

O bário ocorre na natureza somente na forma combinada e os principais minerais são a barita (sulfato de bário) e a witherita (carbonato de bário). Também é encontrado em quantidades-traço em rochas ígneas e sedimentares. A barita é a principal fonte de obtenção de bário metálico que, juntamente com seus compostos, são usados na fabricação de diversos produtos industriais como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão e borracha. O sulfato de bário é usado na clínica médica como contraste em radiografias (CETESB, 2017).

A principal fonte de bário no ar atmosférico é a emissão industrial, particularmente combustão de carvão e óleo diesel e incineração de resíduos. A concentração do metal no ar geralmente é inferior a $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com relato de valores entre $0,00015$ e $0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2017). A queima de combustíveis fósseis também pode liberar o metal. O tempo de permanência das partículas no ar depende do tamanho, mas invariavelmente estas acabam se depositando no solo.

O município de Russas é considerado um importante polo cerâmico do estado, sendo a principal fonte de renda para a grande maioria da população, no entanto essa atividade

apresenta um significativo passivo ambiental, considerando que a indústria utiliza a queima da lenha para obtenção de energia, produzindo gases e particulados (fuligem) provenientes da queima do combustível nos fornos e da poeira presente no material argiloso no momento do transporte da área de lavra até a unidade de beneficiamento. A Figura 25 mostra a fumaça escura saindo da chaminé, sendo esse cenário visto diariamente no município.

Em relação à exposição humana e efeitos à saúde, o bário não é um elemento essencial ao ser humano, sua toxicidade é produzida pelo cátion livre e os compostos muito solúveis são mais tóxicos que os insolúveis, como o sulfato de bário. A principal via de exposição da população é a ingestão de água e alimentos. A ingestão de pequenas quantidades de bário em curtos períodos pode provocar vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. A ingestão de altas quantidades de compostos de bário solúveis em água ou no conteúdo estomacal pode causar alterações no ritmo cardíaco e paralisia, e levar ao óbito na ausência de tratamento (CETESB, 2017).

Figura 25 – Chaminés das indústrias de cerâmicas no município de Russas -Ceará.



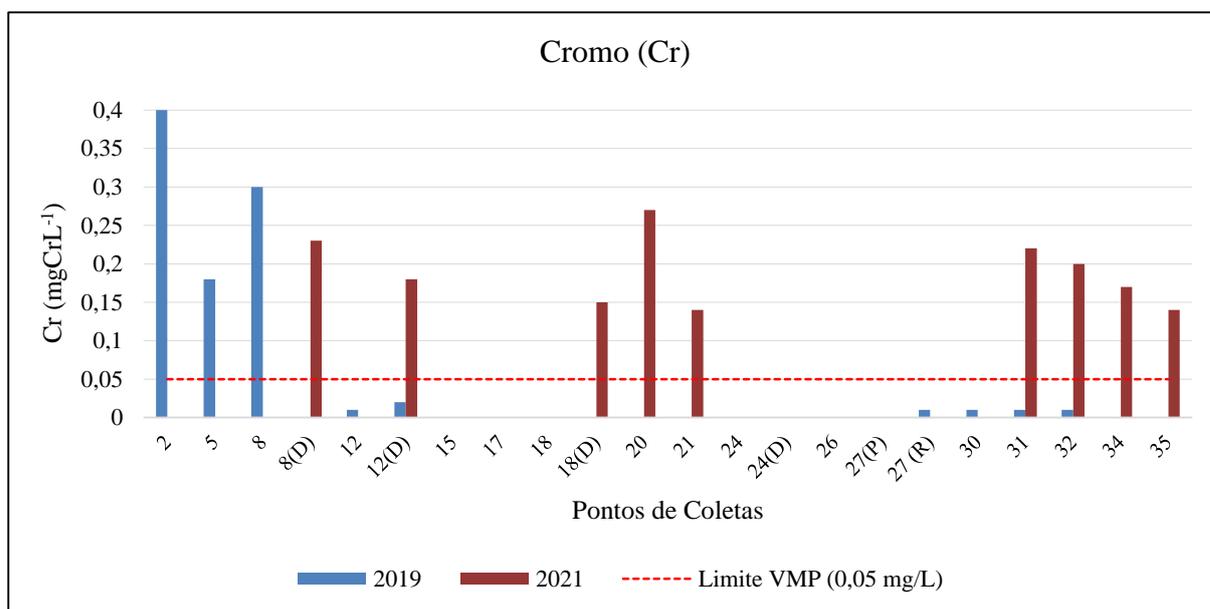
Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.4 Cromo total (Cr)

As concentrações de cromo total no período seco variaram entre 0,0005 e 0,40 mgCrL⁻¹, com 07 amostras com teor abaixo do LD e média de 0,07 mgCrL⁻¹. No período chuvoso, os valores oscilaram de 0,14 a 0,27 mgCrL⁻¹, com média de 0,19 mgCrL⁻¹ (Gráfico 16). A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução Conama nº 396/2008 estabelecem VMP para este elemento nas águas para consumo humano de 0,05 mgCrL⁻¹. A concentração média obtida para o período chuvoso foi maior que os valores estabelecidos pelas duas legislações citadas.

No ano de 2019, período seco, a maior concentração de cromo foi de 0,40 mgL⁻¹, na amostra 2, localizada no PITR. No ponto 8 foram coletadas duas (02) amostras: uma (01) natural e outra do dessalinizador com valores de 0,30 mgL⁻¹ e de 0,23 mgL⁻¹, respectivamente. Possivelmente a membrana do equipamento tenha contribuído para uma redução da concentração deste elemento associada ao tratamento da água realizado por dessalinização. As amostras coletadas em 2021, todas destinadas ao abastecimento humano, encontraram-se fora dos limites estabelecidos pelas duas legislações vigentes. As maiores concentrações foram observadas também nas amostras 8 (0,23 mg/L) e 20 (0,27 mg/L). A amostra referente ao ponto 8 a amostra foi coletada de um poço localizado no centro urbano da cidade, onde apresenta um fluxo subterrâneo mais acentuado, portanto, recebe muitos lixiviados, das fontes contaminantes, como o PITR, por exemplo, além da carga de efluentes da área central. A amostra 20 está localizada próxima a indústria de cerâmicas, piscicultura e carcinicultura (Figura 26), que podem estar contribuindo para a presença de cromo nas águas.

Gráfico 16 – Concentrações médias do Cromo (Cr) 2019-2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

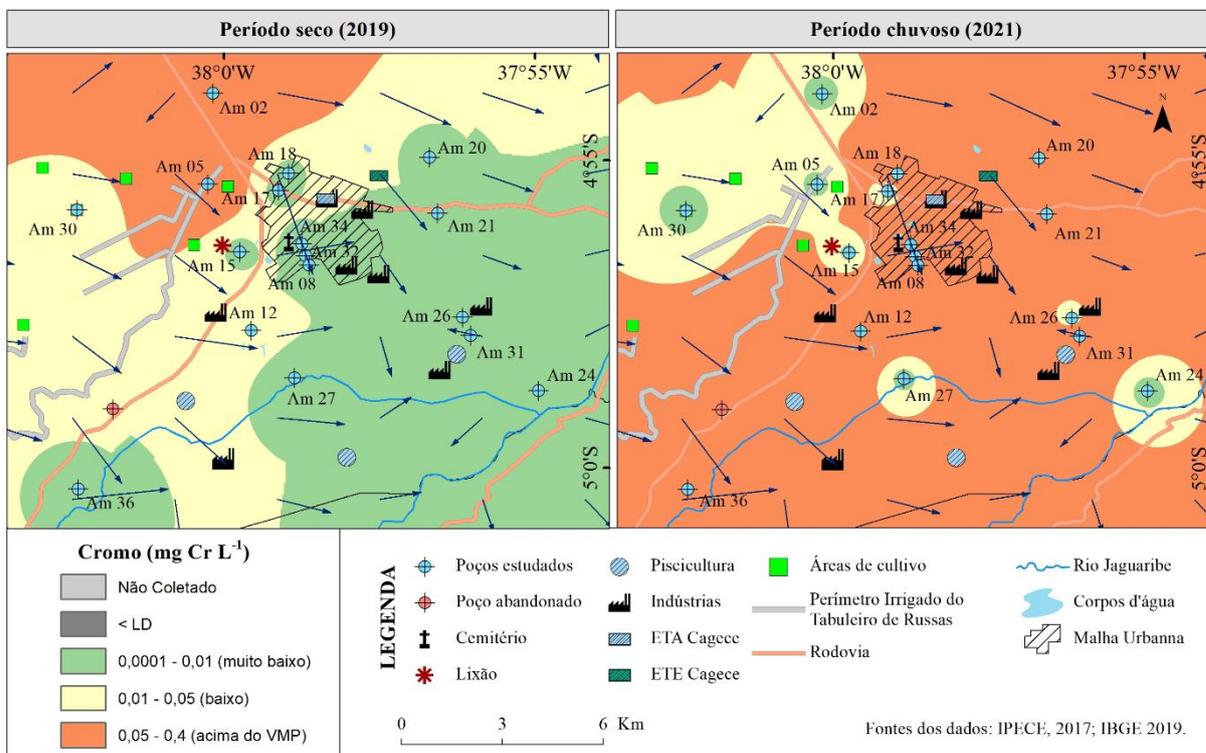
Figura 26 – Tanques de carcinicultura localizados no município de Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

O uso de agrotóxicos também contribui para a concentração de cromo na água, tendo em vista que o cromo está presente na composição de algumas substâncias. A Figura 27 ilustra os pontos de coletas e fontes de contribuições para a presença do cromo.

Figura 27 – Distribuição espacial do teor de cromo nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.4.1 Especificação do Cromo (Cr)

Os compostos de cromo são encontrados naturalmente em rochas, solos, poeiras, névoas vulcânicas, águas, animais e plantas. A cromita é o mais abundante composto de cromo encontrado na natureza, contendo de 40 a 50% de cromo. As fontes de água podem conter teores deste elemento superiores aos padrões nacionais e internacionais para água potável em regiões onde ocorrem depósitos significativos de cromo (CETESB, 2017).

A maior parte das emissões de cromo para o ambiente é de origem antropogênica, principalmente emissões industriais derivadas da produção da liga ferro-cromo, refino de minério e seu tratamento químico. Cerca de 40% do Cr está disponível na forma hexavalente (Cr⁶⁺) e a maior parte advém das atividades humanas. Ele é derivado da oxidação industrial do cromo obtido da mineração e possivelmente da queima de combustíveis fósseis, madeira e papel. A indústria de cerâmica de Russas usa lenha na fabricação. O Cr⁶⁺ é relativamente estável no ar, mas é reduzido ao estado trivalente em contato com matéria orgânica do solo e água (CETESB, 2017). A concentração e a mobilidade do cromo nas águas subterrâneas estão

diretamente relacionadas com o estado de valência dominante (especiação), que é controlado pelas características químicas e físicas das águas, mas principalmente pelas condições de pH e Eh. Em ambientes de baixo Eh e de pH predominantemente ácido predominam espécies de Cr (III) como cátions Cr^{3+} , CrOH^{2+} , Cr(OH)_2^+ , Cr(OH)_3^0 e ânions Cr(OH)_4^- . Sob condições oxidantes (Eh elevado) e de pH predominantemente alcalino, as espécies de Cr (VI) predominam como ânions nas formas de HCrO_4^- e CrO_4^{2-} (MARCOLAN; BOUROTTE; BERTOLO, 2008)). As amostras de água subterrânea do município de Russas são levemente alcalinas.

Para maior investigação acerca da presença de cromo nas amostras, referente a 2021, todas destinadas ao consumo humano, foi realizada a especiação do cromo, tendo em vista que a forma hexavalente (Cr^{6+}) é classificada como cancerígeno para o ser humano (CETESB, 2017).

Nas amostras 8D e 31 não foi detectada a presença de Cr^{6+} , enquanto nas demais ele foi detectado (Tabela 7). A amostra 20 com 0,06 mg/L, a maior concentração detectada, localiza-se na Escola de Ensino Fundamental Bom Sucesso, Russas, que atende 181 crianças e provavelmente isto é devido as atividades exercidas no entorno deste local, destacando-se a criação de peixes e camarão, além das indústrias de cerâmicas.

Tabela 7 – Resultados da especiação do cromo hexavalente (Cr^{6+}).

Amostra	Localidade	[Cr (VI)] mg L⁻¹
8(D)	(UNICIN)	-
12(D)	(Pitombeira)	0,01
18	(Tabuleiros de Catavento)	-
20	(Escola Bom Sucesso)	0,06
21	(Vila Ramalho)	0,03
31	(Ingá)	-
32	(Cacimbão)	0,04
34	(Pousada Freire)	0,005
35	Sítio Paraíso	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Os óleos utilizados para a lubrificação dos equipamentos das indústrias de cerâmica podem estar contribuindo para a presença de cromo na água. Segundo Apromac (2005), eles contêm diversos elementos tóxicos, a exemplo do cromo, cádmio, chumbo e arsênio, oriundos da fórmula original e absorvidos do próprio motor ou lavagem dos equipamentos. O óleo

lubrificante usado ou contaminado, além de carregar essa carga original de perigo, recebe reforço extra em sua toxicidade porque os seus componentes, ao sofrerem degradação, geram compostos mais perigosos para a saúde e o meio ambiente, tais como dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e diversos tóxicos (cromo cádmio, chumbo e arsênio) (PIO, 2010).

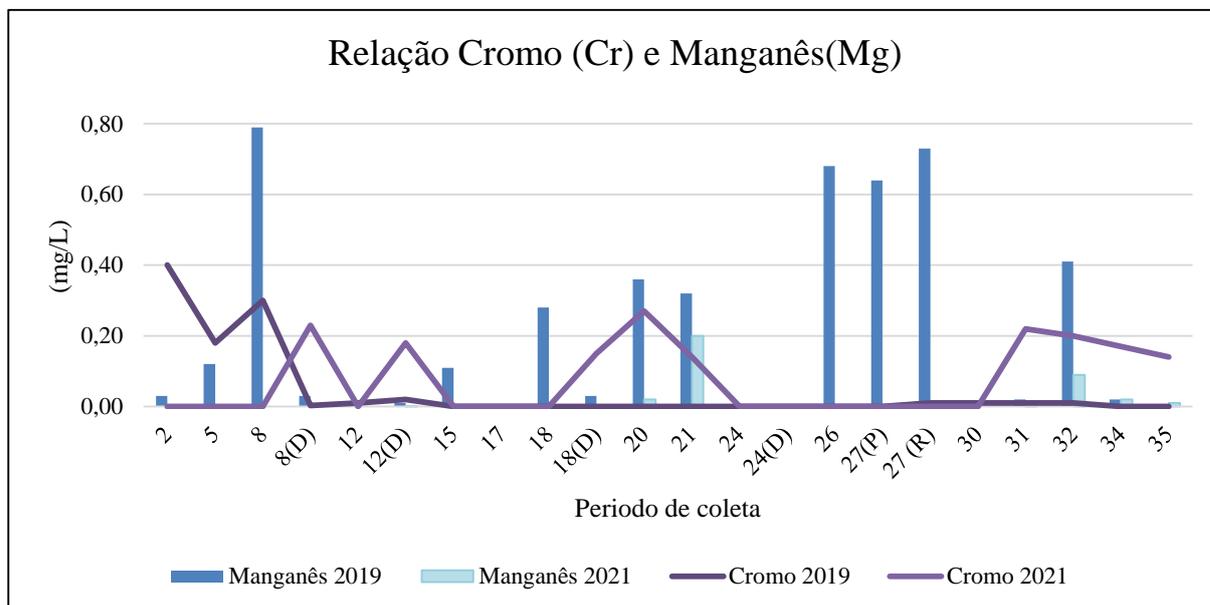
Segundo Caracas (2013), o cromo é fortemente afetado pela salinidade, e na pesquisa da autora ele apresentou correlação significativa com o cloreto, com base em experimentos cinéticos realizados por Hatje *et al.* (2003) que mostraram a influência da salinização sobre a cinética de adsorção dos metais. Segundo Hatje *et al.* (2003), no estudo da água do mar, tanto a velocidade quanto a extensão do processo de adsorção de cromo, cádmio e zinco foram menores devido à competição de íons maiores, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , ou em decorrência da formação de cloro-complexos. Isso pode ser observado nas amostras 2 e 5, cujo teor de cloreto é elevado (1.652,50 e 2.513,80 mgCl^{-1} , respectivamente) e ocorreu um aumento das concentrações de cromo nas amostras (0,40 e 0,80 mgCrL^{-1} , respectivamente), corroborando com a pesquisa dos autores.

No Gráfico 17, para 2019, a relação cromo/ manganês é mais expressiva nos pontos 2 e 5, isto nos lotes do Pitr, e 8 no centro da cidade. Para o ano de 2021, o ponto 21, área de indústria de cerâmica, e ponto 32, no centro da cidade. A presença de cromo e manganês nas amostras podem ter relação com a indústria de cerâmica, bastante presente na região, usados para dar cor à cerâmica.

O Nordeste responde por 99,71% da produção nacional de camarão de cultivo, e em 2021 foram produzidas 78,41 mil toneladas. As características climáticas da região, como temperatura elevada e curto período de chuvas, proporcionam grande produtividade de camarão, sendo um dos principais motivos que resultou no grande desenvolvimento da atividade. No Nordeste, a produção está concentrada no Ceará (43,0%) e no Rio Grande do Norte (27,02%), que totalizaram 54,90 mil toneladas em 2021, 70,0% da produção nacional muito embora, todos os estados nordestinos tenham aumentado a produção, especialmente o Ceará, Paraíba e Alagoas, com taxas de crescimentos superiores a 20,0% a.a (XIMENES; VIDAL, 2023).

A carcinicultura, além de salinizar os recursos hídricos do Baixo Jaguaribe, despeja rejeitos ao longo do rio gerando impactos ambientais significativos na natureza, especialmente através dos efluentes gerados (SOUSA, 2023).

Gráfico 17 – Relação cromo e manganês.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em atividades de carcinicultura, o lodo acumulado no fundo dos tanques é geralmente anaeróbico e rico em compostos orgânicos. O material orgânico pode absorver entre 1% e 10% do peso seco de Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Ag, V e Zn que estão presentes na ração utilizada para a alimentação dos camarões (FERNANDES *et al.*, 2011). As concentrações de Zn, Pb, Cu, Mn e Cr podem ser provenientes da acumulação da ração não aproveitada pelos camarões ou de sua excreção, pois durante o cultivo dos camarões são utilizadas várias rações, de acordo com a fase de crescimento (Quadro 11).

Quadro 11 – Tipos de rações de camarão e sua composição

Tipos de ração para camarão	
Ração 1	Contêm em sua composição: traços de óxido de manganês; óxido de cobre; carbonato de cobalto; óxido de zinco; carbonato de cálcio e selenito de sódio, entre outros componentes.
Ração 2	Contêm em sua composição: cobalto (100,00 mg/Kg), cobre (100,00 mg/Kg); zinco (85,00 mg/Kg); selênio (0,20 mg/Kg) e iodo (4,60 mg/Kg), entre outros componentes vitamínicos e proteicos.
Ração 3	Tem em sua composição: magnésio (300,00 mg/Kg); manganês (50,00 mg/Kg); cobre (45,00 mg/Kg); zinco (100,00 mg/Kg); iodo (1,8 mg/Kg); selênio (0,500 mg/Kg) e vitaminas.
Ração 4	Os componentes são: cobre (50,00 mg/Kg); cobalto (0,30 mg/Kg); ferro (20,00 mg/Kg); iodo (1,30 mg/Kg); manganês (40,00 mg/Kg); selênio (0,30 mg/Kg) e cromo (600,00 mg/Kg); vitaminas e sais minerais.

Fonte: Adaptada de FERNANDE *et al.*(2011).

O cromo trivalente (Cr^{3+}) é elemento essencial para os seres humanos e os animais. Tem função biológica com os complexos organometálicos envolvidos na síntese de insulina e no controle dos índices de colesterol e de triglicérides no sangue. O cromo é absorvido no ambiente gastrointestinal em porcentagem baixa. Em contrapartida, o cromo (VI) é absorvido preferencialmente ao cromo (III), mas é biologicamente inativo como elemento essencial. Nas águas, o cromo ocorre em solução como Cr (VI) podendo causar deficiências que podem e devem ser combatidas com dietas balanceadas ou por via profilática. O excesso de cromo é tóxico e no caso particular do cromo (VI) pode ser mutagênico em nível celular, com o cromo podendo reagir com o DNA, induzindo erros “de leitura” durante a duplicação da cadeia nucleotídica do ácido nucleico. A exposição a pó de cromo pode ser responsável pelo surgimento de patologias de tumores no pulmão (CORTECCI, 2006).

O efeito carcinogênico é suficientemente evidente apenas para a via inalatória, sendo o Cr (VI) classificado no Grupo 1: Carcinogênico para humanos, pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer - IARC (1990) e como Grupo A: Carcinogênico para humanos por via inalatória, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA (1998).

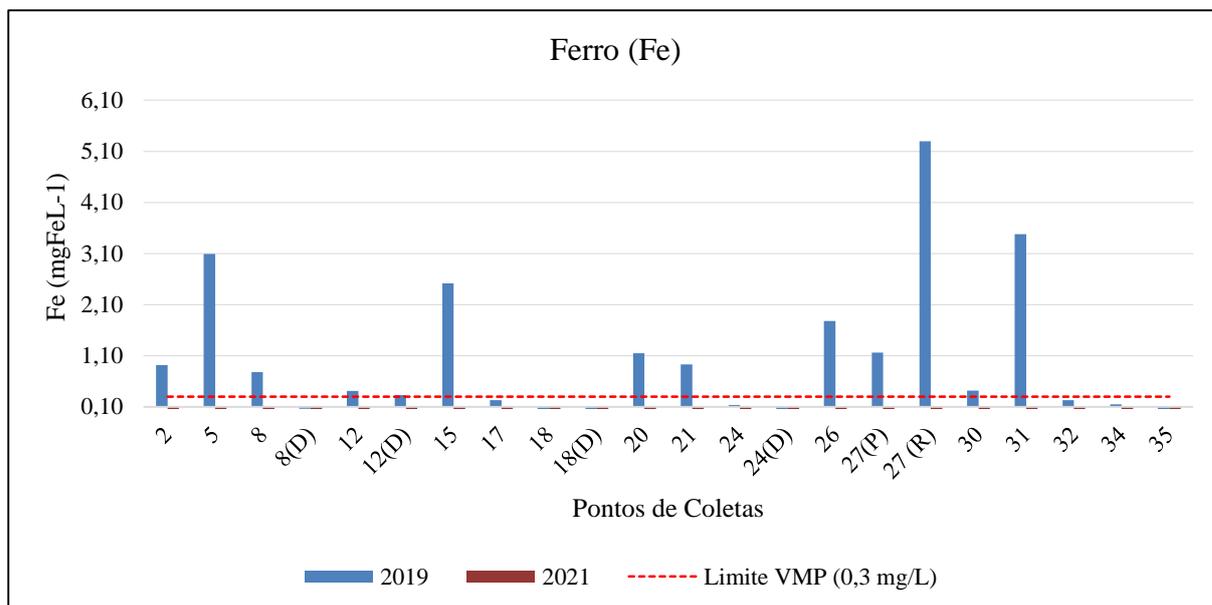
Segundo Oliveira *et al.* (2021), no Brasil não se tem literaturas que avaliem os fatores geológicos reforçadores na etiologia do câncer gástrico, tampouco sobre a associação entre câncer de estômago e exposição a Cr (VI) em água de consumo humano. No entanto, em sua pesquisa a autora relata que, em 23,6% (77) dos municípios avaliados, houve aumento do risco de câncer gástrico. Dentre esses, quase 70% se abastecem de água subterrânea, associado às bacias hidrográficas com anomalias geoquímicas de Cr (VI).

4.4.5 Ferro total (Fe)

As concentrações de ferro total variaram entre 0,001 e 5,30 mgFeL^{-1} , com média de 1,02 mgFeL^{-1} no período seco. Para o período chuvoso, o resultado mostrou que todas as amostras apresentaram concentração de ferro de 0,001 mgFeL^{-1} com exceção da amostra 8D onde o valor estava abaixo do LD. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução nº 396/2008 do Conama estabelecem o VMP de 0,3 mgFeL^{-1} nas águas para consumo humano.

No período seco as amostras obtiveram concentrações maiores que os valores estabelecidos pelas duas legislações citadas (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Concentrações médias do Ferro 2019 -2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

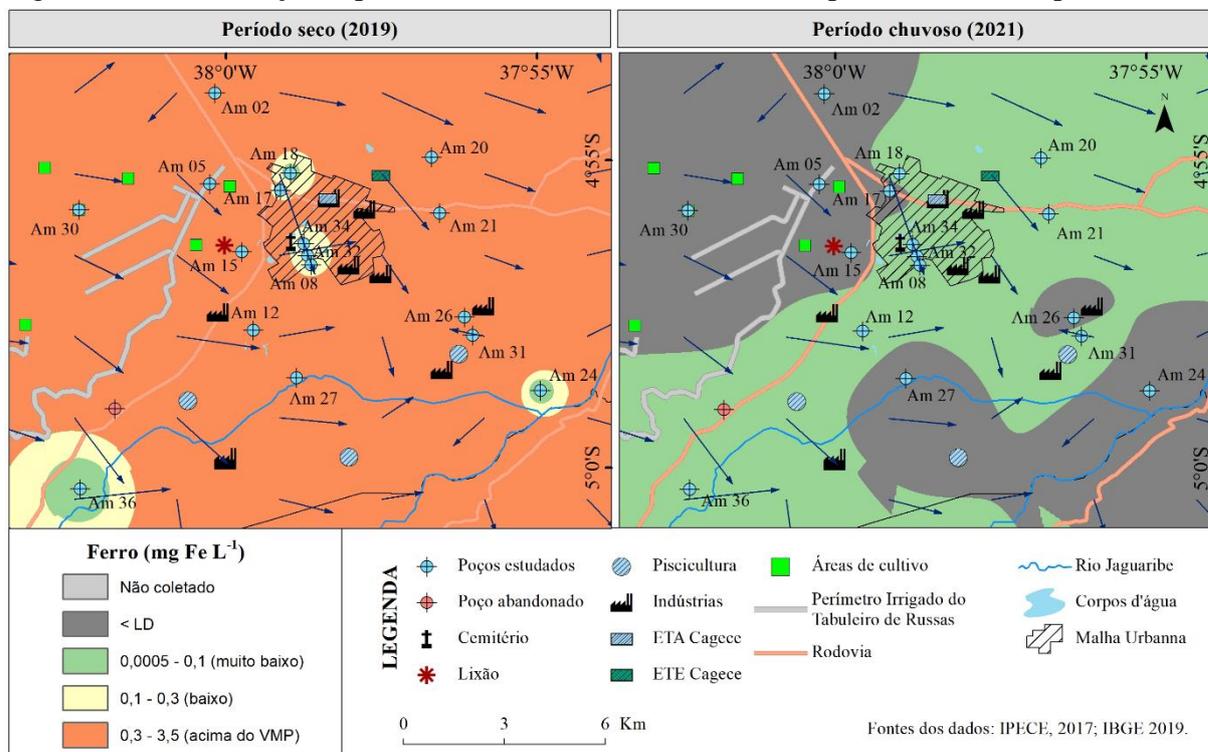
A maior concentração de ferro total foi obtida na amostra 27 ($5,30 \text{ mgFeL}^{-1}$) no período seco, ultrapassando muito o VMP de $0,3 \text{ mgFeL}^{-1}$ para águas potáveis pelas duas legislações citadas. Portanto, essa água não deve ser consumida sem, pelo menos, ser filtrada, pois a ingestão contínua em demasia pode acarretar doenças gástricas, além de conferir gosto metálico e coloração indesejável (PIUCI e FENZI, 1981).

As águas subterrâneas de Russas podem apresentar ferro em sua composição devido às características litológicas do Grupo Barreiras, e isso foi possível observar nas amostras de elevadas concentrações de ferro em 2019 com média de ($1,02 \text{ mg/L}$) e maior concentração no ponto 05 ($3,09 \text{ mg/L}$), (Figura 28). Por outro lado, em 2021 não foi identificada a presença de ferro nos pontos de amostragem, possivelmente porque ocorreu a diluição e recarga aquífera.

Pontualmente podem existir contribuições antrópicas nas águas, como no caso do ponto 15, próximo ao lixão (aproximadamente 400m); em relação às amostras 26 e 31, existem indústrias cerâmicas nas proximidades dos poços, com a presença de valas deixadas pela extração de argila, onde há um acúmulo de resíduos que podem ser lixiviados para o subsolo (Figura 29). O teor de ferro de uma amostra de água qualquer pode ser adquirido através do contato da água com partes metálicas que contenha em estrutura superior dos poços, de partes das bombas instaladas e desativadas, e ainda em poços localizados próximos às fazendas de carcinicultura, onde a mobilização de solos para formação de tanques pode promover a

remobilização do ferro o tornando mais disponível nas águas subterrâneas.

Figura 28 – Distribuição espacial do ferro amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 29 – Indústria de cerâmica e valas localizadas no município de Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

O ferro ocorre sob a forma de íon ferroso (Fe^{2+}) e férrico (Fe^{3+}), e o ferro no estado mais baixo de oxidação é instável, sendo oxidado para o estado férrico que é insolúvel em água alcalina. Portanto, a especiação do ferro em águas subterrâneas permite avaliar seu real potencial de uso, principalmente em termos de água potável, além de permitir o melhor entendimento do ciclo do ferro em ambientes naturais. O excesso de ferro polui a água,

causando incrustações ou entupimentos em filtros e encanamentos, além de manchas em roupas e outros materiais, (PAIVA, M.; BAUMGARTEN, M. DA G.; WALLY, M., 2012).

Apesar do ferro ser considerado um micronutriente para a maioria dos seres vivos, a ingestão contínua em demasia pode gerar acúmulo de ferro nos tecidos, células e organelas, o que tem sido associado a diversos processos patológicos, tais como doenças hepáticas e cardíacas, disfunções hormonais e do sistema imunológico. Adicionalmente, águas enriquecidas em ferro (ferruginosas) e com altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados, quando expostas, favorecem o processo de proliferação de produtores primários oportunistas, com consequente eutrofização. Esse processo é caracterizado como um desequilíbrio ambiental que pode acarretar uma coloração geralmente esverdeada e/ou alterações nas propriedades organolépticas da água. Além disso, algumas espécies de cianobactérias que assim florescem são capazes de liberar toxinas promotoras de alergias, hepatocarcinoma e outras patologias (CHORUS; BARTRAM, 1999).

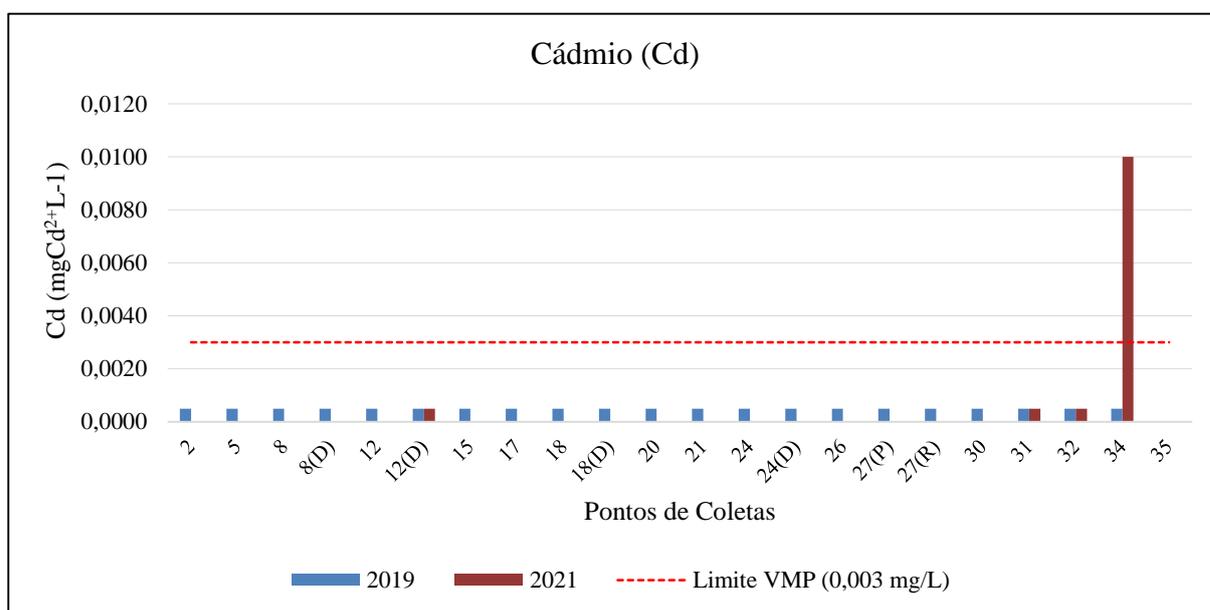
4.4.6 Cádmio (Cd)

A Portaria nº888/2021 MS estabelece VMP de $0,003 \text{ mgCd}^{+2}\text{L}^{-1}$ e a Resolução nº 396/08 CONAMA estabelece VMP de $0,005 \text{ mgCd}^{+2}\text{L}^{-1}$. A Resolução nº 396/08 CONAMA, cita no Art. 17, parágrafo VI, que no caso de uma substância ocorrer em concentrações abaixo dos limites de quantificação praticável (LQP), aceitar-se-á o resultado como ausente para fins de atendimento desta Resolução.

No período seco todas as amostras apresentaram concentrações $< \text{LD}$, enquanto que no período chuvoso as concentrações de cádmio foram detectadas em 04 amostras 12D, 31, 32 e 34, as duas primeiras com valores de $0,0005 \text{ mgCd}^{2+}\text{L}^{-1}$ e a terceira com $0,01 \text{ mgCd}^{2+}\text{L}^{-1}$ o que denota um aumento da concentração de cádmio no período chuvoso para amostra 34 (Gráfico 19).

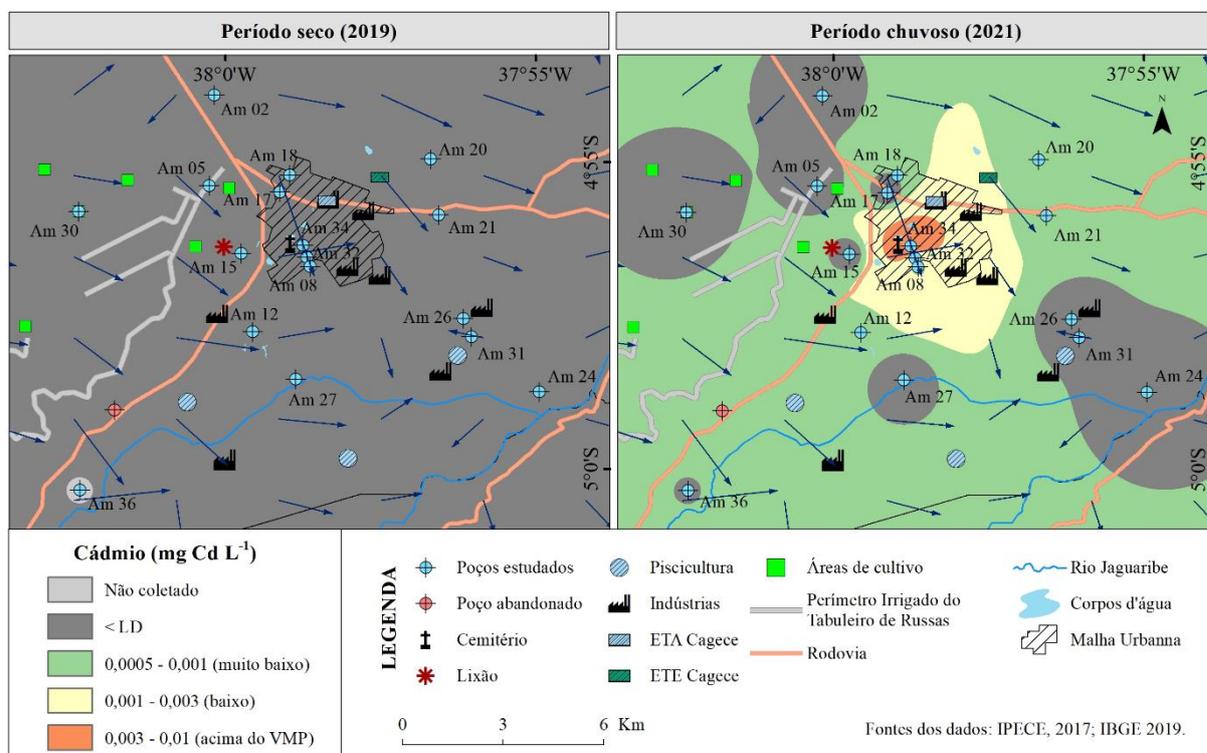
No período chuvoso, o maior valor obtido foi para a amostra 34, que se encontrou em desacordo com o VMP estabelecido pelas legislações citadas (Figura 30). Esse resultado se deve possivelmente a localização do ponto, área de aluviões, onde essas substâncias estão sendo lixiviadas com maior intensidade, recebendo uma carga de lixiviados maior do PITR, uso intenso de agrotóxicos, da área urbana, dos lixões e do cemitério.

Gráfico 19 – Concentrações médias do Cádmi (Cd) 2019 -2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30 – Distribuição espacial do cádmio nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

A ocorrência de cádmio na água é como cátion (Cd^{2+}), ligado com ânions simples, como cloreto, não formando qualquer complexo ou composto orgânico. A solubilidade em

águas naturais depende do equilíbrio carbonato/dióxido de carbono, haja vista que as concentrações derivam da dureza ou da alcalinidade, valendo como regra que nas águas mais brandas o nível permitido de Cd é menor do que nas águas mais duras. A ação de chuva ácida dissolve o CdS e CdCO₃ e assim percola para o aquífero ou para as águas superficiais. Em área de fundição e refinação de zinco, chumbo e cobre, o cádmio pode ocorrer na forma de óxido de cádmio (CdO), se depositando no solo. A chuva ácida pode causar dessorção e dissolver o CdO, infiltrando-o no subsolo (POHLING, 2009).

Determinados sais e complexos de cádmio são solúveis e apresentam significativa mobilidade na água, enquanto que nas formas não solúveis ou adsorvidas ao sedimento apresentam pouca mobilidade. A água potável pode ser contaminada por cádmio devido a presença do metal como impureza no zinco de tubulações galvanizadas, soldas e acessórios metálicos (FRIZZO, 2016). O processo de entrada no meio ambiente ocorre por meio dos resíduos de mineração, deposição de lodos de esgoto ou efluentes urbanos e industriais, descarte de resíduos sólidos como lixo urbano, inseticidas e pela aplicação de fertilizantes fosfatados, queima de combustíveis fósseis e incineração. A aplicação de lodo de esgoto como fertilizantes também representa uma fonte de entrada de Cd no solo (ATSDR, 2013; CAMPOS *et al.*, 2005; CARDOSO; CHASIN, 2001).

O cádmio não apresenta nenhum benefício, ou seja, não é essencial para os seres vivos. A ingestão de água potável com níveis muito elevados de cádmio irrita severamente o estômago, levando a vômitos e diarreia, acúmulo nos rins, fígado, pâncreas, tireoide e, às vezes, à morte. O Departamento de Saúde e Serviços Humanos (DHHS) dos EUA e a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) aponta o cádmio e seus compostos como cancerígenos humanos (Grupo 1) (CETESB, 2017)

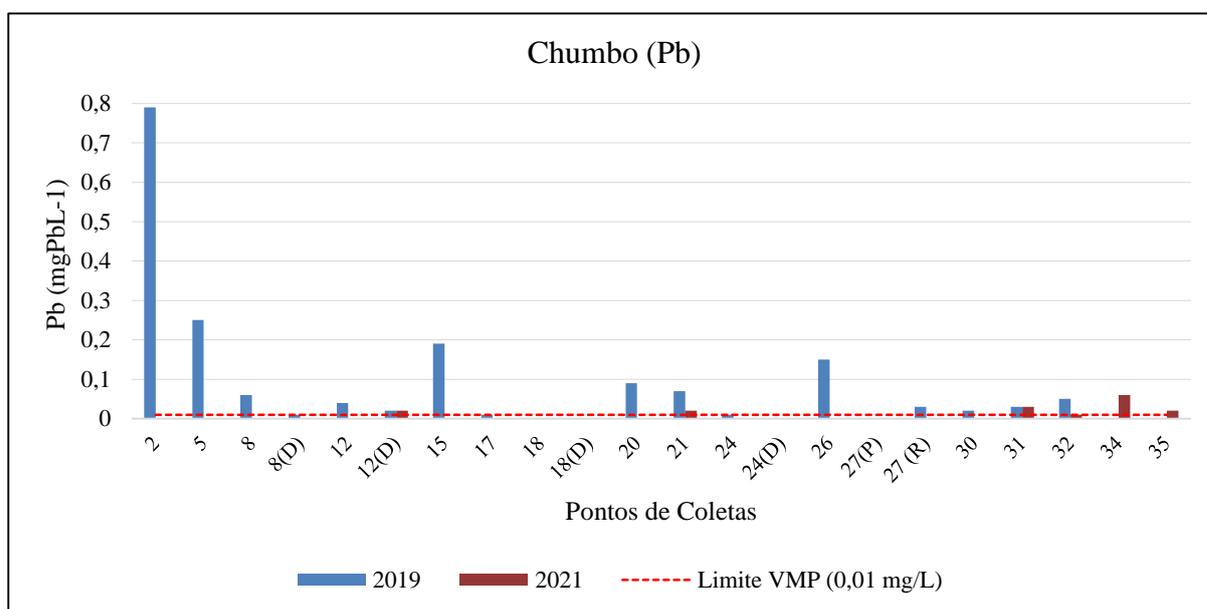
4.4.7 Chumbo (Pb)

As concentrações de Pb no período seco variaram entre 0,0005 e 0,1 mgPbL⁻¹, com 03 amostras apresentando valores inferiores a (< LD). As amostras 27(rio), 30, 31, 32 e 34 tiveram concentrações de Pb que excederam os limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde e da Resolução nº 396/2008 do Conama que estabelecem VMP 0,01 mgPbL⁻¹. A maior concentração de Pb para 2019 foi obtida na amostra 27(rio) (0,1 mgPbL⁻¹), esse ponto de amostragem é na Cagece, Bento Ribeiro, onde é captada água de poço e água de rio, são misturadas, águas mistas e em seguida distribuídas para abastecimento. O chumbo

presente na água de rio é proveniente de ações antrópicas.

No período chuvoso as concentrações variaram de 0,0005 e 0,06 mgPbL⁻¹, as amostras 12D, 21, 31, 34 e 35 encontraram-se com as concentrações acima do VMP das legislações citadas. A amostra 34 teve a maior concentração de Pb 0,06 mgPbL⁻¹. Verificou-se que no período seco a concentração de Pb menor em relação a 2021. O Gráfico 20 mostra os resultados médios obtidos para as amostras de águas coletadas durante 2019 e 2021.

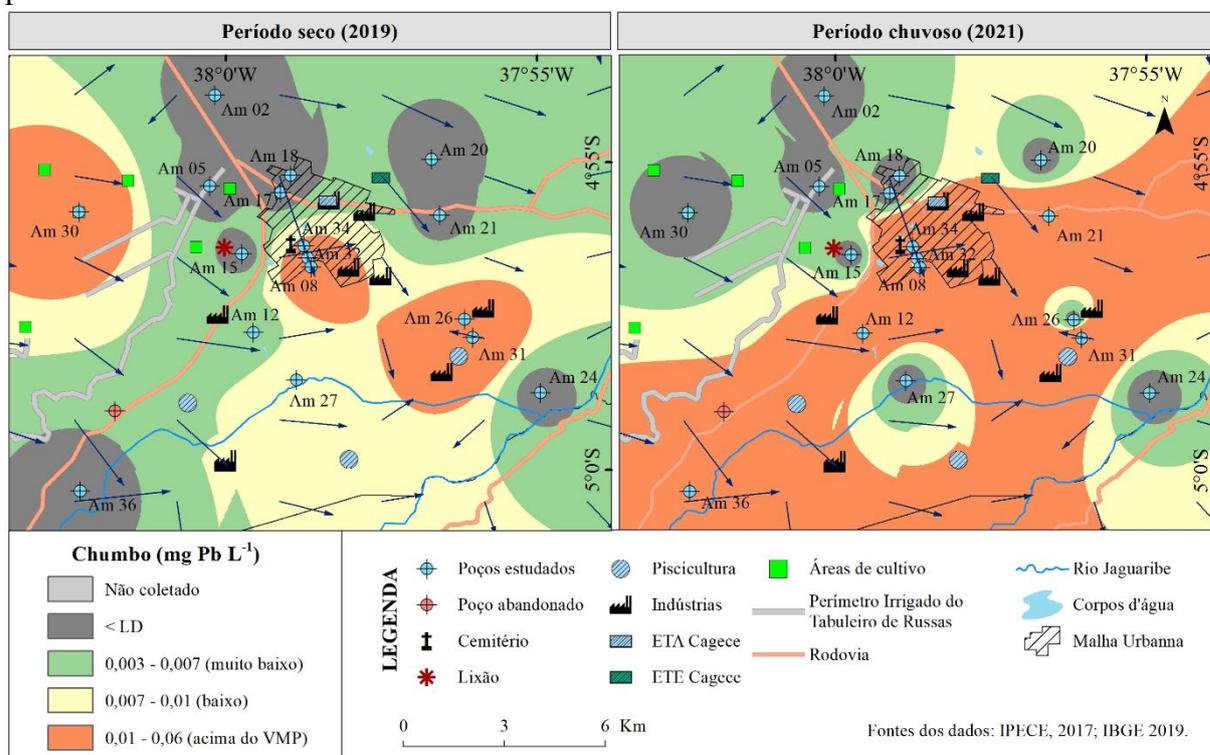
Gráfico 20 – Concentrações médias do chumbo 2019-2021.



O chumbo é um elemento abundante na crosta terrestre, raramente encontrado no seu estado natural. Está presente em grande variedade de minérios, sendo a galena (PbS), anglesita (PbSO₄) e a cerussita (PbCO₃) os que mais apresentam esse elemento. Embora alguns processos naturais, como emissões vulcânicas e intemperismo químico, liberem chumbo no ambiente, a ação antropogênica é a maior responsável por este processo, sendo os mais comuns a mineração, indústrias metalúrgicas, adubos na agricultura e queima de combustíveis fósseis (PAOLIELLO & CHASIN, 2001).

Conforme a Figura 31, é possível identificar as fontes poluentes antrópicas. Para 2019, os pontos 02 e 05 estão localizados no PITR, onde há uso de agrotóxicos. O ponto 15 fica a jusante de um lixão, com contribuição do fluxo subterrâneo, o que favorece a lixiviação de substâncias. Os pontos 26 e 31 apresentam em seu entorno várias indústrias de cerâmica, fato que provavelmente está contribuindo para a liberação de Pb.

Figura 31 – Distribuição espacial do chumbo nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

A liberação do Pb de complexos orgânicos para formas solúveis está intimamente relacionada com o pH. Solos com pH = 5 e pelo menos 5% de matéria orgânica retém o Pb atmosférico na camada superior (entre 2 e 5 cm); em solos com pH entre 6 e 8 e alto teor de matéria orgânica, o Pb pode formar compostos insolúveis, no entanto, para os mesmo valores de pH, mas menor teor de matéria orgânica, pode ocorrer a formação de óxidos - hidróxidos de Pb hidratados e precipitação na forma de carbonatos ou fosfatos; nos solos com pH entre 4 e 6 os complexos orgânicos do Pb tornam-se solúveis e sofrem lixiviação ou são absorvidos pelas plantas (KABATA-PENDIAS, 2001).

Este elemento ao ser depositado na água sofre influência do pH, sais dissolvidos e agentes complexantes orgânicos, que definem sua permanência na fase aquosa ou como precipitado. A presença de Pb²⁺ em águas também é limitada pela presença de sulfatos e carbonatos, uma vez que formam compostos pouco solúveis. Em águas superficiais, o Pb pode ser encontrado complexado com compostos orgânicos naturais (ácidos húmicos) ou antropogênicos. Vários fatores como pH, composição mineralógica, matéria orgânica, substâncias coloidais, oxi-hidróxidos e concentração do elemento influenciam seu transporte e

disponibilidade (PAOLIELLO & CHASIN, 2001). Por ser fortemente adsorvido à matéria orgânica, ele é encontrado nas partes mais superficiais do solo, por ser convertido em sulfato, forma mais insolúvel quando comparada ao carbonato ou fosfato (KABATA-PENDIAS, 2001). O metal pode ser imobilizado pela complexação com ácidos húmicos ou fúlvicos dos solos ou pela troca iônica com óxidos hidratados ou argila.

A toxicidade pelo Pb pode ser observada em alterações no sistema nervoso, sistema hematopoiético, no sistema cardiovascular e reprodutivos (ROCHA; PEZZINI; POETA, 2018)

No Brasil, as principais fontes de contaminação do solo e água por Pb são a mineração e a reciclagem do metal.

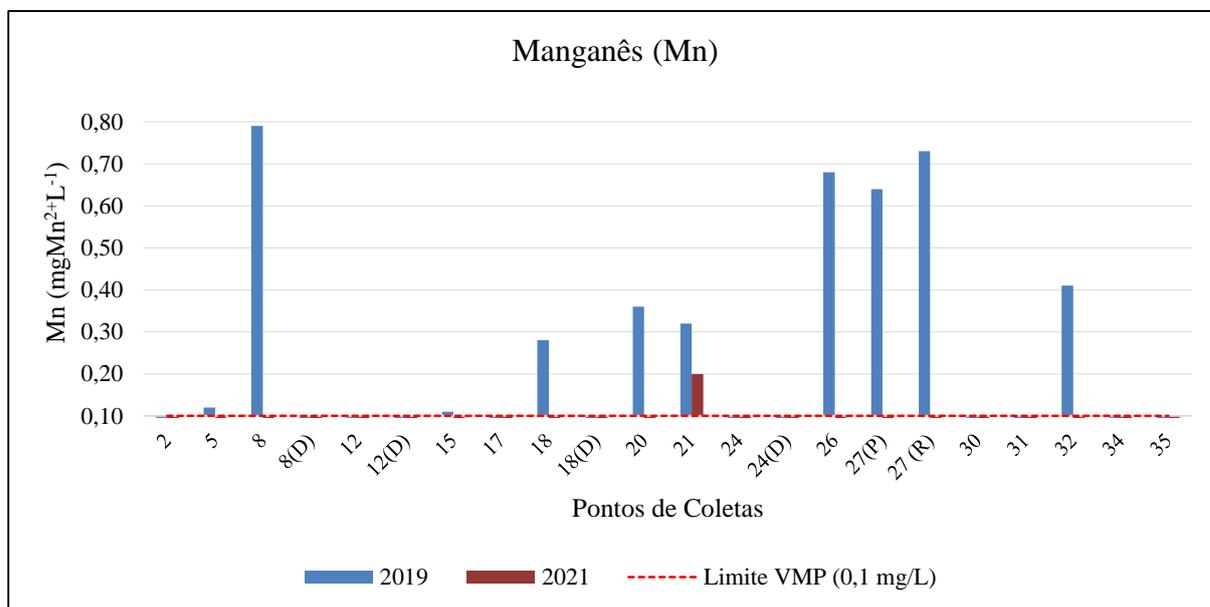
4.4.8 Manganês (Mn)

As concentrações de manganês oscilaram entre 0,0005 e 0,79 $\text{mgMn}^{2+}\text{L}^{-1}$ com média de 0,21 $\text{mgMn}^{2+}\text{L}^{-1}$ durante o período seco. As amostras 5, 8, 15, 18, 20, 21, 27 (rio) e 32 excederam os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução nº 396/208 do Conama que estabelecem VMP 0,1 $\text{mgMn}^{2+}\text{L}^{-1}$.

No período chuvoso as concentrações oscilaram de 0,01 a 0,2 $\text{mgMn}^{2+}\text{L}^{-1}$, com 4 amostras abaixo de LD e média de 0,07 $\text{mgMn}^{2+}\text{L}^{-1}$, portanto todas as amostras encontraram-se com as concentrações menores que os valores máximos permitidos pelas duas Legislações citadas, a exceção da amostra 21. A maior concentração de manganês foi observada na amostra 21 coletada diretamente do poço. Nota-se redução da concentração de manganês no período chuvoso. O Gráfico 21 mostra os resultados médios obtidos para o manganês nas amostras de águas coletadas durante os períodos de 2019 e 2021.

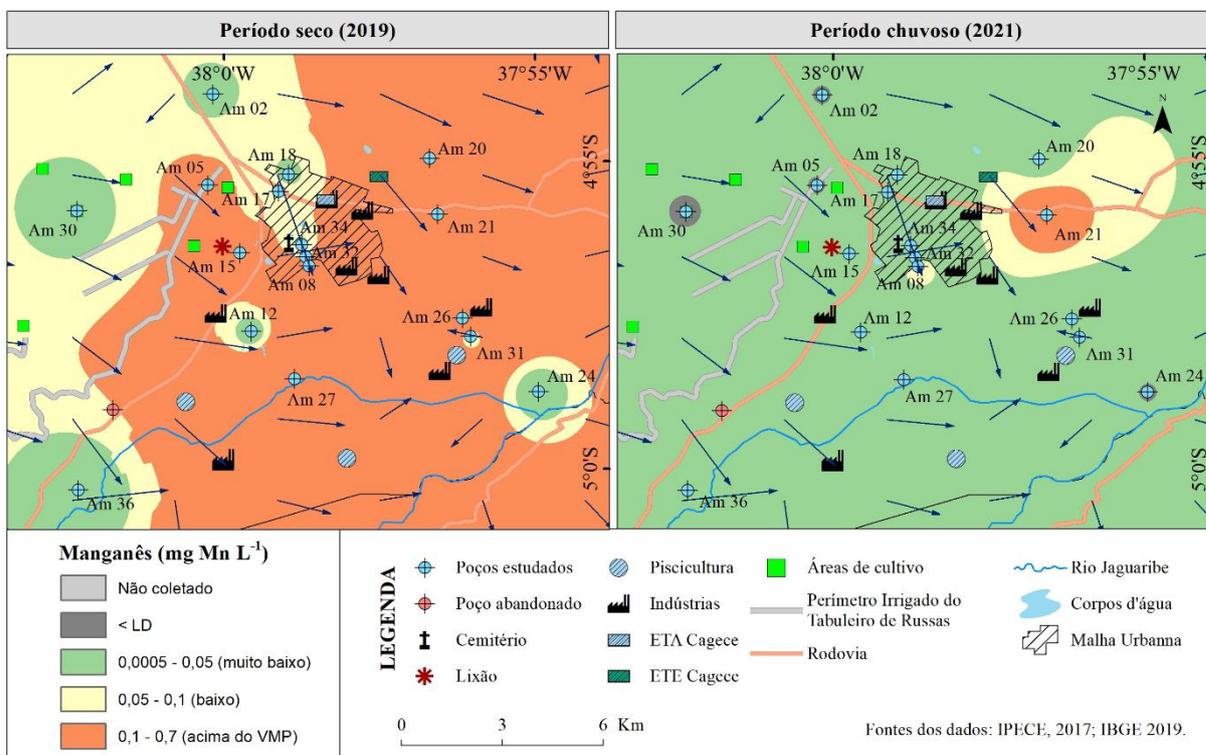
Conforme mapa de teor (Figura 32), é possível verificar que para 2019 há uma concentração maior de Mn, o que possivelmente pode ser pela erosão do solo. Para 2021, o Mn é lixiviado, por conta das chuvas, tendo em vista que o pH nesse período se apresenta mais ácido. No entanto permanece uma concentração considerável no ponto 21, onde se tem indústrias de cerâmicas nas proximidades.

Gráfico 21 – Concentrações médias do manganês (Mn) 2019-2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 32 – Distribuição espacial do manganês nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

Processos naturais e a atividade humana são capazes de modificar compostos de

manganês. As formas orgânicas são usadas em fungicidas e inibidores de fumaça, entre outros usos (CETESB, 2017). Aerossóis, praguicidas e fertilizantes são identificados como possíveis fontes de contaminação do solo que se somam à carga de Mn naturalmente presente na água doce e salgada (BARCELOUX; BARCELOUX, 1999).

O manganês ocorre naturalmente em diversos tipos de rochas. Não tem gosto ou cheiro especial e não ocorre no ambiente como um metal puro, mas sim combinado com outras substâncias, como oxigênio, enxofre e cloro. Estas formas, chamadas compostos, são sólidas e não evaporam (MARTINS, 2003). O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel) (PIVELI, 2005). Minerais como a rodocrosita ($MnCO_3$) e sulfito mangânico (MnS), após sua dissolução, além de óxidos como a manganita ($MnOOH$), pirolusita (MnO_2) e hausmanita (Mn_3O_4) são os principais responsáveis pela presença de manganês nas águas (RAMOS, 2010).

O estado de oxidação do Mn em solos e sedimentos pode ser alterado pela atividade microbiana, a qual também é responsável por aumentar a mobilidade deste metal. Há um equilíbrio dinâmico entre as formas do Mn. A forma divalente é transformada, através da oxidação biológica, na forma trivalente que, posteriormente, é reduzida a Mn^{2+} em solos muito ácidos. A oxidação bacteriana é considerada baixa, por outro lado, em solos alcalinos, e a forma divalente praticamente desaparece. A velocidade de conversão nas diferentes formas sofre influência sazonal, provavelmente por depender da ação microbiológica, pois o potencial de oxidação e de redução está diretamente relacionado com a atividade dos microrganismos que podem alterar o pH (MARTINS, 2003).

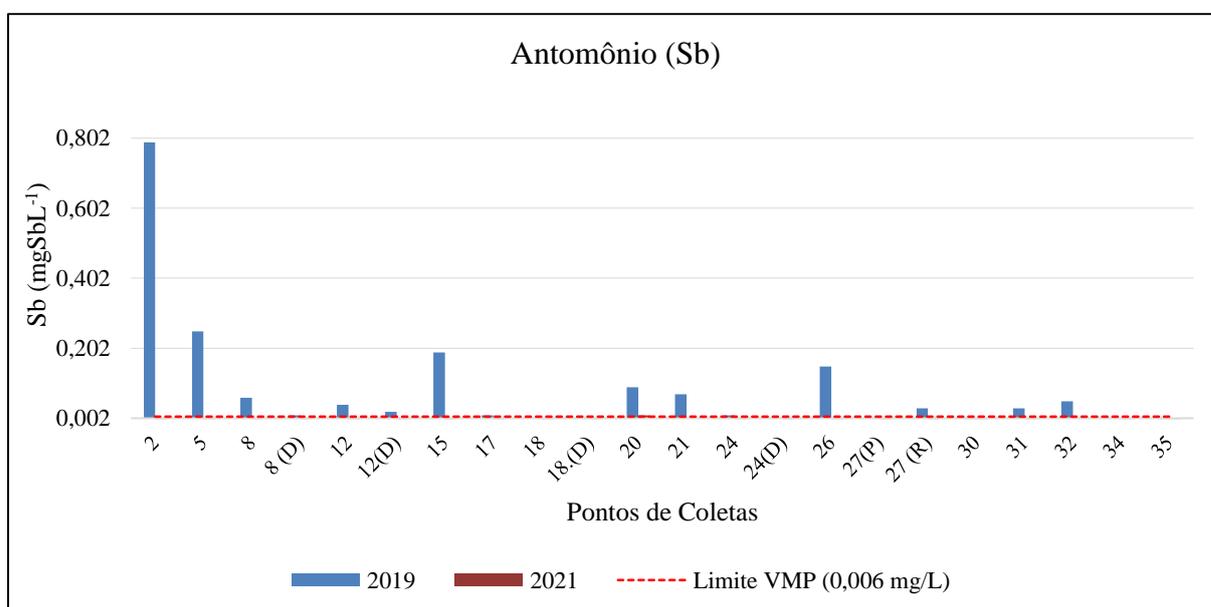
O manganês é um elemento frequentemente encontrado na composição geológica da terra, sendo assim facilmente encontrado em corpo aquático, mesmo que em concentrações muito baixas. A utilização de agroquímicos, principalmente fungicidas, bem como a composição das rochas da região, podem contribuir para a entrada do manganês no lençol freático. Macedo, (2004) afirma que, na água, o manganês em excesso pode trazer problemas neurológicos.

4.4.9 Antimônio (Sb)

As concentrações de antimônio variaram de 0,0005 a 0,79 $mgSbL^{-1}$ durante o período seco com uma amostra com concentração abaixo de LD. As amostras 2, 5, 8, 15, 20, 21 e 26 excederam os limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do MS (VMP = 0,006

mgSbL⁻¹) e pela Resolução n° 396/208 do CONAMA (VMP = 0,005 mgSbL⁻¹). No período chuvoso as concentrações variaram de 0,0005 a 0,01 mgSb⁺L⁻¹, com 6 amostras com concentração abaixo de LD. Apenas a amostra 20 excedeu os VMP das duas legislações citadas. No período seco a maior concentração de antimônio foi obtida na amostra 2 coletada diretamente do poço e no período chuvoso, na amostra 20. Comparando-se os valores obtidos para a amostra 20 nos dois períodos, verificou-se que houve uma redução da concentração no período chuvoso (Gráfico 22).

Gráfico 22 – Resultados médios obtidos para o antimônio nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021.



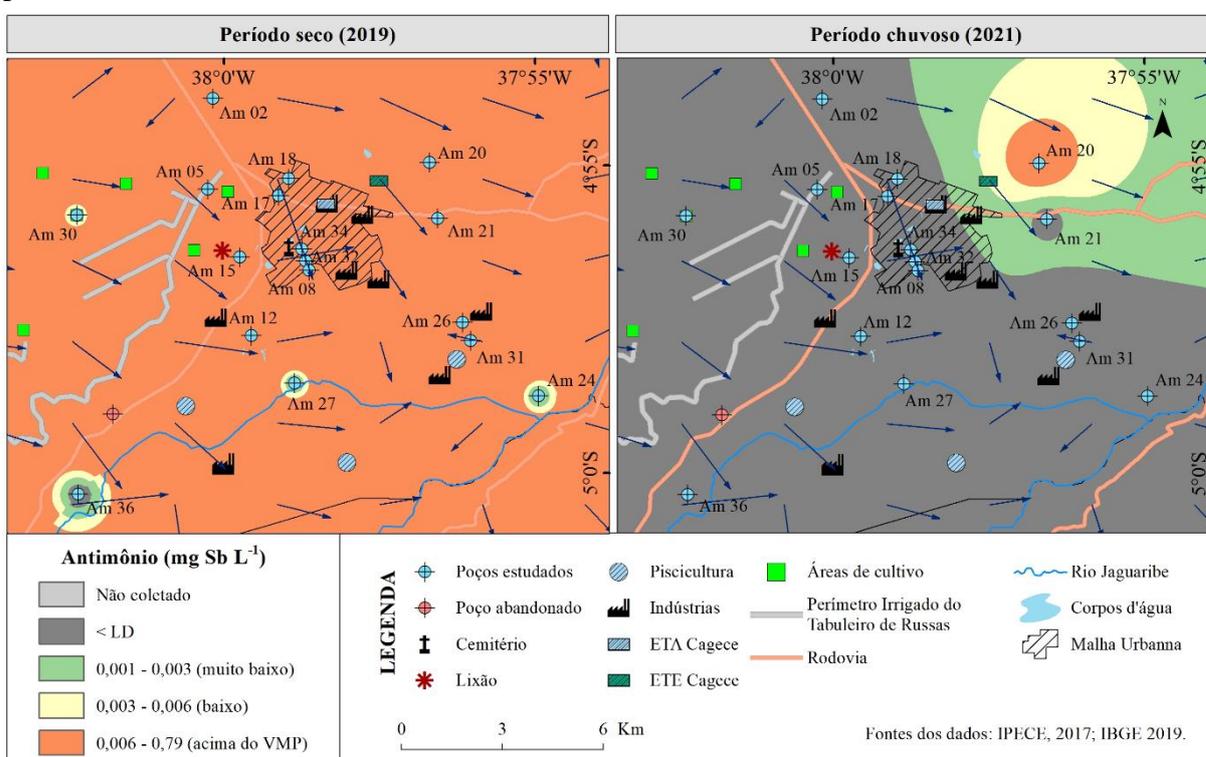
Fonte: Elaborado pela autora.

A Portaria n° 888/2021 do MS classifica o antimônio como uma substância química inorgânica que oferece riscos à saúde. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o trióxido de antimônio possivelmente carcinogênico para o ser humano.

O Sb é regulamentado como contaminante de água potável, pois é passível de provocar efeitos na saúde, tais como, náuseas, vômitos e diarreia, quando ocorre uma exposição acima do VMP por longo período. Uma longa exposição ao antimônio através da ingestão de água contaminada pode acarretar efeitos nocivos à saúde tais como o aumento do colesterol no sangue e a diminuição dos níveis normais de açúcar, sendo, possivelmente, de difícil reversibilidade. A toxicidade do antimônio é função de sua solubilidade em água e estado de oxidação das espécies. Geralmente o antimônio (III) é mais tóxico que o antimônio(V), e os compostos inorgânicos são mais tóxicos que os orgânicos (CETESB, 2017).

De acordo com mapa de teor (Figura 33), a maior concentração de Sb para 2019, foi no ponto 02, localizado no PITB. No entanto, essa concentração é bem notória em quase todos os pontos de coleta. Para 2021, percebe-se que houve uma diluição dessa substância, no entanto no ponto 20, a concentração maior observada pode ser em função da proximidade com as indústrias de cerâmicas e conseqüentemente queimas de carvão.

Figura 33 – Distribuição espacial do Antimônio nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.10 Níquel (Ni)

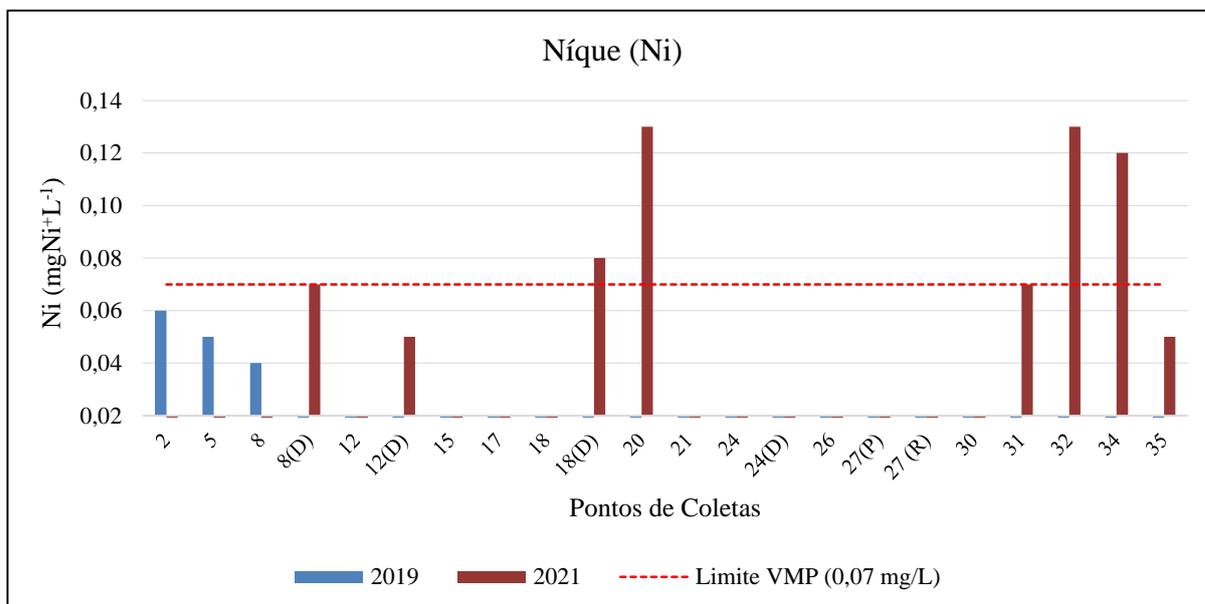
As concentrações de níquel (Ni) oscilaram entre 0,0005 e 0,06 mgNi⁺L⁻¹ durante o período seco, a maior concentração de níquel foi obtida na amostra 2, localizada no PITR, que pode ter influência do uso de agrotóxicos.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece VMP = 0,07 mgNi⁺L⁻¹ e a Resolução nº 396/208 do Conama VMP = 0,02 mgNi⁺L⁻¹

No período chuvoso as concentrações oscilaram de 0,01 a 0,13 mgNi⁺L⁻¹ com média de 0,08 mgNi⁺L⁻¹. Com exceção da amostra 21, as demais amostras apresentaram concentrações maiores que os valores máximos permitidos pelas duas legislações citadas. As

maiores concentrações de níquel foram obtidas nas amostra 20 e 32, (Gráfico 23).

Gráfico 23 – Resultados médios obtidos para o níquel nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021.



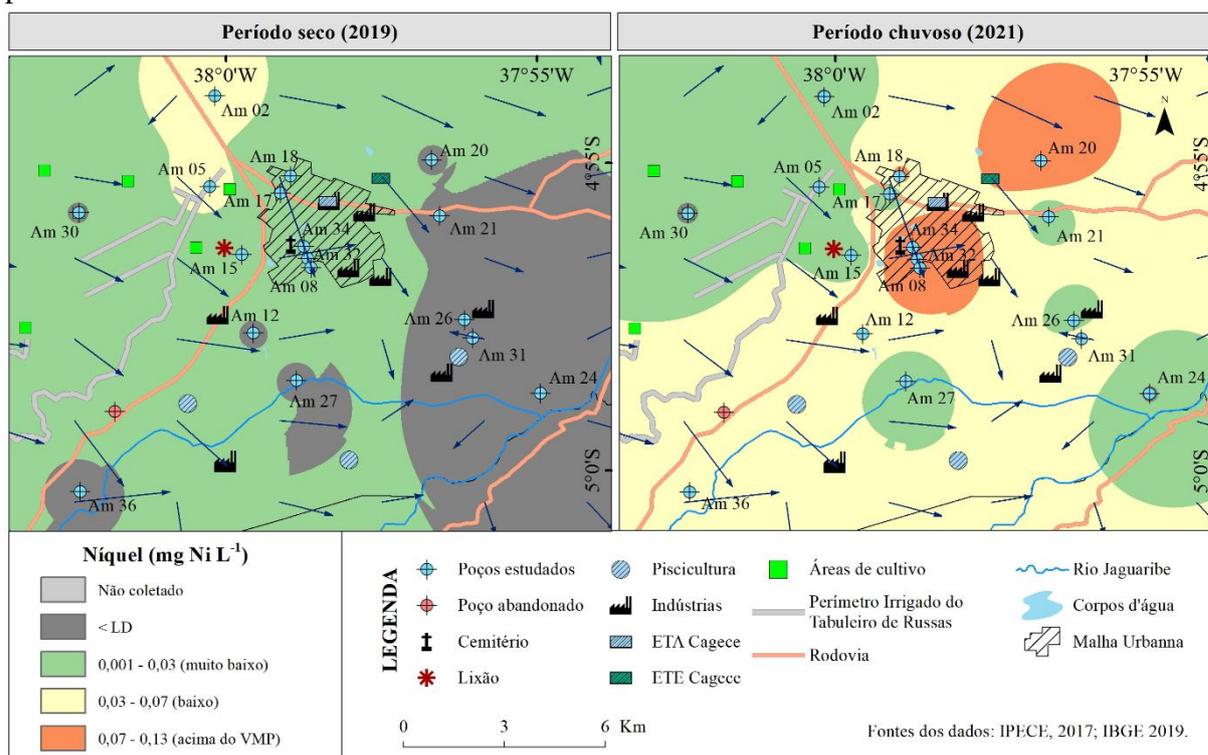
Fonte: Elaborado pela autora.

Para 2021, houve uma maior concentração, principalmente nos pontos 20, 32 e 34. Vale salientar que o ponto 20 é de um poço de uma escola de ensino fundamental, onde em seu entorno tem-se indústrias de cerâmicas, piscicultura e carcinicultura, onde esses efluentes junto aos domésticos devem contribuir para essa concentração. Os pontos 32 e 34 se encontram em áreas urbanas com fontes contaminantes presentes. Conforme mapa de teor (Figura 34), é possível identificar as fontes poluentes desses pontos.

O níquel encontra-se geralmente associado aos sulfetos de ferro e cobre, depósitos aluviais de silicatos e óxidos/hidróxidos. O mineral de maior importância é a pentlandita $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$, sendo também encontrado em minérios como a millerita (NiS), nicolita (NiAs), pirita arsenical de níquel (NiAsS), entre outros (LEE, 1996). As principais fontes antrópicas do níquel são a queima de combustíveis fósseis, processos de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas e indústrias de eletrodeposição (CETESB, 2001). O pH do solo é o principal responsável pela biodisponibilidade do níquel. Em $\text{pH} < 6,5$ a maioria dos compostos de níquel são solúveis, e em $\text{pH} > 6,7$ o metal existe predominantemente na forma insolúvel como hidróxido de níquel (KABATA & PENDIAS, 2001; SUNDERMAN JR.MD, 1988). Em solos alcalinos as formas mais facilmente encontradas em solução são $\text{Ni}(\text{OH})^+$ e Ni^+ , no

entanto também podem ocorrer as formas NiCO_3 , NiHCO^{3+} e $\text{NiB}(\text{OH})^{4+}$ (SPOSITO, 1989; ALLOWAY, 1995).

Figura 34 – Distribuição espacial do Níquel nas amostras estudadas e potenciais fontes poluidoras.



Fonte: Elaborada pela autora.

Há poucas referências bibliográficas sobre a toxicidade do níquel, no entanto, estudos recentes demonstram que o níquel pode ser carcinogênico (SIMÕES, 2007). O níquel possui efeito carcinogênico, com sintomas respiratórios de intoxicação e dermatites de contato (CETESB, 2017).

4.4.11 Zinco (Zn)

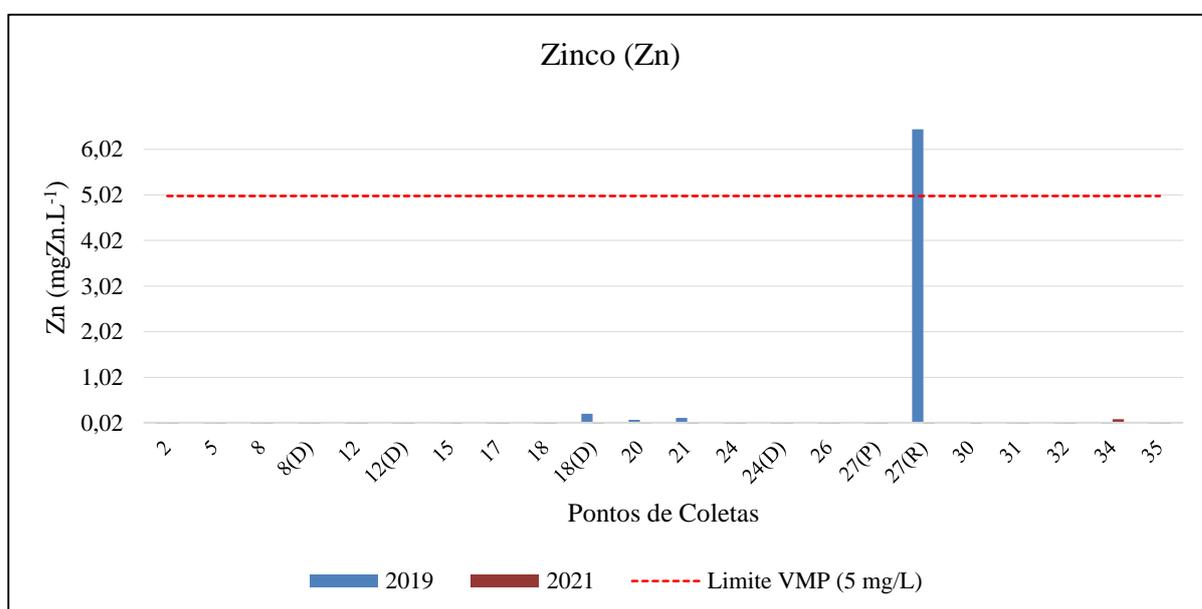
As concentrações de zinco variaram de 0,0005 a 6,46 mgZn.L^{-1} durante o período seco e duas amostras com concentrações abaixo de LD. A maior concentração de zinco foi obtida na amostra 27(rio), os canos que são usados para captação das águas são metálicos.

A Portaria nº888/2021 MS e a Resolução nº 396/208 CONAMA estabelecem VMP = 5,0 mgZnL^{-1} .

No período chuvoso as concentrações variaram de 0,0005 a 0,07 mgZnL^{-1} e cinco

amostras com concentrações abaixo de LD. Todas as amostras apresentaram concentrações menores que os valores máximos permitidos pelas duas Legislações citadas. A maior concentração de zinco foi obtida na amostra 34 coletada diretamente do poço, verificou-se uma redução da concentração no período seco. Essa amostra é de um poço situado na área urbana, topograficamente mais baixo, com várias fontes de contaminação em seu entorno, inclusive cemitério (Gráfico 24).

Gráfico 24 – Resultados médios obtidos para o zinco nas amostras de águas coletadas durante os anos de 2019 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Portaria nº888/2021 do MS, no Capítulo II, Art.5º, parágrafo IV considera o zinco um padrão organoléptico: por ser caracterizado por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde;

O zinco pode ser encontrado na natureza, principalmente, sob a forma de sulfetos, associado aos minérios de chumbo (galena), cobre (calcopirita), prata (argentita) e ferro (pirita) (JESUS, 2001). Entre seus minérios mais abundantes estão a esfarelita (ZnS) e wurtzita (ZnFe) e em menor quantidade a smithsonita (ZnCO₃), willemita (ZnSiO₄), zincita (ZnO). (ALLOWAY, 1995).

O zinco está presente na atmosfera como material particulado e as principais fontes de emissão referem-se à queima de carvão vegetal e outros combustíveis fósseis e à fundição de metais não ferrosos (ALLOWAY, 1995).

As fontes antropogênicas são: mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco (CETESB, 2017). Em relação à saúde, seu efeito tóxico é raro em humanos, uma vez que ele não se acumula no organismo mesmo com exposição contínua (VAZ & LIMA, 2003).

4.4.12 Metais pesados na composição dos agrotóxicos

Algumas impurezas como os metais pesados são encontrados na composição dos agrotóxicos. Os metais pesados, constituintes de alguns agrotóxicos, não são biodegradáveis e têm sua toxicidade controlada pelas suas propriedades físicas e químicas (COSTA *et al.*, 2004)

Conhecer o comportamento destes elementos no solo é essencial para avaliar o impacto ambiental que a disposição de resíduos que contenham metais pesados pode provocar em solos agrícolas (CANET; POMARES; TARAZONA, 1997). A amplitude desse impacto relaciona-se diretamente com a habilidade do solo em reter esses metais. Fontes antropogênicas, incluindo emissões de efluentes industriais e pesticidas podem contribuir para concentração de metais nos solos. (SILVEIRA; ALLEONI; GUILHERME, 2003)

De acordo com perfil ambiental de alguns agrotóxicos no portal do IBAMA, nas propriedades físico-químicas dos agrotóxicos foram identificadas algumas impurezas metálicas como: cromo, cádmio, chumbo, arsênio e mercúrio (Tabela 8). Nas análises de metais pesados dessa pesquisa foram detectadas substâncias nas águas subterrâneas do município de Russas, local em que o uso de agrotóxicos nos cultivos do Pitr, possivelmente, contribui para esses resultados.

Tabela 8 – Metais pesados na composição dos agrotóxicos.

Substância	Impurezas / Quantidade Encontrada				
	Cromo	Cádmio	Chumbo	Arsênio	Mercúrio
Acefato	0,05 mg/l	0,04 mg/l	0,01 mg/l	2,2 µg/l	< 0,1 µg/l
Imidacloprido	<1,0 mg/kg	<1,0 mg/kg	<1,0 mg/kg	<0,01 mg/kg	<0,05 mg/kg
Tebuconazole	0,14 mg/l	< 0,1 mg/l	< 0,1 mg/l	< 8,1µg/l	< 0,9 µg/l

Fonte: (IBAMA, 2022).

4.5 Resultados das análises de agrotóxicos

A toxicidade e características químicas dessas substâncias junto aos grandes volumes comercializados e ao uso indiscriminado no Brasil se faz necessário o monitoramento da presença dessas substâncias nas águas e nos alimentos.

Os ecossistemas têm sido alvos de poluição por aditivos agrícolas, que são utilizados no solo, como fertilizantes e agroquímicos. Dependendo das características do solo, como a porosidade, por exemplo, a infiltração pode ocorrer com maior ou menor facilidade. Além disso, com uma maior aplicação do produto em épocas de ocorrência de chuvas, essa probabilidade de contaminação tende a ser maior (ARMAS *et al.*, 2007).

Uma prática que já vem ocorrendo há algum tempo na agricultura familiar do semiárido brasileiro é a aplicação de herbicidas em detrimento das capinas nos cultivos, o que se dá em razão basicamente de três fatores: redução significativa no número de integrantes do grupo familiar, carência de mão de obra e custo desta mão de obra. Cabe destacar que são cultivos de sequeiro.

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas em áreas com aplicação de agrotóxicos ocorre principalmente através dos processos de escoamento e lixiviação, afetados pela sorção, processo que vem recebendo muita atenção de pesquisadores nas últimas décadas, (LIMA; SOUZA; FIGUEIREDO, 2007). Conforme Tabela 9, os cultivos que apresentam maiores extensões (ha) na área de estudos são de banana, goiaba e coco. Em 2012 esta área era de aproximadamente 5.734,68 ha (DNOCS, 2013). No ano de 2023 foram 3.219,23 ha (DISTAR, 2023).

Tabela 9 – Tipos de culturas na área de estudo.

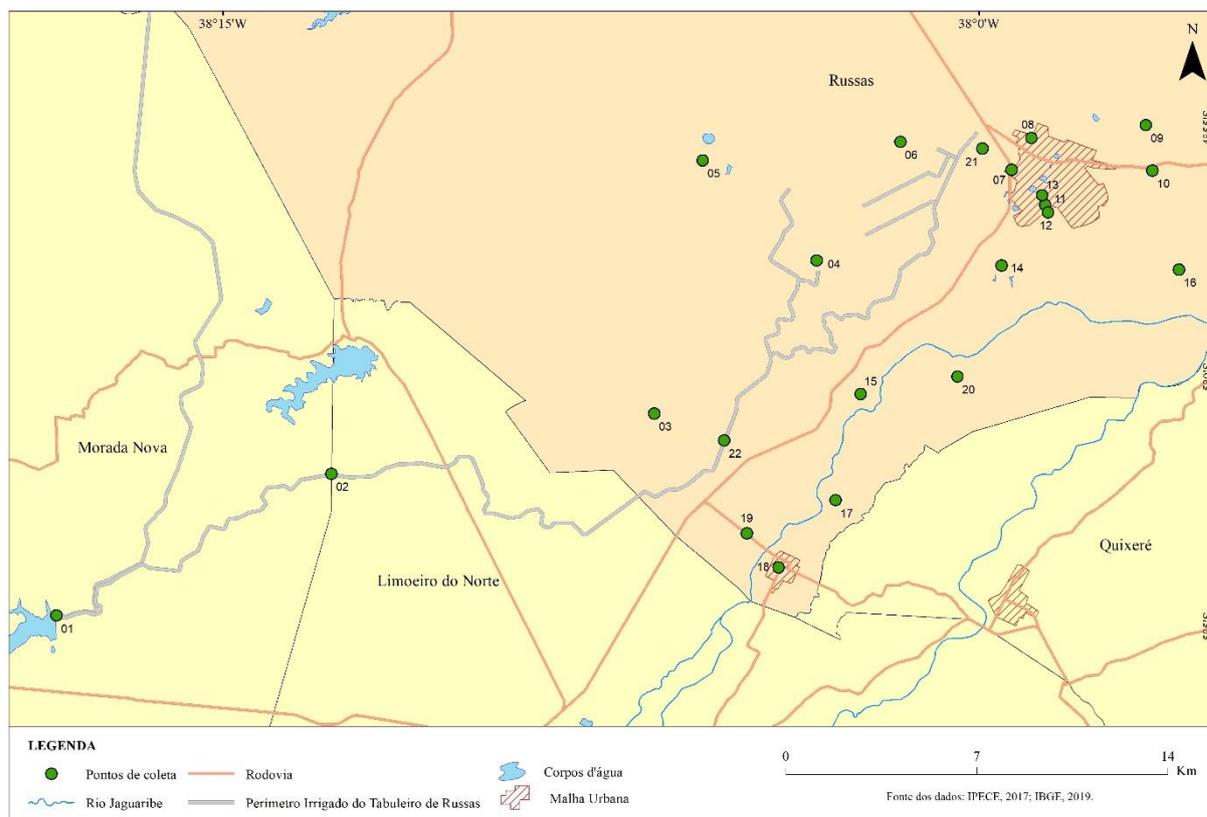
CULTURA	HECTARES (ha)
Abacate	27,50
Acerola	57,50
Banana Granaid	2,00
Banana maçã	6,00
Banana Pacovan	75,00
Banana Prata Anã	222,41
Banana Prata catarina	185,92

CULTURA	HECTARES (ha)
Banana William	97,00
Cacau	4,00
Cajú	58,50
Caqui	0,50
Coco	296,00
Goiaba	464,29
Graviola	2,60
Horta	4,00
Limão Thaity	48,55
Maçã	0,50
Macaxeira	7,00
Mamão	10,00
Manga	9,50
Mógno	2,00
Palma	12,00
Pastagem	115,00
Pera	0,50
Pinha	1,50
Pitaia	3,50
Romã	0,50
Sapoti	2,00
Sorgo	7,00
Tamarindo	15,00
Uva	5,70
TOTAL	1.743,47

Fonte: Distrito de Irrigação Tabuleiros de Russas – Distar, (2019).

Para uma melhor amostragem da carga de agrotóxicos nas águas, foram coletadas amostras ao longo do PITR, com ponto de controle a montante do canal, no açude Curral Velho, município de Morada Nova. Igualmente, foi feita uma coleta no canal no município de Limoeiro do Norte, amostra na comunidade de Peixes, na qual recebe água do canal de irrigação, nos lotes de cultivo e em poços de abastecimento no município de Russas, mapa de pontos (Figura 35).

Figura 35 – Mapa de pontos para coletas de agrotóxicos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados das análises das águas para os quatro ciclos de coletas estão expostos na Tabela 10. Todas as características físico-químicas e suas interações com o ambiente e a saúde das substâncias detectadas serão tratadas do decorrer dessas discussões.

Tabela 10 – Resultados médios obtidos dos agrotóxicos presentes para cada ciclo de coleta.

Agrotóxicos	Classe química	Resultados médios (μgL^{-1})			
		1º Ciclo Mai/21	2º Ciclo Ago/21	3º Ciclo Nov/21	4º Ciclo Mai/22
Acefato+metamidofós	Organofosforado	4,32	77,94	ND	36,62
Ametrina	Triazina	0,41	0,52	ND	ND
Adicarbe+adicarbe sulfúrico	Carbamato	1,34	ND	ND	153,44
Carbofurano	Carbamato	ND	ND	ND	3,94
Dimetoato	Organofosforado	0,23	ND	ND	ND
Imidacloprido	Neonicotinoide	0,41	0,45	ND	0,55
Malation	Organofosforado	ND	ND	ND	0,71
Permetrina	Piretroide	0,13	ND	ND	ND
Tebuconazol	Triazol	0,23	ND	ND	ND

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: ND = não detectado.

A Tabela 11 expõe os VMPs estabelecidos nas legislações brasileiras (Ministério da Saúde e o Conselho Nacional do Meio Ambiente), União Europeia e a Organização Mundial da Saúde.

Tabela 11 – Valores máximos estabelecidos pelas legislações para presença de agrotóxicos na água.

Compostos	Limites de Ensaio		VMP ($\mu\text{g/L}$)			
	LD ($\mu\text{g/}$)	LQ ($\mu\text{g/L}$)	MS 888/21	CONAMA 396/08	UE	OMS
Acefato + metamidofos	0,05	0,1	7,0	-	NA	-
Aldicarbe+Aldicarbe sulfoxido	0,1	0,3	10,0	10,0	NA	0,01
Ametrina	0,01	0,05	60,0	-	NA	
Dimetoato	0,05	0,1	1,20	-	NA	-
Carbofurano			7,0	7,0	NA	
Imidacloprido	0,1	0,3	-	-	NA	0,3

Malation			60,0	190,0	0,1	-
Permetrina	0,1	0,3	-	20,0	NA	-
Tebuconazol	0,05	0,1	180,0	-	0,1	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: LD: Limite de detecção; LQ: Limite de quantificação; MS: Ministério da Saúde; EU: União Europeia; OMS: Organização Mundial de Saúde;

NA: não aprovado

4.5.1 Acefato ($C_4H_{10}NO_3PS$) + Metamidofós

O agrotóxico acefato pertence a classe: inseticida/acaricida grupo químico organofosforado e a classificação toxicológica: é específica para cada produto, conforme Art. 38 da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 294, de 29 de julho de 2019. Mantido com restrições no registro (RDC 45/2013). O limite máximo de resíduos (LMR) em água potável é de ($0,1\mu L^{-1}$) na União Europeia (EU) e no Brasil o limite estabelecido é de $7,0\mu L^{-1}$, setenta (70) vezes maior que o VMP estabelecido pela EU. É o terceiro (3º) agrotóxico mais vendido no Brasil e seu uso está proibido na UE desde 2003.

A *Pestic Action Network* – PAN, uma organização mundial de ação contra os agrotóxicos, disponibiliza uma lista de agrotóxicos detalhando quais os países onde cada um já foi banido. O Acefato já foi proibido em 30 países (AGROTÓXICO MATA - CAMPANHA PERMANENTE CONTRA OS AGROTÓXICOS E PELA VIDA, 2017).

O acefato, devido a neurotoxicidade, suspeita de carcinogenicidade e de toxicidade reprodutiva e necessidade de revisar a ingestão diária aceitável (IDA), foi proibido na Comunidade Europeia e o metamidofós devido à alta toxicidade aguda e neurotoxicidade, foi proibido na Comunidade Europeia, na China e na Índia, no Brasil foi proibido a partir de julho de 2012, para algumas culturas (CARNEIRO *et al*, 2015).

O agrotóxico acefato é sólido (incolor/branco), tem ponto de fusão situado entre 81 e 91°C, e é altamente solúvel em água, acetona e etanol. No ambiente, o mesmo degrada-se em metamidofós, composto organofosforado que também é usado como ingrediente ativo (IA) de produtos inseticidas e acaricidas (ANVISA, 2020). No Anexo I (impurezas relevantes e seus limites máximos toleráveis) da Instrução Normativa Conjunta nº 2/2008 (MAPA), o limite máximo para a impureza metamidofós na formulação do ingrediente ativo (IA) é de $5g.kg^{-1}$.

De acordo com a tabela do (APÊNDICE B), os resultados (em μgL^{-1}) variaram de 0,05 a 11,71 com média de 4,32 para a 1º ciclo de coleta (maio/21), de 7,9 a 572,0 com média

de 77,94 para 2º ciclo de coleta (agosto/21), no 3º ciclo não foi detectado (agosto/21). Para o 4º ciclo de coleta, foi de 0,05 a 150,5 com média de 36,62 (maio/22).

Comparando-se os resultados obtidos com o valor máximo permitido de (VMP=7,0) pela Portaria GM/MS nº 888/2021, observou-se que as amostras 2 = 9,96, 4 = 11,71, 13 = 10,46, 15 = 10,83 e 16 = 9,47 apresentaram-se com os valores acima do VMP, portanto essas amostras não estavam adequadas para o consumo humano.

Os pontos com maior concentração foram 04 para o primeiro ciclo; ponto 21 para o segundo ciclo e o ponto 01 para o quarto ciclo. Os pontos 4 e 21 encontram-se no Pitr, com plantações de coco e bananas respectivamente. O Ponto 01 se trata do açude Curral Velho, localizado no município de Morada Nova, considerado como ponto de controle. O acefato esteve presente em 52,6%, 100% e 95%, no 1º, 2º e 4º ciclo, respectivamente.

No meio ambiente o acefato é classificado como classe II, ou seja, muito perigoso ao meio ambiente, é degradado no período de 1 a 12 semanas, altamente móvel, apresentando alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir principalmente águas subterrâneas. Resíduos e subprodutos em níveis relativamente nocivos para o consumo humano (GRIZA *et al.*, 2008). Apresenta alta solubilidade em água e sofre hidrólise em meio alcalino, seu coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) e o de partição matéria orgânica/água (K_{oc}) indicam que o composto é pouco adsorvido aos colóides do solo, evidenciando alto potencial de lixiviação. Contudo, a meia-vida do composto relatada em literatura é de poucos dias, aumentando com o abaixamento do potencial hidrogeniônico (pH) do solo (MARCHETTI; LUCHINI, 2004). Alta solubilidade em água indica tendência do composto a ser removido do solo. Portanto, composto como o acefato possui maior probabilidade de ser carregado pela chuva ou água de irrigação e atingir os corpos d'água (MILHOME *et al.*, 2009).

4.5.2 Ametrina (C₉H₁₇N₅S)

O agrotóxico ametrina, herbicida, possui classificação toxicológica específica para cada produto, conforme art. 38 da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 294, de 29 de julho de 2019, é muito perigoso ao meio ambiente (classe II). O Contaminante de importância toxicológica para o ingrediente ativo (IA) do agrotóxico ametrina é a N-nitrosaminas, cujo limite é de 0,5 mgL⁻¹ (ANVISA, 2020).

A *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) define impurezas

relevantes de produtos técnicos de agrotóxicos como aquelas que podem “exibir efeitos tóxicos pronunciados quando comparados aos do ingrediente ativo, afetar a fitotoxicidade ou as propriedades físicas das formulações, resultar em resíduos indesejáveis nos alimentos ou causar contaminação ambiental.”

No Anexo I (impurezas relevantes e seus limites máximos toleráveis) e no Anexo II (impurezas toxicologicamente relevantes e seus limites para controle pós-registro) da Instrução Normativa Conjunta nº 2/2008 do MAPA, o limite máximo para a impureza N-nitrosaminas (na forma de N-nitrosoametrina) é de 0,0005 g.Kg⁻¹.

Em função do potencial mutagênico e carcinogênico das nitrosaminas para animais, estima-se que o nível de exposição tolerável pelo homem para as nitrosaminas mais voláteis encontra-se na faixa de 5 a 10 Jlgkg⁻¹ (ppb) de peso corporal. Por esta razão, o limite de detecção mínimo de 10 ppb é um pré-requisito essencial para a determinação desta classe de compostos em amostras ambientais e de alimentos (SANCHES FILHO, 2002).

As N-nitrosaminas possuem conhecidos efeitos carcinogênicos, inclusive na ocorrência de câncer gástrico. Há indícios, ainda sob investigação, de que N-nitrosaminas estejam também associadas ao desenvolvimento do mal de Alzheimer, com resultados mostrando que a exposição a baixos níveis dessas substâncias pode causar degeneração cerebral semelhante a Alzheimer, demência, diabetes, esteatose hepática e obesidade (SANCHES FILHO, 2002).

De acordo com (APÊNDICE B) os resultados em (µg L⁻¹) variaram de <LD a 1,79 com média de 0,41 para a 1ª coleta, de <LD a 0,62 com média de 0,51 para a 2ª coleta, não sendo detectada na 3ª e 4ª coleta. Comparando-se os resultados médios obtidos com o valor máximo permitido de (VMP = 60,0 µg L⁻¹) pela Portaria GM/MS nº 888/2021, observou-se que todas as amostras coletadas nos quatro ciclos de coletas (1º; 2º, 3º e 4º) encontraram-se com os valores abaixo do VMP, portanto essas amostras estavam adequadas para o consumo humano. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA não estabelece valor limite para o agrotóxico ametrina.

No mês de agosto (2ª coleta), período seco, foram obtidos valores mais altos desse herbicida em 88,2% das amostras coletadas, correspondentes às amostras 1=0,53, 4=0,54, 5=0,62, 6=0,52, 7=0,50, 11=0,54, 13=0,50, 14=0,50, 15=0,48, 17=0,49 quando comparados com os valores obtidos para as mesmas amostras no mês de maio (1ª coleta), período chuvoso.

O fato do herbicida ametrina possuir níveis de concentração mais elevados durante

o período seco corrobora com dados da literatura. Segundo Albuquerque Junior; Santos Rodrigues, (2021), este é o período em que se dá o início do plantio da cana-de-açúcar, tendo a aplicação destes herbicidas influência direta na diminuição das ervas daninhas nos locais de cultivo. Casos de contaminação pelo herbicida Ametrina em alguns organismos aquáticos podem provocar ataxia, dispneia, fraqueza muscular e perda de fluxo (SOLONESKI; LARRAMENDY, 2011).

Dentro desta classe, os herbicidas do Grupo das Triazinas é o maior, compreendendo cerca de 30% da produção mundial de herbicidas. Eles são utilizados no controle pré e pós-emergente de ervas daninhas nas mais variadas culturas, desde a década de 50. É um herbicida sistêmico amplamente empregado em culturas de abacaxi, banana, café, cana-de-açúcar, citros, milho, dentre outros cultivos. Seus resíduos e metabólitos têm sido encontrados em águas subterrâneas mesmo depois de longos períodos após sua aplicação. O agrotóxico ametrina é muito tóxico e pode trazer sérios prejuízos à saúde e ao ambiente, pois possui alta mobilidade e resistência na água e no solo (CABRAL *et al.*, 2003). Sendo que para o solo, conhecidamente, apresenta uma resistência de até 6 a 11 meses (PRATA *et al.*, 2001), especialmente em solos com grande teor de argila e de matéria orgânica. No caso do Brasil, a persistência nos solos é entendida como alta ou média, dependendo do tipo de solo e da adição de substrato orgânico (COSTA, MONTEIRO & TORNISIELO, 2000). Metabólitos da molécula do herbicida podem ser encontrados em água subterrâneas, mesmo longos períodos após sua aplicação no solo (CABRAL *et al.*, 2003).

4.5.3 Aldicarbe+Aldicarbe sulfóxido (C₇H₁₄N₂O₂S)

O agrotóxico aldicarbe pertence a Classe Inseticida, acaricida e nematicida e Grupo químico metilcarbonato de oxima. Proibido na UE, no Brasil está banido desde 2012, no entanto segue sendo vendido ilegalmente. No documento de banimento, a ANVISA declarou que o aldicarbe havia se tornado um “grave problema de saúde pública, de amplitude nacional, dada a facilidade que se tem a seu acesso, particularmente nos centros urbanos”.

De acordo com a tabela os resultados (em µgL⁻¹) variaram de <LD a 6,79 com média de 1,34 para a 1ª coleta, não foi detectado na 2ª e na 3ª coleta. Na 4ª coleta variam de <LD a 210,8, com média de 153,44. No 1º ciclo de coleta a substância esteve acima do VMP em quatro amostras. No 4º ciclo esteve presente em 95,8% das amostras analisadas, com valores

muito acima do VMP estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Agrotóxico de alta toxicidade, praguicida, também usado ilegalmente para a produção de raticida. É responsável por milhares de envenenamentos e mortes de pessoas e de animais domésticos e silvestres, além da contaminação do solo, de alimentos, rios e lençóis freáticos. O agrotóxico aldicarb é um praguicida sintético solúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos, estável em condições ácidas, degradável em meios alcalinos concentrados, não inflamável e não corrosivo (RAGOUCY-SEGLER *et al.*, 2000). Além disso, é relativamente persistente no ambiente, com meia-vida variando de 9 a 60 dias, dependendo do tipo de solo e das condições climáticas. Todavia, há relatos da presença de resíduos 100 a 400 dias após a sua aplicação (MOTAS-GUZMÁN, 2003). O aldicarb é usado diretamente no solo e, após a aplicação, é absorvido pela raiz e distribuído por todo vegetal, de forma que a simples lavagem da planta não é suficiente para eliminar o praguicida. Assim, o consumo de certos produtos inadequadamente tratados pode resultar em exposição ao aldicarb, podendo ainda haver a contaminação de águas subterrâneas (FARLEY; MCFARLAND, 1999).

4.5.4 Dimetoato (C₅H₁₂NO₃PS₂)

O agrotóxico Dimetoato pertence à classe inseticida/acaricida, ao grupo químico organofosforado e, a classificação toxicológica é classe II. Os limites máximos de resíduos (LMRs) referem-se à soma de dimetoato e ometoato expresso como dimetoato.

É uma substância do grupo dos organofosforados, muito perigosa ao meio ambiente, altamente móvel, apresentando alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir as águas subterrâneas (LIMA; SOUZA; FIGUEIREDO, 2007).

O dimetoato é um inseticida organofosforado. É altamente solúvel em água, tem baixo potencial de lixiviação em águas subterrâneas e é volátil. Não é persistente no solo, móvel, mas normalmente não persiste em sistemas aquáticos aeróbicos. É moderadamente tóxico para mamíferos, mas pode ter sérias implicações para a saúde humana, pois é um inibidor da acetilcolinesterase e pode causar efeitos na reprodução ou no desenvolvimento. É altamente tóxico para pássaros e abelhas, moderadamente tóxico para a maioria das espécies aquáticas e minhocas (LEWIS *et al.*, 2016). De acordo com (APÊNDICE B), os resultados (em µgL⁻¹), o dimetoato foi detectado apenas nas amostras do 1º ciclo. Os resultados variaram de <LD a 1,74, presente em 21,5% das amostras. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA e a Portaria GM/MS

nº 888/2021 não estabelecem VMP para o dimetoato.

Os maiores valores no período chuvoso podem ser atribuídos, principalmente, a lixiviação do solo e ao escoamento pelas águas da chuva, provavelmente por causa do caráter hidrofóbico (substância que não absorve ou não adsorve água) do dimetoato, o que aumenta a sua afinidade com a matéria orgânica presente nos solos. Porém, os resultados médios obtidos mostraram pouco potencial de contaminação da água subterrânea por essa substância.

4.5.5 Imidacloprido ($C_9H_{10}ClN_5O_2$)

O agrotóxico Imidacloprido pertence a Classe Inseticida, Grupo químico Neonicotinoide e tem classificação toxicológica específica para cada produto, conforme Art. 38 da Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 294, de 29 de julho de 2019. O imidacloprido é o 9º ingrediente ativo (IA) mais vendido no país (IBAMA, 2020).

O imidaclopride é um inseticida neonicotinóide. É altamente solúvel, não volátil e persistente no solo. É moderadamente móvel. Tem baixo risco de bioacumulação. É altamente tóxico para pássaros e abelhas. Moderadamente tóxico para mamíferos e minhocas. Não é tóxico para os peixes. Inseticida cloronicotina usados para controlar insetos sugadores e de solo. O mesmo também é usado no tratamento de pulgas para animais domésticos (LEWIS *et al*, 2016).

De acordo com o (APÊNDICE B) os resultados (em μgL^{-1}) variaram de <LD a 1,89, para a 1º coleta, na 2º coleta variaram de <LD a 8,50, na 3º coleta não foi detectado, e na 4ª coleta variaram de 0,1 a 8,50. A substância esteve presente em 21,04%, 4,76% e 8,33% no 1º, 2º e 4º ciclo, respectivamente. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA e a Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelecem VMP para o imidacloprido.

Em 2013, a Comissão Europeia restringiu severamente o uso de alguns produtos, entre eles os quais destaca o imidacloprido. O processo de revisão do imidacloprido ainda está em curso na Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA). Do mesmo modo que no Brasil, a avaliação preliminar realizada pela US-EPA identificou a necessidade de dados adicionais para suportar as demais fases da avaliação de risco, de forma que muitos desses dados foram submetidos em 2017.

4.5.6 Permetrina ($C_{21}H_{20}Cl_2O_3$)

O agrotóxico permetrina pertence a Classe inseticida/formicida, Grupo químico Organoclorado/Piretróide e Classificação toxicológica na classe III. A permetrina é um inseticida de contato. Não é altamente solúvel em água, tem uma baixa volatilidade e normalmente não se espera lixiviar para as águas subterrâneas. Também não se espera que persista no solo ou nos sistemas hídricos. É moderadamente tóxico para humanos, é irritante e pode ser um tóxico para o sistema nervoso central (SNC). É altamente tóxico para a maioria das espécies aquáticas e abelhas, mas não é altamente tóxico para pássaros ou minhocas. Problemas gerais de saúde humana: cancerígeno do Grupo 3 da IARC; USEPA - provável carcinógeno humano. Problemas endócrinos, inibição da proliferação de células sensíveis ao estrogênio Classificação da OMS II (Moderadamente perigoso) (LEWIS *et al.*, 2016).

De acordo com o (APÊNDICE B), os resultados (em μgL^{-1}) variaram de <LD a 0,66 com média de 0,12 para a 1ª coleta e não foi detectado na 2ª, 3ª e 4ª coleta. Comparando-se os resultados obtidos com o VMP=10,0 pela Resolução nº 396/2008, observou-se que todas as amostras encontraram com os valores abaixo do permitido. A Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelece VMP para o agrotóxico permetrina. A substância esteve presente em 5,5% das amostras analisadas.

4.5.7 Tebuconazol ($C_{16}H_{22}ClN_3O$)

O agrotóxico tebuconazol pertence a classe fungicida, grupo químico Triazol e classificação toxicológica específica para cada produto, conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, art. 38 da Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 294, de 29 de julho de 2019.

O tebuconazol, do grupo químico triazol (classe IV), é um agrotóxico fungicida que provoca alteração na síntese de hormônios, na função reprodutiva de ratos, causando a feminilização dos machos expostos durante a gestação e lactação (TAXVIG *et al.*, 2007) e durante o desenvolvimento neuronal (MCDANIEL; MOSER, 1993). Sua ampla utilização em vários países se dá por atuar no controle de um grande número de doenças fúngicas. (TRENTO, 2017). Sua ingestão diária aceitável (IDA) foi determinada pelo FAO/WHO na quantidade de 0,02mg/kg, contudo, de acordo com a ANVISA, a IDA para esse princípio ativo foi estipulada a 0,03 mg/kg. Apesar de ser considerado seguro para humanos dentro dessas condições de baixo

consumo, tem-se uma preocupação quanto ao uso desse agrotóxico já que foi reportada a sua capacidade em causar malformações em células animais, tanto *in vivo* quanto *in vitro* (TRENTO, 2017).

De acordo com seu potencial de periculosidade ambiental, o tebuconazol enquadra-se na classe II, sendo considerado perigoso ao meio ambiente e altamente tóxico para organismos aquáticos, visto que, nos últimos anos, a concentração de tebuconazol tem aumentado em águas correntes e detectadas concentrações de 175-200 (μgL^{-1}) em águas superficiais (CASTRO, 2016).

De acordo com os resultados (APENDICE B) (em μgL^{-1}), variaram de <LD a 3,54, presente em 5,26% das amostras, para a 1ª coleta, na 2ª, 3ª e 4ª coleta não foi detectado. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA não estabelece VMP para essa substância e a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece VMP de 180 μgL^{-1} para o agrotóxico tecubonazol.

4.5.8 Carbofurano ($\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{NO}_3$)

Proibido no Brasil desde 2017, o Carbofurano é inseticida e nematicida, moderadamente solúvel em água, relativamente volátil e, com base em suas propriedades químicas, têm alto potencial de lixiviação para águas subterrâneas. Não é persistente no solo, mas pode persistir na água sob algumas condições. Apresenta alta toxicidade para mamíferos e baixo potencial de bioacumulação, é um desregulador endócrino e um provável intoxicante de reprodução/desenvolvimento, é altamente tóxico para pássaros e abelhas, embora tenha uma toxicidade moderada a alta para a maioria dos organismos aquáticos, (LEWIS *et al*, 2016). O carbofurano é extremamente tóxico diante do contato pelas vias oral e inalatória.

As manifestações clínicas da exposição ao carbofurano são consequentes à toxicidade do ingrediente ativo ao sistema nervoso central e periférico, originado da superestimulação dos receptores muscarínicos e nicotínicos (ANVISA; FIOCRUZ, 2017).

Com base na tabela os resultados (APENDICE B) resultados em (μgL^{-1}) nas amostras de águas coletadas nos 1º, 2º e 3º ciclos o ingrediente ativo carbofurano não foi detectado. No 4º ciclo, das 24 amostras de águas coletadas a substância esteve presente em 29,66%. Para as amostras 2=12,50; 5=13,52; 7=15,39; 9=12,52; 10=11,48 e 11=11,64 os valores das concentrações foram detectadas acima do VMP estabelecido pelas legislações vigentes. A Portaria GM/MS nº 888/2021e e a Resolução nº 396/2008 do CONAMA

estabelecem o mesmo VMP de $7,0\mu\text{gL}^{-1}$ para o agrotóxico carbofurano.

4.5.9 Malathion ($\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_6\text{PS}_2$)

O ingrediente ativo Malathion pertence ao grupo químico organofosforado, classe inseticida e acaricida, com classificação toxicológica específica para cada produto, conforme Art. 38 da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 294, de 29 de julho de 2019.

O Malathion é um inseticida de amplo espectro. É moderadamente solúvel em água e facilmente solúvel em muitos solventes orgânicos. É bastante volátil e tem um baixo potencial de lixiviação para as águas subterrâneas. Geralmente não é persistente no solo ou nos sistemas aquáticos. É moderadamente tóxico para mamíferos, um inibidor da colinesterase, enzima que indica a relação entre a exposição à agrotóxicos no sangue e problemas de saúde, e uma neurotoxina, componente que interfere no funcionamento normal do sistema nervoso. Malathion é altamente tóxico para abelhas e espécies aquáticas, com exceção de algas. É moderadamente tóxico para pássaros e minhocas (LEWIS *et al.*, 2016)

Segundo a plataforma do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019), Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT), o ingrediente ativo Malathion tem Classificação toxicológica: III - medianamente tóxico e Classificação do potencial de periculosidade ambiental: II - muito perigoso ao meio ambiente.

Na lista das *Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans do International Agency for Research on Cancer* (IARC) o Malathion está classificado no grupo 2A: o agente é provavelmente carcinogênico para humanos (IARC, 2017).

Com base no (APÊNDICE B), nos resultados (em μgL^{-1}) das amostras de águas coletadas nos 1º, 2º, 3º ciclos, o ingrediente ativo Malathion não foi detectado. No 4º ciclo das 23 amostras de águas coletadas, a substância esteve presente em 12,5%. Para as amostras 3=3,50; 10=6,20 e 23=5,53, os valores das concentrações foram detectados abaixo dos VMPs estabelecidos pelas legislações vigentes, portanto essas águas estavam próprias para o consumo humano. A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece o VMP de $60,0\mu\text{gL}^{-1}$ e a Resolução nº 396/2008 do CONAMA estabelece o VMP de $190,0\mu\text{gL}^{-1}$.

4.5.10 Classificação toxicológica e ambiental dos agrotóxicos presentes na pesquisa

O Quadro 12 apresenta a classificação toxicológica e ambiental dos agrotóxicos

pesquisados. Foram acrescentadas, algumas classificações como da OMS para classificação toxicológica da substância dimeotado bem como a classificação do IUPAC.

A classificação toxicológica diz respeito unicamente a quem manuseia o produto, havendo exposição única, sendo importante como medida de segurança para quem trabalha na produção, na embalagem, no armazenamento, no transporte e no preparo da calda do agrotóxico e da sua aplicação (CARVALHO; PIVOTO, 2011)

Quadro 12 – Classificação toxicológica e ambiental dos agrotóxicos encontrados na pesquisa.

AGROTÓXICOS – CARACTERÍSTICAS				
Composto	Classe	GQ	CT	PPA
Acefato + metamidofos	I/A	Organofosforado	III(ANVISA) III(IUPAC)	II -
Ametrina	H	Triazina	III (ANVISA) III(IUPAC)	II
Aldicarbe+Aldicarb e sulfoxido	I/N	Carbamato	<u>PROIBIDO EM 2012</u>	
Carbofurano	I/N	Metilcarbamato de benzofuranila	<u>PROIBIDO EM 2017</u>	
Dimetoato	I/A/M	Organofosforado	II (OMS) II (ANVISA)	II
Imidacloprido	I	Neonicotinoide	II (ANVISA) III(IUPAC)	III
Malathion	I/A	Organofosforado	Específica para cada produto (ANVISA)	III
			(IUPAC)	II
Permetrina	I	Piretróide	Específica para cada produto (ANVISA)	III
			(IUPAC)	II
Tebuconazol	F	Triazol	(ANVISA)	III
			(IUPAC)	II

Fonte: Adaptado ANVISA (2019); IUPAC (2022).

Legenda: GQ: Grupo químico; CT: Classificação toxicológica; PPA: Potencial de periculosidade ambiental; I: Inseticida; A: Acariacida; H: Herbicida; N: Nematicida; M: Metabólico; F: Fungicida; IUPAC: *International Union of Pure and Applied Chemistry*; ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

4.5.11 Estatística descritiva dos resultados das amostras de agrotóxicos

Para realização da estatística descritiva foram usados os somatórios dos resultados totais das amostras nos ciclos observados na Tabela 12. As maiores médias encontradas foram no 2º Ciclo com 79,16 µg/L e no 4º Ciclo com 195,42 µg/L e esses valores se referem ao acefato e ao aldicabe, respectivamente. A União Europeia restringe a mistura de substâncias em um limite máximo permitido de 0,5 µg/L em cada litro de água, somando todos os agrotóxicos encontrados na amostra. No Brasil os limites são estabelecidos por substâncias, ou seja, por limites individuais.

Um coquetel que mistura diferentes agrotóxicos foi encontrado na água de uma em cada quatro cidades do Brasil entre 2014 e 2017. Nesse período, as empresas de abastecimento de 1.396 municípios detectaram todos os 27 pesticidas que são obrigados por lei a testar dos quais, 16 foram classificados pela ANVISA como extremamente ou altamente tóxicos e 11 foram associados ao desenvolvimento de doenças crônicas como câncer, malformação fetal, disfunções hormonais e reprodutivas. Entre os locais com contaminação múltipla estão as capitais São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza, Manaus, Curitiba, Porto Alegre, Campo Grande, Cuiabá, Florianópolis e Palmas (ARANHA; ROCHA; REPÓRTER BRASIL, 2019).

Tabela 12 – Estatística descritiva dos ciclos de coletas dos agrotóxicos

Estatística descritiva (µg/L)	CICLOS			
	Mai/21	Ago/21	Nov/21	Mai/22
Número de medidas	19	21	21	23
Valor Médio	7,19	79,16	0,56	195,42
Valor Mínimo	0,56	8,69	0,56	150,42
Valor Máximo	21,01	572,82	0,56	262,46
Desvio Padrão	7,28	115,32	0,00	30,49
Coefficiente de Variação	101,34%	145,69%	0,00%	15,60%
Mediana	7,03	53,23	0,56	188,61
UNIÃO EUROPEIA (0,5 µg/L/amostra)	14,06	106,46	1,12	377,22

Fonte: Elaborada pela autora.

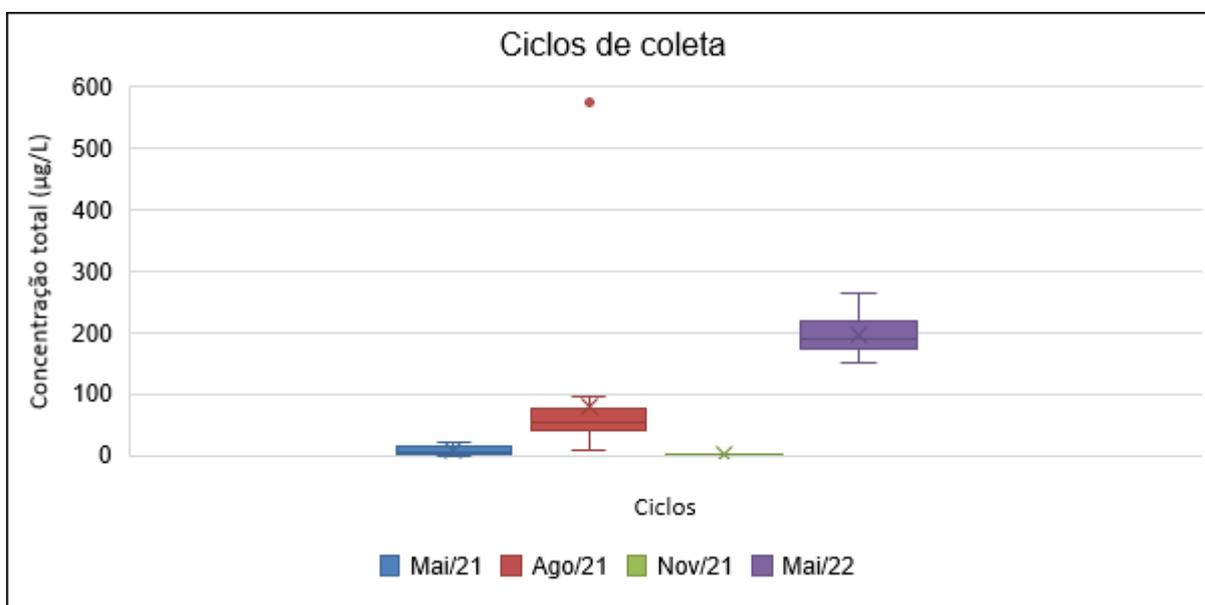
Nas coletas do 3º ciclo não foi detectada nenhuma substância nas amostras. Isso se deve, possivelmente, pela falta das condições ambientais, período chuvoso, carreamento das substâncias, pH favorável e período de aplicação dos produtos nos cultivos

Para confecção dos *boxplot* foram usados os valores das medianas, tendo em vista os valores de alguns *outliers* nas amostras. A Gráfico 25 mostra o *boxplot* dos 4 ciclos, com um *outliers* de 572,52 µg/L do acefato no 2º ciclo.

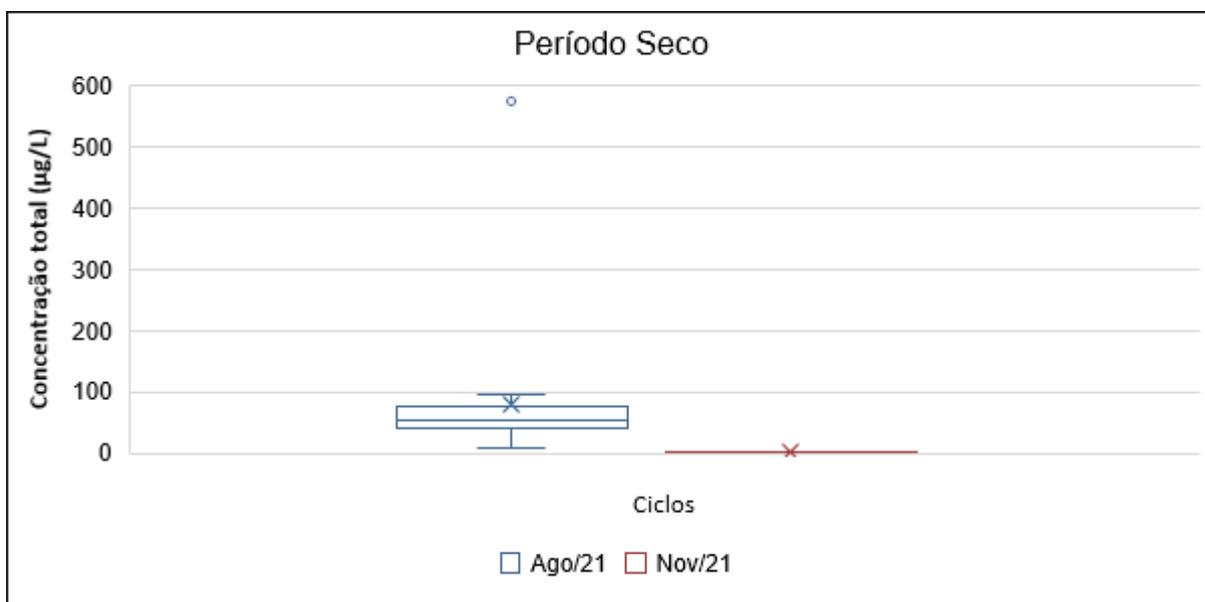
Para uma melhor identificação dos resultados foram confeccionados os *boxplots* para o período chuvoso, ciclos 1 e 4, e período seco, ciclos 2 e 3, Gráfico 26 e 27 respectivamente. Para o período considerado seco, agosto/21 e nov/21, fica evidente que as condições climáticas são fatores fundamentais para a presença de substâncias nas águas.

No período chuvoso, maio/21 e maio/22, a presença de agrotóxicos na água é mais evidente. As substâncias acefato e aldicarbe são as que apresentam maiores valores. As maiores concentrações dessas substâncias estão presentes nos lotes de cultivos do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas (APÊNDICE C).

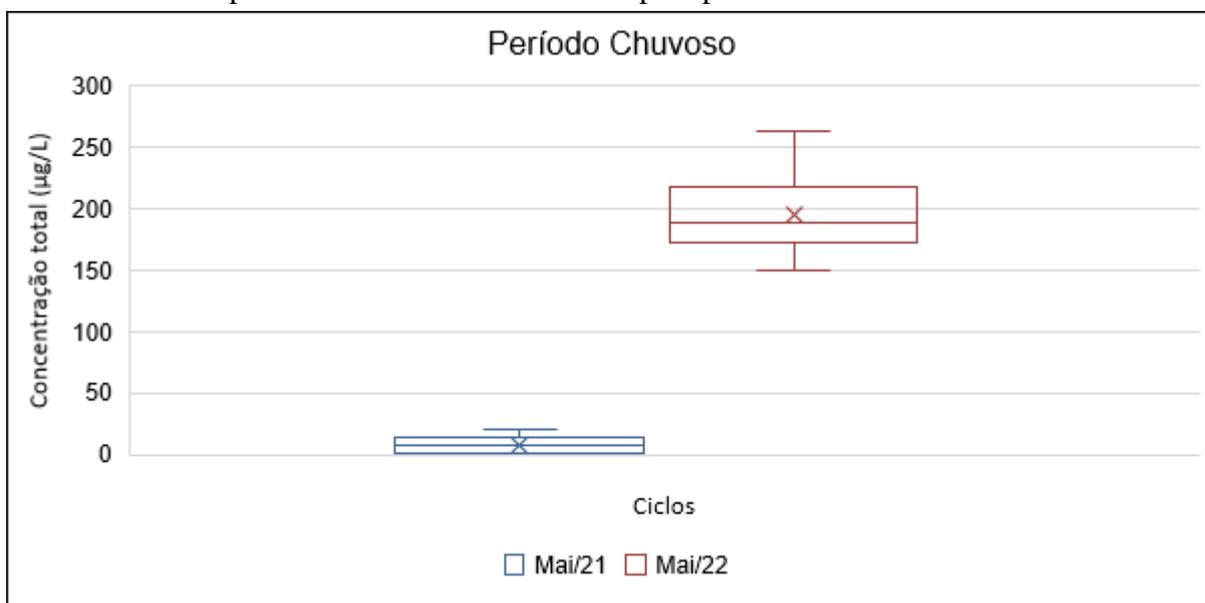
Gráfico 25 – *Boxplot* dos resultados das análises para os quatro ciclos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 26 – *Boxplot* dos resultados das análises para período seco.

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 27 – *Boxplot* dos resultados das análises para período chuvoso.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o município de Russas, foram detectados na água de abastecimento 11 substâncias associadas a doenças crônicas como câncer, defeitos congênitos e distúrbios endócrinos entre os anos de 2014 e 2017: alaclor, atrazina, carbendazim, clordano, DDT + DDD + DDE, diuron, glifosato, lindano, maconzebe, permetrina e trifluralina. Os demais agrotóxicos

detectados foram: 2,4 + 2,4.5T, aldicarbe, aldrin, carbofurano, clorpirifós, endolssulfan, endrin, metamidafós, metolacloro, molinato, parationa metílica, pendimentalina, profenofós, simazina, tebuconazol e terbufós. Foi ainda detectado em concentração acima do limite considerado seguro no Brasil o agrotóxico aldicarbe, proibido pela UE, conhecido popularmente como chumbinho, que se encontra na lista da *Pesticide Action Network* (PAN) classificado e avaliado como altamente perigoso. O aldicarbe é classificado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como extremamente perigoso (*Extremely Harzadous*) do ponto de vista agudo, exemplo da situação crítica da qualidade da água (ARANHA; ROCHA; REPÓRTER BRASIL, 2019).

Gama (2018) em sua pesquisa identificou vários agrotóxicos em sedimentos ao longo do Rio Jaguaribe dos quais estão correlacionados com essa pesquisa, como as substâncias ametrina e imidacloprido.

4.5.11.1 Coquetel de agrotóxicos no município de Russas

A Tabela 13 mostra o somatório das substâncias de agrotóxicos identificadas para cada ciclo de coleta. Para o 1º Ciclo, maio/21, o maior valor encontrado foi de 20,11 µg/L, no ponto 2 localizado no canal de irrigação no município de Limoeiro do Norte, no qual há um uso intensivo de agrotóxicos. Para o 2º Ciclo, agosto/21, o maior valor encontrado foi de 572,82 µg/L no ponto 22, ETTA CAGECE – São João de Deus, encontra-se nas aluviões, com permeabilidade favorável ao lixiviamento de substâncias, o que pode ter contribuído para uma maior concentração de agrotóxicos. No terceiro ciclo, novembro/21, não foi detectado nenhuma substância, e no 4º ciclo, maio/22, o maior valor encontrado foi 262,46 µg/L no ponto 24, localizado também no município de Limoeiro do Norte. Comparando os limites estabelecidos pelo Brasil e os demais limites de outras Instituições, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e União Europeia (UE), percebe-se que a legislação Brasileira estabelece limites bem acima do que os permitidos por outras legislações. As recomendações têm a União Europeia como referência. Partindo do princípio de que a água não deveria ter agrotóxicos, o bloco tem os parâmetros mais rígidos do mundo. Além de baixos limites individuais para o volume de cada ingrediente na água (máximo de 0,1 micrograma por litro), há também um limite máximo para a soma de diferentes substâncias (0,5 microgramas por litro) (ARANHA; ROCHA; REPÓRTER BRASIL, 2019).

Tabela 13 – Resultados dos somatórios para substâncias nos quatro ciclos de coleta dos agrotóxicos.

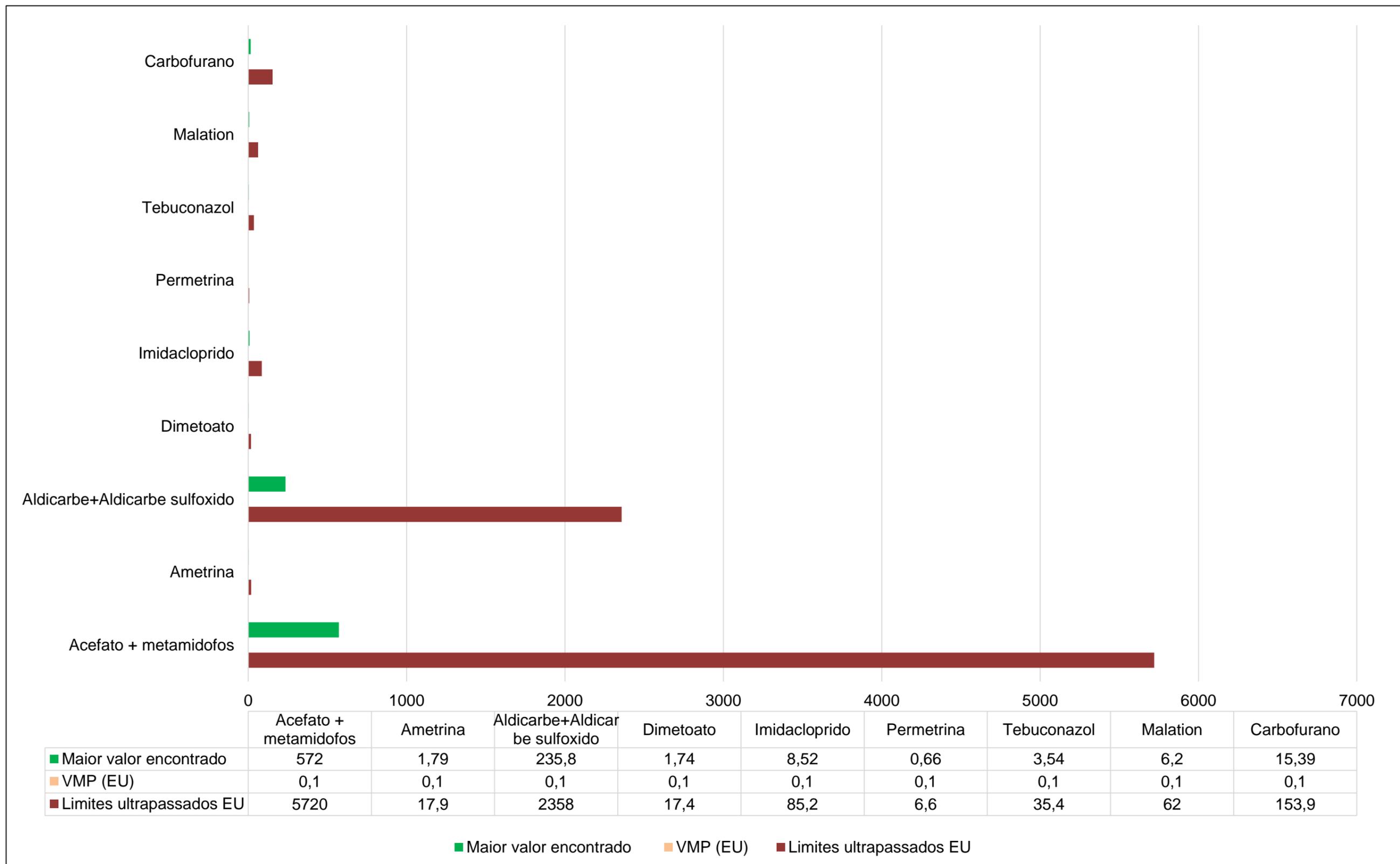
Identificação das Amostras	Ciclo (µg/L)			
	Mai/21	Ago/21	Nov/21	Mai/22
1	0,56	40,64	0,56	150,96
2	20,11	50,13	0,56	232,71
3	0,56	41,44	0,56	188,61
4	13,91	28,45	0,56	184,04
5	1,12	29,53	0,56	172,83
6	0,56	53,23	0,56	239,8
7	0,56	59,11	0,56	206,28
9	7,03	63,78	0,56	203,16
10	14,14	8,69	0,56	169,24
11	3,25	17,61	0,56	167,45
12	7,18	80,85	0,56	175,76
13	7,94	74,1	0,56	174,26
14	10,97	73,31	0,56	180,56
15	0,56	47,61	0,56	159,06
16	18,53	83,79	0,56	175,96
17	21,01	48,46	0,56	214,56
18	0,56	59,9	0,56	150,42
19	0,56	51,13	0,56	226,66
20	7,46	94,76	0,56	218,01
21	NC	82,92	0,56	215,66
22		572,82	0,56	230,66
23	NC	NC	NC	195,47
24	NC	NC	NC	262,46

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: NC: Não coletado

A pesquisadora Larissa Mies Bombardi, da Universidade de São Paulo, revelou o abismo que existe entre a legislação brasileira e a União Europeia sobre o limite aceitável de resíduos na água e nos alimentos. A contaminação da água é o que mais chamou a atenção, com a lei brasileira permitindo limite 5 mil vezes superior ao máximo que é permitido na água potável da Europa (BOMBARDI, 2017). Baseado no modelo de Bombardi (2017), foi realizado gráfico (Gráfico 28) com os maiores valores individuais das 9 (nove) substâncias encontradas nas águas analisadas do município de Russas. Comparando com os limites da UE (0,1µg/L), o acefato apresenta 5.720 vezes maior e o aldicarbe 2.358 vezes maior que o limite estabelecido.

Gráfico 28 – Maiores valores dos resultados dos agrotóxicos comparados com os limites da União Europeia no município de Russas - CE.



Fonte: Elaborado pela autora

4.5.12 Nível de exposição humana aos agrotóxicos pesquisados

O uso intensivo de agrotóxicos no Brasil tem suscitado a preocupação de diversos setores, face aos riscos potenciais que essas substâncias trazem ao ambiente e aos seres humanos. O estabelecimento do padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde é conduzido a partir da avaliação quantitativa do risco. O VMP para cada substância é, geralmente, estabelecido a partir de evidências toxicológicas ou epidemiológicas. A água destinada ao consumo humano pode ser uma importante forma de exposição, portanto, é importante avaliar a ingestão de resíduos de agrotóxicos pelo consumo de águas subterrâneas, em amostras de águas com base na Ingestão Diária Aceitável (IDA).

É preciso considerar que os efeitos à saúde, decorrentes da ingestão de substâncias químicas via consumo de água, são crônicos, isto é, são sentidos como efeito de exposição prolongada (vários anos, ou décadas) à determinada dose, em geral baixas. É preciso, ainda, ponderar que os efeitos à saúde associados a várias substâncias químicas são ainda desconhecidas ou cercados de incertezas (MARQUES; SILVA, 2021)

A garantia de alimentos livres de resíduos integra o direito humano à alimentação adequada, reforçando a necessidade de rigoroso monitoramento de resíduos de agrotóxicos, considerado importante para um programa nacional de segurança alimentar e nutricional (MARQUES; SILVA, 2021).

A Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, estabelece os VMPs na qual contempla 40 agrotóxicos que devem ser monitorados na água potável.

Conforme Souza (2000), a determinação dos efeitos do consumo da água contaminada envolve a consideração da concentração (ou dose) do agrotóxico e a duração da exposição, levando em conta a resposta dos organismos podendo ser diferentemente tóxicas a vários organismos. O valor da Ingestão Diária Aceitável (IDA) pode ser usado como parâmetro para avaliar o nível de exposição ao pesticida, ao ser ingerido na água contaminada.

A avaliação do risco também pode considerar outras fontes de exposição a um agrotóxico, como a ocupacional, residencial e água potável, além das vias dérmica e inalatória (WHO, 1997; WHO).

Os agrotóxicos encontrados na pesquisa foram: o Acetato, Aldicarbe, Ametrina, Carbofurano, Diometoato, Imidacloprido, Malation, Permetrina e Tebuconazol. As observações tiveram como referência o Índice Monográfico da ANVISA. A Tabela 14 mostra os valores dos níveis aceitáveis para exposição humana.

As estimativas de exposição aos agrotóxicos, que foram detectados nas águas coletadas no município de Russas, pelo consumo de água e o impacto desta exposição na Ingestão Diária Aceitável (IDA) foram elaboradas baseadas no modelo de Pires (2013), no qual foram consideradas variáveis descritas no trabalho do autor. Foi considerado como concentração de resíduo de agrotóxico na água o VMP estabelecido pela Portaria nº 888/2021, consumo de 2 litros diários (WHO, 2002) e o peso corpóreo médio nacional de 58,34 kg conforme Pesquisa Nacional de Orçamentos Familiares (POF, 2008-2009).

Tabela 14 – Nível de exposição humana dos agrotóxicos detectados.

NÍVEIS ACEITÁVEIS						IDA
Composto	Classe	GQ	LD ₅₀ oral agudo (mg kg ⁻¹)	Dérmico LD ₅₀ (mg kg ⁻¹ peso corporal)	Inalação LC ₅₀ (mg l ⁻¹)	
Acefato + metamidofos	I/A	Organofosforado	945	10000	15,0	0,0012
Ametrina	H	Triazina	1009	2020	>5,03	0,072
Aldicarbe+Aldicarbe sulfoxido	I/N	Carbamato	0,93	20	0,004	0,003
Carbofurano	I/N	Carbamato	7	10000	0,05	0,00015
Dimetoato	I/A/M	Organofosforado	245	2000	1,68	0,002
Imidacloprido	I	Neonicotinoide	131	5000	>0,069	0,05
Malation	I	Organofosforado	1778	2000	>5	0,3
Permetrina	I	Piretróide	>430	2000	>0,685	0,05
Tebuconazol	F	Triazol	1700	2000	>5,09	0,03

Fonte: IUPAC (2022); ANVISA (2022)

Legenda: GQ: Grupo químico; I: Inseticida; A: Acariacida; H: Herbicida; N: Nematicida; M: Metabólico; F: Fungicida; IDA=Dose diária aceitável(mg/kg/dia).

Observa-se na Tabela 15 que o consumo de água potável pode representar uma exposição crônica da IDA de até 159,98% para o carbofurano 20,57% para o Tebuconazol e 20,0% para a Ametrina. O Cálculo é realizado conforme Equação 2.

$$IDA (\%) = \text{Ingestão per capita} \times \frac{100}{IDA} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Ingestão per capita = VMP (mgL^{-1}) x 2 litros

IDA= ANVISA

Tabela 15 – Ingestão Diária Aceitável (IDA) dos agrotóxicos detectados.

Agrotóxicos	VMP (mgL^{-1})	Ingestão per capita/dia (mg)	Ingestão diária	IDA	%IDA
			(mgkg^{-1})	(mgkg^{-1})	
Acefato	0,007	0,014	0,00024	0,0012	20,00
Aldicarbe	0,01	0,02	0,000343	0,003	11,43
Ametrina	0,06	0,12	0,002057	0,072	2,86
Dimetoato	0,0012	0,0024	4,11E-05	0,002	2,06
Tebuconazol	0,18	0,36	0,006171	0,03	20,57
Carbofurano	0,007	0,014	0,000239973	0,00015	159,98
Malation	0,06	0,12	0,002057	0,3	0,69
Permetina	0,02	0,04	0,000685636	0,05	1,37

Fonte: Elaborada pela autora.

Na Tabela 16, os valores máximos encontrados na pesquisa dos agrotóxicos acefato, aldicarbe e carbofurano foram substituídos pelos VMP, como exemplo o cálculo de percentual do IDA. Os resultados mostraram valores bem superiores ao estabelecido pela ANVISA para ambas as substâncias e apresentam estimativas de exposição aos agrotóxicos preocupantes em função dos efeitos do consumo da água contaminada, a qual a população do município de Russas é exposta. Os resultados encontrados foram 1.634,10% e 268,54% e 17,48%, respectivamente.

Tabela 16 – Exemplo do impacto da exposição crônica na IDA considerando a concentração detectada do acefato e aldicarbe.

Agrotóxicos	Concentração detectada (mgL^{-1})	Ingestão per capita/dia (mg)	Ingestão diária	IDA	%IDA
			(mgkg^{-1})	(mgkg^{-1})	
Acefato	0,572	1,144	0,019609	0,0012	1.634,10
Aldicarbe	0,235	0,470	0,008056	0,003	268,54
Carbofurano	0,0153	0,0306	0,000524511	0,003	17,48

Fonte: Elaborada pela autora.

O acefato é o quinto agrotóxico mais vendido no Brasil (IBAMA, 2020), já proibido na UE, a substância apresenta potencial carcinogênico (BOMBARDI, 2017). O agrotóxico aldicarbe apresenta alta toxicidade, amplamente utilizado de forma ilegal, foi banido do mercado brasileiro, no mês de outubro de 2012. Estimativas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) apontam que o produto é responsável por quase 60% dos oito mil casos de intoxicação relacionados a chumbinho. Os motivos do banimento do aldicarbe do mercado nacional estão relacionados à alta incidência de intoxicações humanas e de envenenamento de animais, devido ao desvio de uso do referido agrotóxico (ANVISA, 2022).

O nível de exposição segura é, então, a dose abaixo da qual as pessoas poderiam estar expostas sem que ocorressem danos à saúde, o que é comumente chamado de IDA ou ingestão diária tolerável (IDT). A IDA ou IDT é uma estimativa da quantidade de determinada substância presente nos alimentos ou na água potável, expressa em função da massa corporal (mgkg^{-1} ou μgkg^{-1}), que se pode ingerir, diariamente, ao longo de toda a vida sem risco considerável para a saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

O Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) foi criado em 2001 com objetivo de avaliar continuamente a presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos. No entanto, desde 2020, as coletas foram suspensas devido à pandemia de Covid-19 (ROHDEN, 2022). Conforme Pires (2013), no Brasil os LMRs são considerados seguros para a saúde do consumidor quando a IDMT não ultrapassa a IDA. Quando tal parâmetro de segurança é extrapolado, recomenda-se o refinamento da avaliação da exposição.

O cálculo da exposição crônica, com base na IDA e IDMT, foi realizado de acordo com o trabalho elaborado por (PIRES 2013), considerando-se 60kg de massa corporal (mc), consumo diário de 2L de água e percentual do VMP atribuído ao consumo de água. Foram usados os agrotóxicos acefato, aldicarbe, ametrina, dimetoato, imidacloprido, permetrina, tebuconazol, carbofurano e malation que apresentam IDA informados nas monografias da ANVISA, para estimar a IDMT. A caracterização do risco foi feita comparando-se a IDTM com a IDA (Tabela 17) (Equação 3).

$$IDMT/IDA (\%) = IDMT \times 100/IDA \times \text{peso corpóreo} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$$IDMT = VMP (\text{mgL}^{-1}) \times 2L$$

$$IDA = IDT (\text{ANVISA}) \times 60 (\text{peso})$$

Tabela 17 – IDMT/IDT das amostras de águas coletadas nos 1º, 2º, 3º e 4º ciclos de coleta.

Agrotóxicos	VMP (mgL⁻¹)	IDT ANVISA (mgKg⁻¹mc)	IDT adulto (mg/dia)	IDMT (mg/dia)	IDMT/IDT (%)
Acefato	0,007	0,0012	0,072	0,014	19,44
Aldicarbe	0,01	0,003	0,18	0,02	11,11
Ametrina	0,06	0,072	4,32	0,12	2,78
Dimetoato	0,0012	0,002	0,12	0,0024	2,00
Permetrina	0,02	0,05	3	0,04	1,333
Tebuconazol	0,18	0,03	1,8	0,36	20,00
Carbofurano	0,007	0,00015	0,009	0,014	155,56
Malation	0,06	0,3	18	0,12	0,67

Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme resultados apresentados no cálculo do IDMT/IDT, o agrotóxico carbofurano extrapolou 155,56% da IDA configurando risco de exposição crônica de intoxicação por conta da presença da substância na água.

A exposição crônica aos resíduos dos agrotóxicos organofosforados e carbamatos, categorias em que a maior parte dos agrotóxicos que excederam a IDA se enquadram, pode se relacionar com uma série de sintomas, como efeitos neurotóxicos, alterações cromossômicas, lesões hepáticas e renais, arritmias, alergias, asma, doença de Parkinson, cânceres e perda auditiva (GERAGE; MEIRA; DA SILVA, 2017). Os produtos dessas categorias podem ainda atuar como inibidores de acetilcolinesterase, o que afeta a transmissão dos impulsos nervosos ao cérebro (MARQUES; SILVA, 2021).

4.5.13 O uso indiscriminado de agrotóxicos

O uso indiscriminado dos agrotóxicos tem acarretado sérios problemas globais. A contaminação por substâncias de agrotóxicos nas águas pode se apresentar de forma pontual ou difusa. Seus impactos e efeitos toxicológicos afetam o meio ambiente e o homem. As pesquisas acerca dos efeitos dessas substâncias no homem apontam uma forte relação com várias patologias, dentre as quais as mais graves são as doenças oncológicas.

Conforme Grisolia (2005), o uso indiscriminado de agrotóxicos em qualquer lugar do planeta gera efeitos locais e regionais, no entanto, à medida do efeito depende do ecossistema atingido. A origem desses efeitos causados em um ecossistema regional é de fontes como:

- ❖ Aplicação aérea com perdas por deriva que podem atingir de 10 a 70%;
- ❖ Contaminação de águas superficiais e subterrâneas;
- ❖ Modificação da vegetação por herbicidas, que são mais de 50% do total de agrotóxicos utilizados;
- ❖ Efeitos fisiológicos e hormonais, que modificam o ciclo produtivo de diferentes espécies de insetos e aves;
- ❖ Mortalidade de peixes, aves e mamíferos silvestres;
- ❖ Eliminação de insetos polinizadores e predadores de pragas;
- ❖ Alteração das populações de insetos com surgimento de pragas secundárias por eliminação de predadores naturais, e;
- ❖ Desenvolvimento de espécies resistentes, tendo o agrotóxico como agente seletivo.

Conforme Marinho (2010), no Ceará, no período de 2005 a 2009, ocorreu um aumento de cerca de 100% em relação às vendas de agrotóxicos, passando de 1.649 toneladas de produtos comerciais de todas as classes em 2005, para 3.284 toneladas em 2009. Já em relação aos ingredientes ativos, o acréscimo no mesmo período foi de 963,3%, passando de 674 toneladas em 2005 para 6.493 toneladas em 2009, refletindo a expansão da transnacional fabricante instalada no estado (RIGOTTO, 2011).

Os trabalhadores são certamente os que entram em contato mais direto com estes produtos, e por maior tempo, seja nas empresas do agronegócio, ou na agricultura familiar e camponesa. Do ponto de vista da exposição ocupacional e ambiental, entretanto, a via respiratória e a dérmica ganham maior relevância (RIGOTTO, 2011).

A Portaria do Ministério da Saúde - MS/GM N° 2.309, de 28 de agosto de 2020, prevê uma Lista de Doenças Relacionadas ao Trabalho (LDRT), onde estabelece uma relação de patologias em função da atividade de trabalho com agrotóxicos. Várias doenças estão listadas como: neoplasia maligna do fígado, estômago, mama, leucemias linfomas, transtornos depressivos, dentre outros.

Conforme Mostafalou; Abdollahi (2013) existem muitas evidências sobre o papel das exposições a agrotóxicos na alta incidência de doenças crônicas como câncer, Alzheimer, Parkinson, esclerose lateral amiotrófica, asma, bronquite, infertilidade, defeitos congênitos, transtorno de déficit de atenção e hiperatividade, autismo, diabetes e obesidade. A maioria dos

distúrbios são induzidos por inseticidas e herbicidas, mais notavelmente organofosforados, organoclorados, ácidos fenoxiacéticos e compostos de triazina.

Na área desta pesquisa foram identificadas algumas substâncias, cuja classificação toxicológica (I, II, IV e V) e classe ambiental (I, II, III), podem ser encontradas no Quadro 13. As substâncias encontradas foram localizadas em lotes do PITR. O cultivo onde foram encontradas substâncias altamente tóxicas foi no cultivo da bananeira.

Quadro 13 – Classificação das embalagens de agrotóxicos encontradas na área de pesquisa.

Substância	Ingrediente Ativo	Classe	Classe Toxicológica	Classe Ambiental
Argenfrut RV	Óleo mineral	Acaricida, Fungicida, Inseticida	V	III
Nufosate (Glifosato)	Glicina	Herbicida	III	III
Gramoxone 200 (Paraquate)	Bipiridílio	Herbicida	PROIBIDO DESDE 2020	II
Cyprtrin	Piretróide (Cipermetrina)	Inseticida	IV	I
Alto 100	Triazol (Ciproconazol)	Fungicida	V	II
Abamex	Avermectinas	Acaricida e Inseticida	IV	III
Score	Triazol (Difeconazol)	Fungicida	I	II
Opera	Epoxiconazol e Piraclostrobina /Triazol e Strobilurina	Fungicida	II	II
Cabril Top	Metiram/Piraclostrobina	Fungicida	IV	II
Furadan	Metilcarbamato de benzofuranila.	Inseticida/Nematicida sistêmico	I	II
Malation	Malationa	Inseticida/Acariacida	III	II

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao longo de todo perímetro é possível identificar várias culturas nos lotes, no entanto, o cultivo de bananeira é mais intenso. Em visita a alguns lotes de plantação de banana, em conversa informal, alguns proprietários ou funcionários, informaram dos usos de agrotóxicos como: Score, Opera e Danimen 300 EC, fungicidas usados no controle da Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), nos lotes principalmente do cultivo da banana (Figura 37).

Em um outro lote de cultivo da banana o morador/funcionário informou usar o fungicida score, usava água da chuva para beber, mas para outras atividades domésticas usava água do canal.

Figura 37 – Cultivo de bananas ao longo do PITR.



Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme Gomes *et al.* (2020a), as pesquisas voltadas à identificação de resíduos de agrotóxicos em bananas são escassas e os LMR permitidos por diferentes legislações apresentam divergências claras que não garantem os menores valores de concentração que garantam segurança ao consumidor.

Outras situações encontradas acerca do uso dos agrotóxicos foram registradas em plantações de coqueiro, nos quais é usada mistura de substâncias, como pode ser observado no mosaico de fotos abaixo (Figura 38), aplicadas diretamente no caule do coqueiro. As substâncias usadas na mistura são: Alto 100, Cyptrin 250E e Abamex.

Há indícios que fundamentem a hipótese de que resíduos de agrotóxicos poderiam estar presentes no coco, quando ocorrem pragas atípicas como a mosca branca, dentre outras, bastante resistentes, medidas atípicas podem ser tomadas pelos agricultores, podendo ocorrer abusos nas quantidades e nos tipos de substâncias utilizadas. A situação se torna grave uma vez que há uma baixa fiscalização (poucos fiscais, dificuldade para deslocamento dos mesmos)

(COUTO DE LIMA JÚNIOR; ALMEIDA SOUZA, 2015).

Silva (2019) realizou um estudo sobre a qualidade de vida dos agricultores expostos a agrotóxicos na produção de coco, o estudo foi conduzido no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, na cidade de Sousa - PB. A pesquisa concluiu que um dos problemas para o uso de agrotóxico é a falta de informação, e baixo nível de escolaridade. A maior parte apresentou algum problema de saúde e que em sua maioria os sintomas foram classificados em gerais e neurológicos, além disso, as principais queixas foram tonturas e cefaleia. Percebeu, ainda em sua pesquisa que, a maioria dos trabalhadores têm filhos, é notória a presença de complicações gestacionais evidenciadas das esposas dos agricultores que tem exposição a agrotóxicos evoluírem para o aborto e o parto prematuro.

Figura 38 – Registro do uso de agrotóxico na plantação de cocos.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.14 Destino das embalagens

Essa pesquisa foi elaborada com base em visitas de campo e informações nos lotes de cultivo visitados ao longo da pesquisa. Foram encontradas embalagens descartadas inadequadamente. O descarte de embalagens vazias de agrotóxicos é uma prática perigosa, já que nessas embalagens ainda contêm resíduos de agrotóxicos, que são resíduos tóxicos com elevado potencial de contaminação ao meio ambiente e graves riscos à saúde da população.

As embalagens vazias de agrotóxicos são descartadas sem controle e fiscalização,

e a antiga prática de enterrá-las é atualmente condenada devido aos altos riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Os resíduos presentes em embalagens de agrotóxicos e afins, quando abandonados no ambiente ou descartados em aterros e lixões, contaminam o solo e, sob a ação da chuva, são carregados para águas superficiais e subterrâneas.

Conforme dados fornecidos pelo DISTAR, no período de 2015-2018 foram recebidas 18.554 embalagens de agrotóxicos. Foi gerado uma relação dos nomes das substâncias das embalagens mais usadas no PITR (Quadro 14).

Quadro 14 – Embalagens de agrotóxicos entregues no DISTAR no período de 2015 a 2018.

EMBALAGUENS ENTREGUES AO DISTAR 2015- 2018	
Adesil (adaptar)	Marshal
Agritoato	Nativo
Bazuka	Natur oleo
Ciptrin	Paradox(parationa)
Connect	Ph fos
Danimen	Sanmite ew
Decis	Score
Difcor	Solox bb
Helmozone	Supa link
Karate	Tenaz
Lannate	Tocha

Fonte: Elaborada pela autora. Dados fornecidos pelo Distar (2020).

O mosaico de fotos (Figura 39) ilustra embalagens encontradas nos lotes de cultivo de Russas, em alguns pontos de coletas.

Figura 39 – Registro das embalagens descartadas nos lotes de cultivo



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.15 A carga contaminante que chega através do canal

As águas do canal de irrigação têm origem no açude Curral Velho, no município de Morada Nova, onde vem permeando pelo município de Limoeiro do Norte até o município de Russas (Figura 40).

O uso das diversas substâncias de agrotóxicos é identificado ao longo do canal, as águas que chegam nos lotes para uso na irrigação já apresentam uma carga de agrotóxicos, substâncias essas, que contaminam o solo e as águas superficiais e subterrâneas.

A presença de resíduos de agrotóxicos no Açude Curral Velho pode ser proveniente, provavelmente, de fontes contaminantes como o Perímetro Irrigado de Morada Nova, da agricultura de sequeiro, ou ainda de seus afluentes (Figura 41).

Figura 40 – Canal de irrigação açude Curral Velho, município de Morada Nova.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 41 – Ilustração do Perímetro Irrigado de Morada Nova

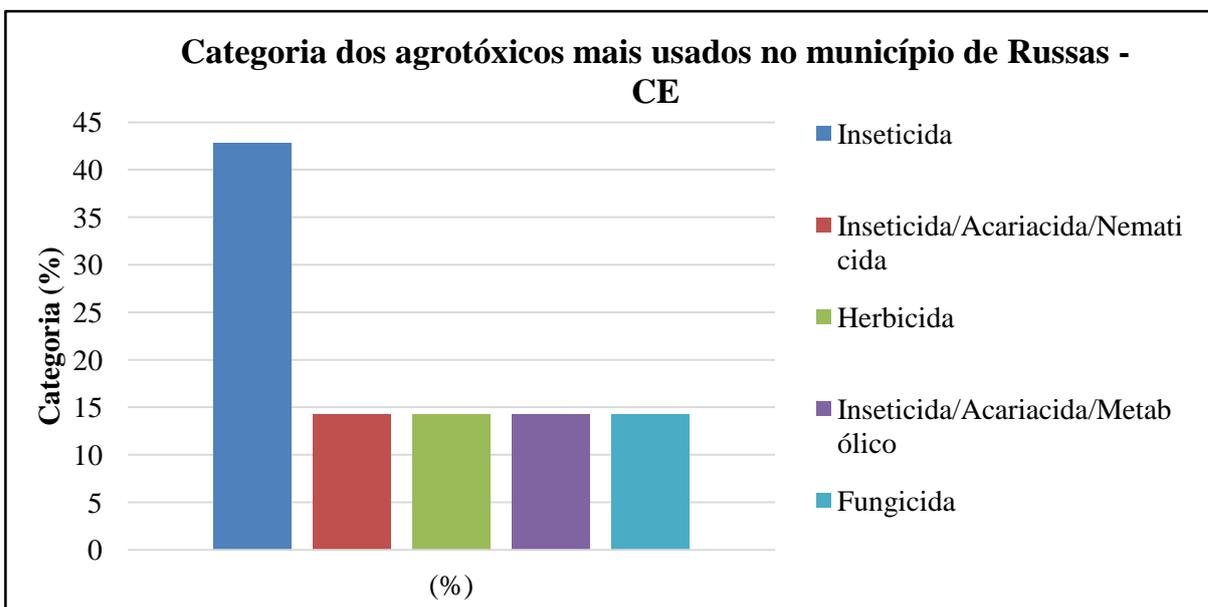


Fonte: Google Earth Pro. Satellite: DigitalGlobe. Imagens de 2022

No PITR, na área de estudo, foi identificado um lote em que é realizado o cultivo orgânico, no entanto a segurança dos alimentos é comprometida, tendo em vista a carga de contaminantes presentes nas águas do canal que são usadas para irrigação do plantio.

Foram identificadas várias substâncias usadas pelos agricultores nas áreas de cultivos do PEITR, sendo a categoria de agrotóxicos mais utilizadas as dos inseticidas (Gráfico 29).

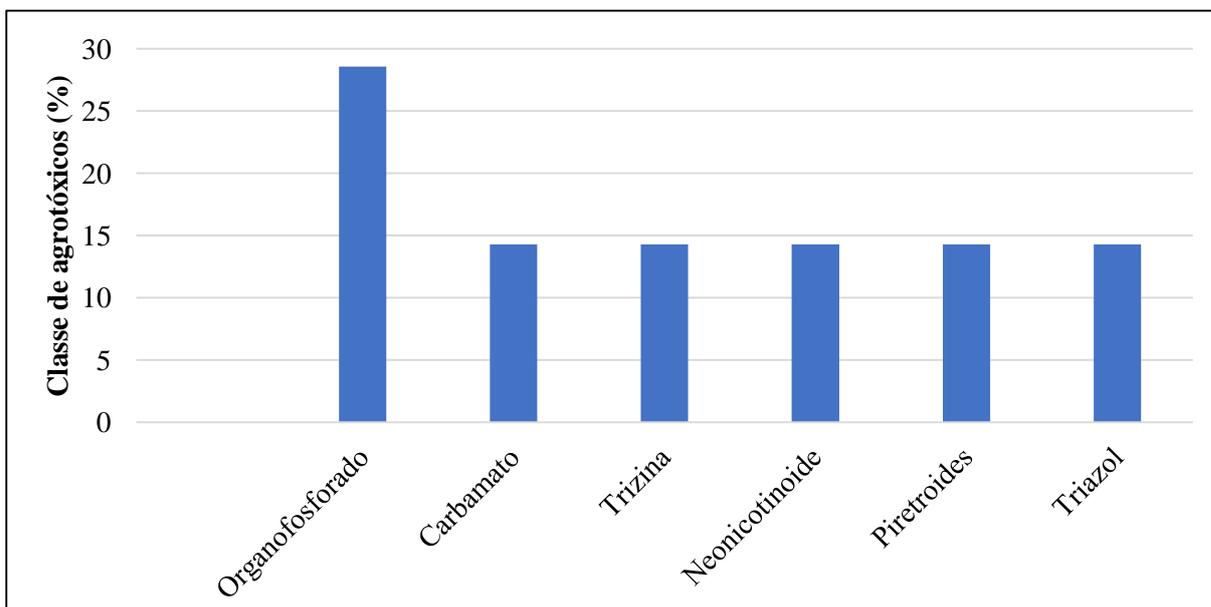
Gráfico 29 – Categoria dos agrotóxicos identificados no PITR



Fonte: Elaborado pela autora.

Os agrotóxicos da classe química organofosforados foram os mais detectados, com 33,3%, seguido dos carbamatos com 22,2%. As demais classes foram encontradas, com 11,1% cada (Gráfico 30). Vários distúrbios do sistema nervoso foram associados à exposição aos agrotóxicos organofosforados, principalmente aqueles ligados à neurotoxicidade desses produtos, observados através de efeitos neurológicos retardados (PERES; MOREIRA; DUBOIS, 2003).

Gráfico 30 – Classe química dos agrotóxicos presentes nas análises



Fonte: Elaborado pela autora.

O acefato foi detectado neste estudo com valores de até 572,0 µg/L. Conforme Milhome (2009), que classificou o risco de contaminação de águas superficiais segundo critérios estabelecidos pelo índice de vulnerabilidade usando o método GOSS, o acefato possui a probabilidade de ser carregado pela chuva ou água de irrigação e atingir os corpos d'água devido sua elevada solubilidade. A autora classificou a substância como BP (baixo potencial) de contaminação. Nessa pesquisa o acefato foi classificado com MP (médio potencial) de contaminação.

Do ponto de vista da exposição ambiental dos agrotóxicos, deve ser considerada a proximidade entre as comunidades e as áreas de produção, que cria a possibilidade de contaminação direta de alguns domicílios nas zonas limítrofes (RIGOTTO *et al*, 2013).

4.5.15.1 Distrito de Peixes

O Distrito de Peixes está localizado a 16 km da sede de Russas e a 8 km do canal de irrigação, possuindo aproximadamente 600 habitantes. A comunidade é abastecida pelo SISAR, onde a água é captada do canal PITR, tratada e distribuída para comunidade (Figura 42). Conforme informações coletadas no local, a água é monitorada, com realização de análises de agrotóxicos, embora não tenha sido informado quais substâncias são analisadas. Até os anos 2000 o carro pipa era a única alternativa de abastecimento de água. Com a chegada da primeira

etapa do perímetro irrigado de Tabuleiros de Russas, o problema de fornecimento de água foi amenizado, visto que a água do canal pode ser utilizada como fonte de abastecimento e viabilizar a sua distribuição. A conexão da ligação da água para a comunidade foi feita no dia 30 de maio de 2012. No início do canal, foi instalada uma estação de captação de água que bombeia a água do canal para a estação de tratamento instalada na comunidade do Peixe e depois distribuída para as casas (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Figura 42 – Comunidade Distrito de Peixe, Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nesse estudo foram detectadas as substâncias permetrina, no primeiro ciclo, acefato e ametrina, segundo ciclo, no terceiro ciclo não foi detectada nenhuma substância, e no 4º ciclo foram detectadas as substâncias acefato, aldicarbe e carbofurano. É importante ressaltar que essas substâncias foram detectadas nos lotes de cultivos que ficam a montante do Distrito de Peixe. Os carbamatos aldicarbe e carbofurano são proibidos devido ao seu alto grau de toxicidade.

4.5.16 Interação solo, geologia, águas subterrâneas e fontes contaminantes

Os aspectos físicos e morfológicos de uma área são de fundamental importância para a avaliação da presença de substâncias, como por exemplo, metais pesados e agrotóxicos presentes em águas subterrâneas. Características como solo, geologia e topografia, devem constituir objetos para a avaliação da concentração e dispersão de algumas substâncias no ambiente.

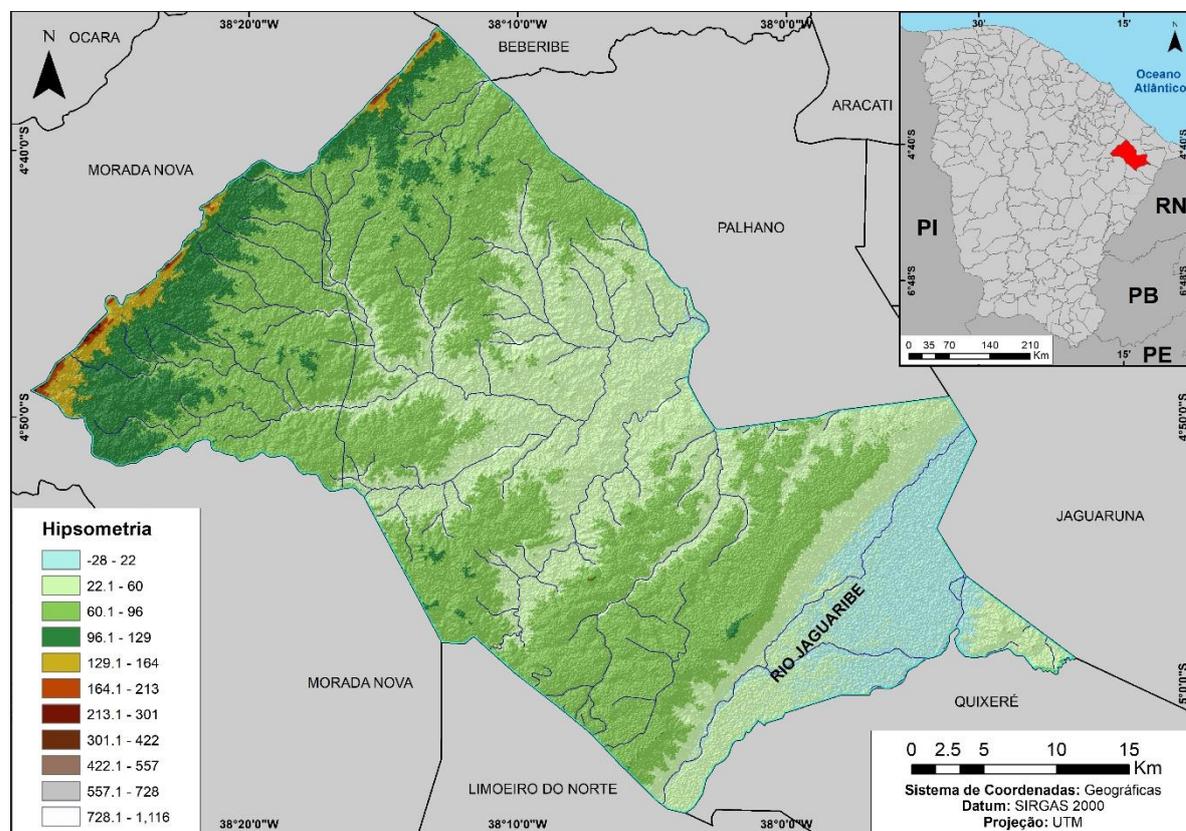
A declividade, a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte, e tem influência direta sobre o equilíbrio entre a infiltração de água no solo e escoamento superficial, além de controlar a intensidade dos fluxos de matéria, o que vai variar conforme o grau de inclinação da vertente (VALERIANO, 2008). O carreamento está relacionado com os eventos hidrológicos, ou seja, a intensidade e duração da chuva e a quantidade de poluentes (SILVA, 2014). Os processos de transporte de agrotóxicos podem ocorrer por lixiviação (movimento vertical no solo), sorção e persistência (GOMES; SPADOTTO; CERDEIRA, 2022).

O município apresenta duas unidades geoambientais: Depressão Sertaneja e Planície fluvial. O relevo da área apresenta duas feições morfológicas distintas: a primeira, ao sul, onde ocorrem as rochas cristalinas, com altitudes variando entre 90 e 230 metros. A segunda feição apresenta a ocorrência das coberturas sedimentares, com sedimentos das Formações Jandaíra e Açú com cotas variando de 10 a 150 metros.

Na área de estudo, o município de Russas, de acordo com o Serviço Geológico do Brasil – SBG/CPRM pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: meio cristalino, onde as águas subterrâneas encontram-se armazenadas nas fraturas, não apresentam fluxo de direção definido; as coberturas sedimentares Tércio-quadernárias e os depósitos aluvionares. As coberturas sedimentares constituem-se, principalmente, de sedimentos detriticos, com composição variando desde conglomerática a areno-argilosa. Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que normalmente, possuem alta permeabilidade. Há uma predominância de solos tipo argissolos e neossolos.

O mapa hipsométrico mostra a distribuição altimétrica no município de Russas (Figura 43). A amplitude altimétrica média apresenta uma menor cota com valor de 22 metros, nas aluviões, próximo ao Rio Jaguaribe, e maior cota de 422,1 a 557 metros, litologicamente no cristalino a montante da área urbana do município.

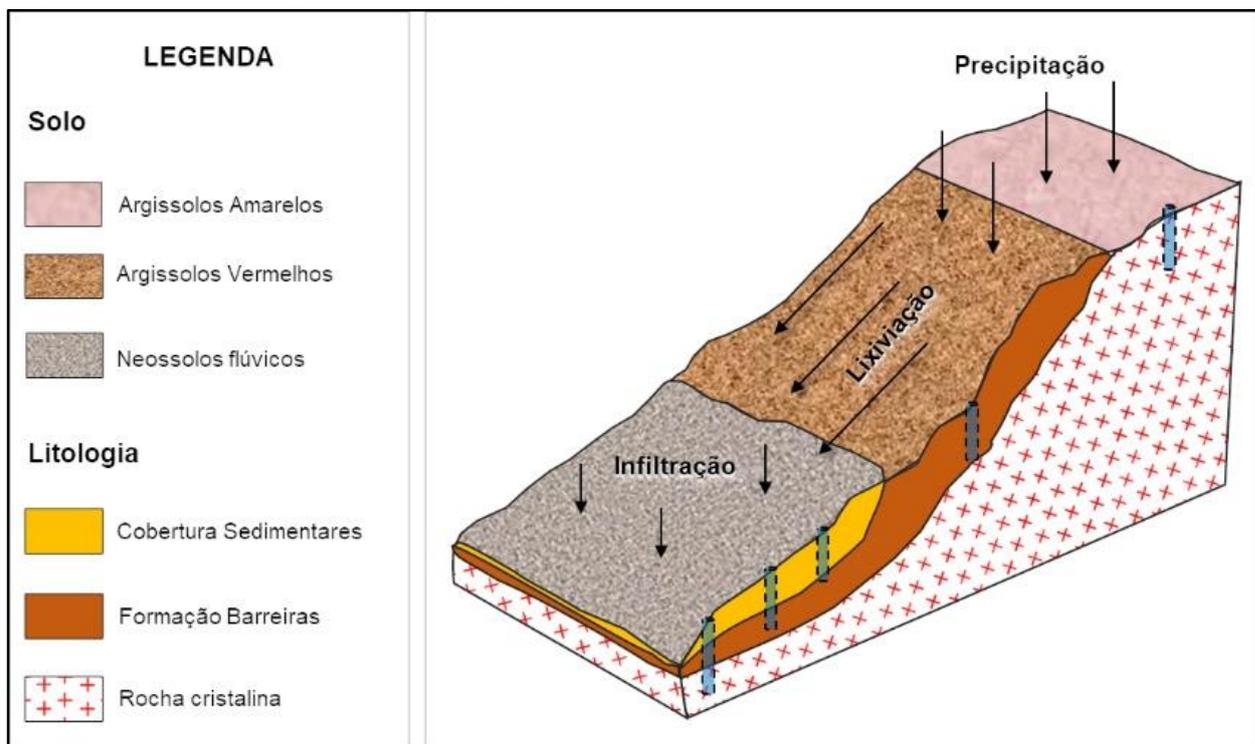
Figura 43 – Mapa hipsométrico do município de Russas – CE.



Fonte: Elaborado pela autora

Conforme a Figura 44, os aspectos geoambientais naturais, incluindo os processos endógenos (geológicos) e exógenos (clima, pluviosidade, geomorfologia, declividade e hipsometria), influenciam de forma direta no processo de contaminação das águas subterrâneas. Percebe-se que no período seco, possivelmente, pode haver um acúmulo de substância em superfícies topograficamente mais altas com solos poucos permeáveis, argissolos e uma litologia desfavorável para percolação das substâncias. No período chuvoso, essa carga de resíduo é toda lixiviada para área de cotas mais baixas, solos com propriedades mais permeáveis e geologia favoráveis à percolação de substância, aluviões. Dessa forma tem-se uma carga maior da presença de agrotóxicos e metais no período chuvoso e nas áreas mais baixas, a urbana, que recebe toda carga poluidora de resíduo.

Figura 44 – Bloco diagrama de lixiviação da área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora

A tendência dos pesticidas à lixiviação está intimamente relacionada com seu potencial de sorção. Esse processo ocorre na superfície dos sólidos, através de forças físicas ou químicas. A sorção é a interação do soluto (agrotóxico) da fase líquida com a superfície das partículas do solo/sedimento. Molécula fortemente sorvida não se movimenta no sentido descendente do perfil. Assim, condições que favorecem a sorção desfavorecem a lixiviação. Mesmo que o agrotóxico tenha mostrado baixa retenção é necessário considerar que a alta evaporação da região poderá favorecer os processos de volatilização das moléculas. Além disso, deve-se considerar a influência da radiação solar da região que favorece a degradação dos agrotóxicos por fotólise (LIMA; SOUZA; FIGUEIREDO, 2004).

Além das características do solo (matéria orgânica/minerais de argila, textura/estrutura/ relevo, pH, teor de água e microrganismos) e condições ambientais (temperatura, pluviosidade, luminosidade, umidade relativa do ar e vento) as características do agrotóxico (pK_a , K_{ow} , meia-vida, solubilidade e pressão de vapor) também influenciam o comportamento do agrotóxico no solo e ambiente (VARGAS, 2008)

A Figura 45 ilustra a área de possível concentração de substâncias: Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas, onde há um uso indiscriminado de agrotóxicos, lixão em meio

a área urbana e o Cemitério Bom Jesus dos Aflitos inserido também na área urbana. Topograficamente essas áreas apresentam direção de fluxo subterrâneo em sentido à área urbana, que recebe todos os lixiviados, principalmente no período chuvoso.

Figura 45 – Área de lixiviados no município de Russas.



Fonte: Elaborada pela autora.

A legislação na qual trata dos critérios estabelecidos para instalação de cemitérios é do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA nº 335 de 03/04/2003). Os cemitérios deverão ser implantados onde as condições de fluxo do lençol freático não comprometam qualidade da potabilidade pré-existentes de captação de água subterrânea (MATOS, 2001).

Conforme Matos (2001), os cemitérios nunca foram incluídos na lista de fontes tradicionais de contaminação ambiental, principalmente, quanto ao cadáver humano possa causar alterações ambientais e pôr em risco a saúde dos seres vivos.

O Cemitério Bom Jesus dos Aflitos está inserido no centro urbano de Russas, (Figura 46), causando impacto nas águas superficiais que fica a jusante, como Lagoa da Caiçara, e, provavelmente às águas subterrâneas.

Cunha *et al.* (2008), em pesquisa sobre a qualidade das águas subterrâneas próximas ao Cemitério Bom Jesus dos Aflitos comparou os valores encontrados com a legislação do Ministério da Saúde, MS Nº 518/2004, e identificou que as mesmas estavam acima do VMP nos parâmetros: cor, turbidez, cloretos, amônia e coliformes termotolerantes.

Figura 46 – Cemitério Bom Jesus dos Aflitos, Russas – CE.



Fonte: Elaborada pela autora.

Alguns metais presentes em amostras de água dessa pesquisa, podem ter a contribuição de contaminantes lixiviados do cemitério.

Em pesquisa realizada por Sousa *et al.* (2021), nas águas subterrâneas do município de Russas, 43% das amostras encontravam-se acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para turbidez, dureza total, TDS, sódio, cloreto e nitrato. As concentrações de cloretos e nitratos mostraram uma potencial relação com contaminantes antrópicos (área agrícola; efluentes domésticos) para as áreas de recarga de aquíferos e condicionavam a problemas comuns à saúde humana.

O município de Russas está, quase em sua totalidade, no meio cristalino, com poços apresentando baixas vazões e águas salobras. Os dessalinizadores são alternativas para melhorar a qualidade das águas para o consumo humano, pois essa tecnologia proporciona a retirada do sal e outros minerais da água salgada e/ou salobra fornecendo água potável.

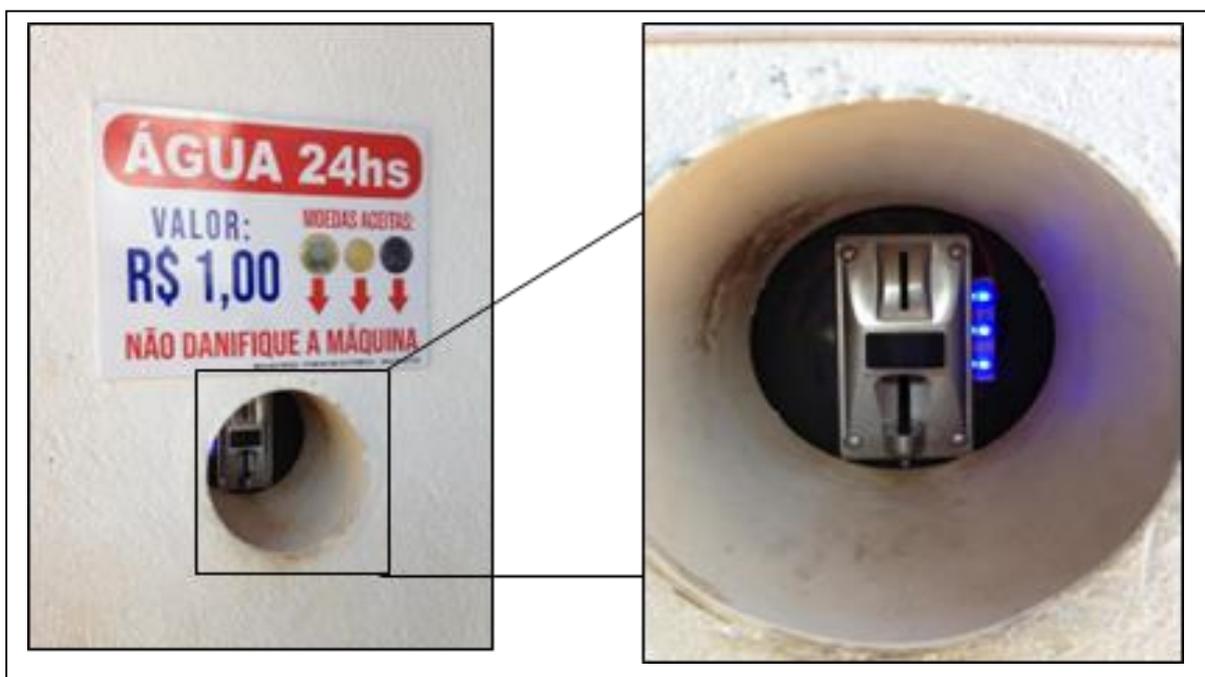
O Estado do Ceará através da Secretaria de Recursos Hídricos (Programa Água Doce) e da Superintendência de Obras Hidráulicas – Sohida, instalam dessalinizadores em comunidades e distritos do Estado. A Sohida iniciou a instalação de dessalinizadores no ano de

1996, com 12 equipamentos, e até 2023, foram instalados 782 unidades. O município de Russas foi contemplado com 47 unidades, (COGERH, 2023).

Através do Programa Água Doce (PAD) operadores dos sistemas de dessalinização como também técnicos das Prefeituras Municipais foram capacitados com o curso “Operadores de Sistema de Dessalinização do Programa Água Doce”, onde foram capacitados para operarem adequadamente os dessalinizadores de forma independente e seguindo os procedimentos preconizados pelo Programa. No Ceará, os operadores que concluíram o curso são dos municípios de Salitre, Acopiara, Santa Quitéria, Canindé, Pentecoste e Caridade (COGERH, 2023).

No município de Russas, em algumas comunidades que dispõe de dessalinizadores, geralmente implantado pela Prefeitura, outros comprados pela própria comunidade, os moradores relataram problemas com manutenção, como reposição de peças e compra de membranas, que possuem elevado custo. Para realizar esses serviços de compra e reposição de alguma peça, os moradores implementaram um sistema de cobrança pela água dessalinizada. Conforme constatado em campo, esse serviço é realizado por um morador local, ou por uma associação comunitária, que fica responsável pelo serviço de cobrança da água. A Figura 47 mostra o equipamento instalado e aviso de cobrança para obtenção de água.

Figura 47 – Placa de cobrança da água dessalinizada.



Fonte: Elaborada pela autora.

O valor cobrado é referente ao fornecimento de 20 litros de água, com um dispositivo que possibilita atingir essa quantidade. Moradores relatam que, quando não dispõem do valor cobrado, a água dessalinizada não é fornecida, tendo que pegar água com concentrações altíssimas de cloretos, conforme abordado nesse estudo.

Conforme Atlas da COGERH, no qual apresenta os dessalinizadores instalados no Estado do Ceará, a região do Baixo Jaguaribe dispõe de uma quantidade de equipamentos, possivelmente, insuficiente para a região, tendo em vista a concentração de sais presentes na água daquela região.

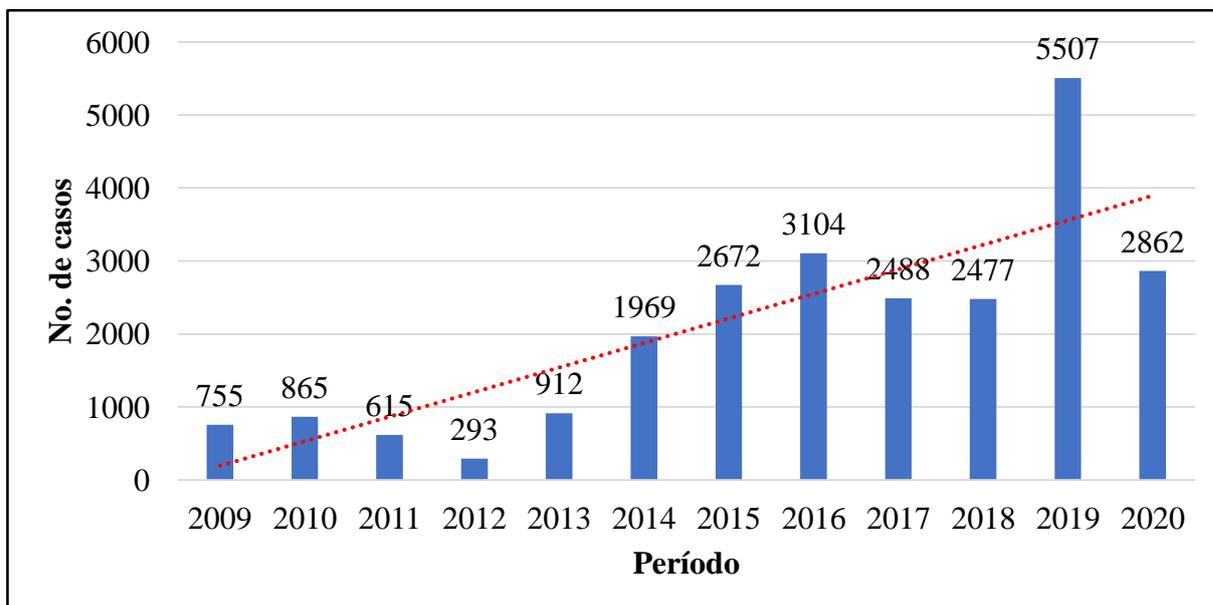
Outro fator é o saneamento do município, com uma população estimada de 79.550 habitantes, apresenta apenas 28,4% de esgotamento sanitário adequado. A inexistência ou ineficácia de serviços de saneamento agrava fortemente a saúde e qualidade de vida da população. O município apresenta taxa de mortalidade infantil média na cidade de 5,38 para 1.000 nascidos vivos. As internações devido a diarreias são de 7,2 para cada 1.000 habitantes (IBGE,2016).

O abastecimento público de água de maneira segura e eficiente ainda é um desafio no Brasil. Isso pode levar a um aumento na incidência de agravos como Doença Diarreica Aguda (CASTRO; CRUVINEL; OLIVEIRA, 2019). O município dispõe de 16.491 ligações de água e 9.680 ligações de esgoto, o que corresponde a somente 21% e 12%, respectivamente (IBGE, 2010).

Esse cenário reflete na possível contaminação de seus recursos hídricos, comprometendo a saúde da população. Com a quantidade e a qualidade da água limitada, os casos de doenças de veiculação hídrica são notórios na área da pesquisa. Não se trata somente da questão da presença de sais na água, mas pode conter outros constituintes impróprios, sendo necessário o seu tratamento prévio antes do consumo.

Dados fornecidos pela Secretaria da Saúde de Russas revelam que os casos de diarreias agudas são progressivos, no período de 2019 foram notificados mais de 5.000 casos no município (Gráfico 31). Reflexo, provavelmente, da qualidade da água ofertada. Nesse estudo é possível relacionar a oferta hídrica municipal, superficial e subterrânea, e a falta de monitoramento das águas destinadas ao consumo humano, o que pode contribuir com os casos de diarreia no município. Conforme abordado na análise de vulnerabilidade dos poços, foram vistas fontes poluentes que podem comprometer a qualidade das águas, como lixões e efluentes a céu aberto.

Gráfico 31 – Casos de diarreia aguda no Município de Russas – CE.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde de Russas – CE, 2021

A água de consumo humano é um dos importantes veículos de enfermidades diarreicas de natureza infecciosa, o que torna primordial a avaliação de sua qualidade físico-química e microbiológica. As doenças de veiculação hídrica são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitidos basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes (GRABOW, 1996).

4.5.17 Agrotóxicos e impactos na saúde

A exposição humana a agrotóxicos tem influência direta na relação saúde-doença. Essa relação não se concentra apenas ao produtor e ao homem do campo, mas se propaga além do cultivo, além do campo, e chega à mesa dos consumidores, com alimentos apresentando alto índice de resíduo de agrotóxicos. O uso de agrotóxicos na agricultura brasileira já é considerado um problema de saúde pública. O uso indiscriminado vem causando contaminações no ambiente, em alimentos, intoxicações e neoplasias malignas. Os efeitos toxicológicos causados por essas substâncias são preocupantes, nas últimas décadas, a relação entre o uso de agrotóxicos e o câncer é evidente.

Dentre os agrotóxicos encontrados nesse estudo, conforme a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), 77,7% deles detectados não são aprovados pela União

Europeia e estão relacionados a neoplasias malignas.

Conforme estudo realizado por Bedor (2008), que revisou evidências epidemiológicas relacionadas à exposição ocupacional a agrotóxicos e à incidência de câncer, identificou que alguns produtos estão associados ao aumento do risco de vários tipos de neoplasias malignas, dentre eles, os organofosforados relacionados a câncer de pulmão e cólon; os piretroides associados a mieloma múltiplo; e os carbamatos com forte associação ao melanoma.

Os organofosforados detectados nesta pesquisa, o acefato atingiu valor máximo de 572,0 µg/L em um dos pontos de coletas localizado em lote do PITR, que compreende um dos últimos lotes e recebe toda carga que permeia o canal. O dimetoato atingiu valor máximo de 1,74 µg/L no ponto de coleta localizado na CAGECE de Russas. A água de distribuição é chamada água mista, proveniente de poço e rio. Dessa forma não é possível identificar a fonte da contaminação. O VMP estabelecido pela Portaria nº 888/21 do MS para essa substância é de 1,2 µg/L. O Malation atingiu valor máximo de 6,2 µg/L e, embora o valor atenda ao VMP pela legislação, deve ser ressaltado que, neste ponto de coleta, a água é comercializada para fins de consumo humano. Outras substâncias podem estar presentes na água, gerando um coquetel de agrotóxicos.

Os carbamatos detectados foram o aldicarbe e carbofurano, ambos proibidos pela ANVISA. O maior valor encontrado para o aldicarbe foi de 177,3 µg/L, enquanto que para o carbofurano foi de 15,39 µg/L, ambos localizados na CAGECE de Russas.

Os piretroides encontrados nessa pesquisa foi a permetrina com valor máximo de 0,66 µg/L. A Portaria nº 888/21 MS não estabelece valor máximo para essa substância. O CONAMA 396/2008 estabelece um VMP de 20,0 µg/L. Na União Europeia não é aprovado.

Na classe dos triazóis foi detectado o tebuconazol com valor máximo encontrado de 3,54 µg/L, atendendo, portanto, a Portaria nº 888/21 MS. Localiza-se em uma comunidade na qual é a principal fonte de abastecimento. Outras substâncias como aldicarbe, acefato e ametrina complementam o coquetel desse ponto.

Na classe da triazina foi detectada a ametrina, com valor máximo encontrado de 1,2 µg/L. O Ministério da Saúde e o CONAMA não estabelecem valores máximos para essa substância. A amostra na qual foi encontrado esse valor localiza-se no canal do PITR, no limite dos municípios Limoeiro do Norte e Russas. Essa substância também foi encontrada com valor de 0,66µg/L no Distrito de Peixe, comunidade abastecida pela água do canal e que soma a outras substâncias, como aldicarbe, acefato e carbofurano.

Na classe dos neonicotinóide foi encontrado o imidacloprido. O valor máximo encontrado foi de 8,52 µg/L. A Portaria 888/21 MS e o CONAMA nº 396/2008 não estabelecem valores máximos para essa substância. O ponto encontrado nessa substância foi em um poço construído pela SOHIDRA para abastecer a comunidade de Tabuleiros de Catavento. Infelizmente, no 3º e 4º ciclo não foi possível realizar coletas, tendo em vista que a bomba do poço apresentou problemas. O imidacloprido esteve presente nos dois ciclos. Somam-se ao 1º as substâncias acefato, dimetoato e ametrina. No 2º ciclo acefato e ametrina.

A *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) destaca a relação de possíveis neoplasias e outras doenças relacionadas aos agrotóxicos. No Quadro 15 estão relacionados os agrotóxicos encontrados nessa pesquisa e seus agravos à saúde.

Quadro 15 – Relação de possíveis neoplasias e outras doenças relacionadas aos agrotóxicos (IUPAC, 2022)

Substâncias	Grupo químico	UE	Problemas gerais de saúde humana
Acefato	Organofosforado	NA	USEPA - possível carcinógeno humano Problemas endócrinos - Interrupção da expressão hormonal no hipotálamo
Aldicarbe	Carbanato	NA	Carcinógeno IARC. Grupo 3 altamente tóxico, USEPA - possível carcinógeno humano em altas doses. Problemas endócrinos - Inibição da atividade de 17 beta-estradiol e progesterona
Ametrina	Triazina	NA	-
Carbofurano	Carbamato	NA	Pode causar degeneração testicular. Pode ser fatal se ingerido, inalado ou absorvido pela pele. Problemas endócrinos - Aumento dos níveis de progesterona, cortisol e estradiol
Dimetoato	Organofosforado	NA	Altamente tóxico, nocivo se ingerido USEPA - Possível carcinógeno humano; UE - Nenhuma evidência de carcinogenicidade Problemas endócrinos - Interrupção da ação dos hormônios tireoidianos Possível toxicidade hepática Algumas evidências de neurotoxicidade, mas não conclusivas
Imidacloprido	Neonicotinóide	NA	Potencial tóxico para fígado, rins, tireoide, coração e baço

Substâncias	Grupo químico	UE	Problemas gerais de saúde humana
Permetrina	Piretroídes	NA	Carcinógeno estrogênico prejudicial, Grupo 3 da IARC; USEPA - provável cancerígeno humano Problemas endócrinos - Inibição da proliferação de células sensíveis ao estrogênio
Tebuconazol	Triazol	A	Tem como alvo o sistema hepático/sangue USEPA - possível carcinógeno humano
Malathion	Organofosforado	A	Carcinógeno do grupo 2A da IARC; USEPA - algumas evidências para sugerir possíveis carcinógenos humanos Problemas endócrinos - Inibição da secreção de catecolaminas

Fonte: (IUPAC, 2022)

Legenda: EU: União Europeia – NA: Não aprovado pela União Europeia – A: Aprovado pela União Europeia.

USEPA: U.S. *Environmental Protection Agency*

No Ceará, um estudo transversal sobre o registro de casos de câncer em trabalhadores rurais revelou aumento do risco de câncer de pênis (6,44/1000 hab), leucemias (6,35) e testículos (5,77), além de outras localizações com risco variando de 1,88 a 1,12 (bexiga urinária, mieloma múltiplo, linfomas, tecido conjuntivo, olhos e anexos, esôfago, cólon-junção reto sigmoide, rim, laringe, próstata e tireoide (RIGOTTO *et al*, 2013).

Pela amplitude da utilização dos agrotóxicos no modelo de produção de alimentos, há estimativas de associação entre exposição e o desenvolvimento de câncer. Essa associação está mais bem caracterizada nos cânceres de pulmão, de mama, dos testículos, da tireoide, da próstata, do ovário, e do sistema hematopoiético (linfomas não - Hodgkin, leucemias e mieloma múltiplo) (PIMENTEL, 1996).

A Doença de Alzheimer e Parkinson acometem, principalmente, pessoas idosas, tendo em vista o longo período de exposição. No processo de envelhecimento é comum a ocorrência de doenças neurodegenerativas, como Doença de Parkinson e Doença de Alzheimer que afetam a funcionalidade das pessoas idosas. Além do aumento da idade, outros fatores podem contribuir para o surgimento de doenças crônicas, como fatores ambientais e exposição a produtos tóxicos. Segundo a literatura, dentre os fatores ambientais que podem estar relacionados à prevalência de doenças e de sintomas em idosos destaca-se a exposição a agrotóxicos (SILVA *et al.*, 2011)

Foi realizado de acordo com os dados disponíveis na plataforma (DATASUS 2022)

uma avaliação temporal, no período de 1996 a 2019, no município de Russas para mortalidade causadas por neoplasias referentes a Classificação Internacional de Doenças - CID 10: Estômago, próstata, Alzheimer, linfomas, leucemias, mieloma, pulmões, mama e Parkinson. Observa-se que no ano de 1999 iniciam-se os maiores casos com um crescimento progressivo de mortes. Possivelmente isso se deve a expansão do agronegócio na região do Baixo Jaguaribe bem como a implantação do Perímetro Irrigado de Tabuleiros de Russas no ano de 2004. Conforme o Gráfico 32 da plataforma. A mortalidade exibida pelos CID 10 nessa pesquisa reflete a relação agrotóxico e saúde. Inúmeras pesquisas expressam a relação agrotóxicos associadas a patologias malignas. No decorrer da pesquisa, relatos, informais, de hipertensão, diabetes e de casos de câncer foram relatados, e óbitos por essas neoplasias também foram citados.

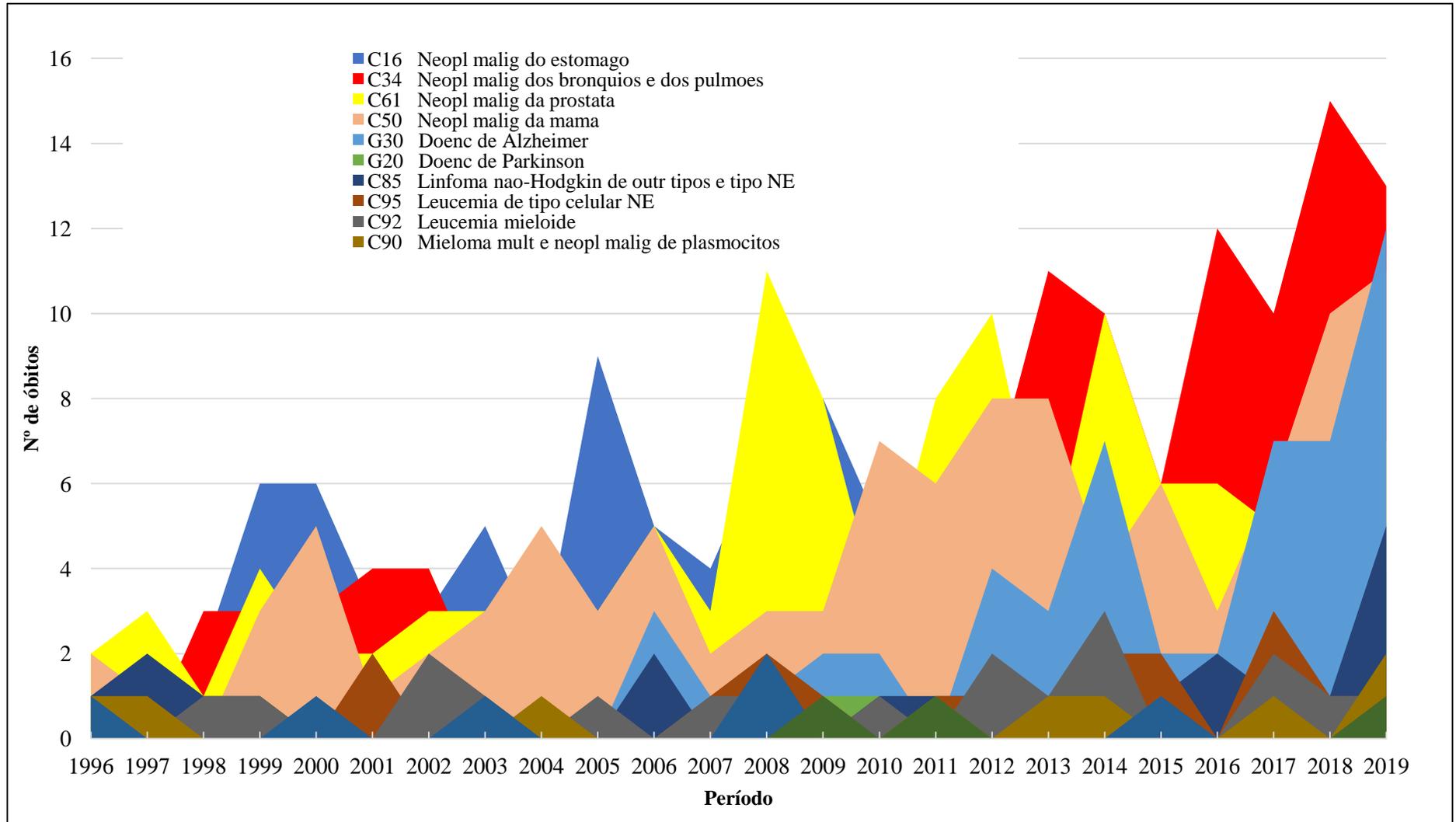
A relação de quantidade de água disponibilizada para comunidades de Russas é insuficiente diante do que foi visto neste estudo. A qualidade desse recurso sugere o vetor preocupante para o aumento dos casos de neoplasias no município de Russas. O aumento dos óbitos por essas malignidades é só um reflexo da falta de políticas públicas voltadas para o monitoramento da qualidade desse recurso, que, com os fenômenos ambientais próprios da região, já não é suficiente.

Na sua pesquisa de Barbosa *et al.* (2019), para o período de 2000 a 2012, a análise das taxas de mortalidade para câncer infanto-juvenil, mostrou que Camocim/Acaraú, Baixo Jaguaribe e Cariri apresentaram aumento na média anual no período estudado.

Em pesquisa realizada sobre alterações citogenômicas da medula óssea de trabalhadores rurais expostos a agrotóxicos no município de Limoeiro do Norte, o estudo aponta que a exposição crônica aos agrotóxicos leva à ocorrência de alterações cromossômicas em células da medula óssea (FERREIRA FILHO, 2013)

No Estado do Ceará, a região do Baixo Jaguaribe é a mais impactada pelo uso de agrotóxicos, devido a presença de grandes empresas produtoras de frutas, as quais utilizam agrotóxicos desenfreadamente. Esse contexto de exposição vem modificando sobremaneira os modos de vida e o perfil de morbimortalidade dessa população. A Microrregião do Baixo Jaguaribe destaca-se pelo alto consumo, apresentando pesticidas de alto potencial de contaminação em águas subterrâneas, além de ser evidenciado um incremento anual das taxas de internação por neoplasias, 1,76 vezes maiores que outros municípios (MACIEL *et al.*, 2017).

Gráfico 32 – Mortalidade por CID 10 no município de Russas – CE.

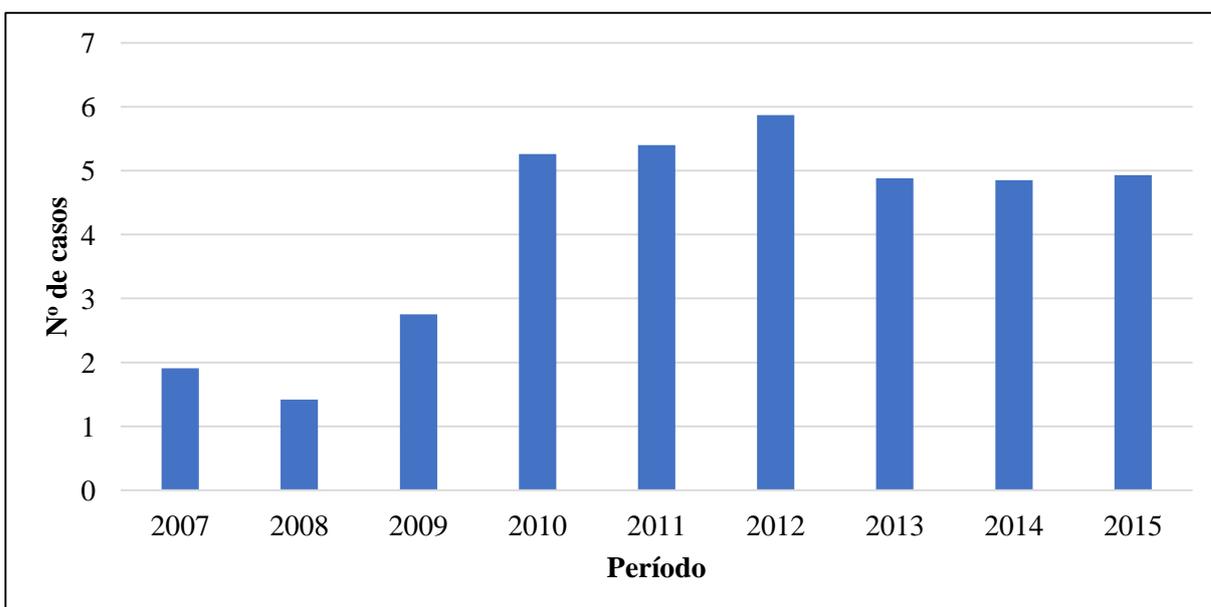


Fonte: DATASUS (com adaptações, 2022).

Em um estudo epidemiológico realizado por Rigotto (2011b) que avaliou 545 agricultores da região de Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas, no Ceará, praticamente 100% dos agricultores tinham contato com agrotóxicos. No estudo, 30% dos trabalhadores apresentavam quadro provável de intoxicação aguda por agrotóxicos. Efeitos crônicos dos agrotóxicos sobre a saúde humana foram identificados, como as alterações na produção do sangue, o que pode desenvolver doenças hematológicas. A autora comparou os municípios de Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas, onde o agronegócio avançava, com outros doze municípios do Ceará pareados por população e que desenvolvem apenas agricultura de sequeiro, verificou-se que a taxa de mortalidade por neoplasias foi 38% maior nos municípios onde está o agronegócio, assim como a taxa de internações por abortos foi 40% maior neles, entre outros indicadores relevantes para os diversos efeitos crônicos dos agrotóxicos.

No Estado do Ceará a incidência de notificação de intoxicação por agrotóxico é crescente. Desde 2007, com a expansão agrícola, os registros de intoxicação aumentaram consideravelmente, (Gráfico 33). Tendo em conta as subnotificações, para cada caso, 50 são subnotificados, esses números, possivelmente, seriam mais expressivos.

Gráfico 33 – Incidência de notificação de agrotóxico no Estado do Ceará (2007- 2015).

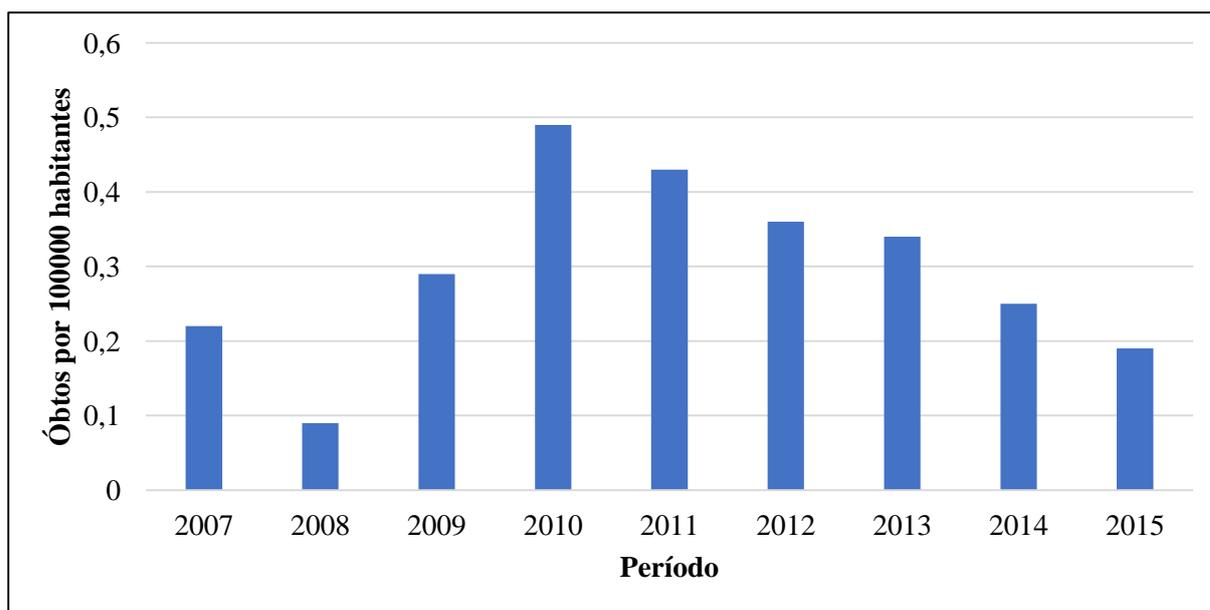


Fonte: BRASIL (com adaptações, 2018).

Conforme dados num relatório publicado pela rede ambientalista *Friends of the Earth Europe*, a cada dois dias, uma pessoa morre por intoxicação de agrotóxicos no Brasil – cerca de 20% dessas vítimas são crianças e adolescentes de até 19 anos (WELLE, 2022).

De acordo Relatório Nacional de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2018), a taxa de incidência de mortalidade por intoxicação por agrotóxicos no Estado do Ceará no período de 2007 a 2015 foi de 0,25 (100 mil hab.), ocupando o 10º lugar no *ranking* brasileiro e a 5ª posição no Nordeste (Gráfico 34).

Gráfico 34 – Taxa de mortalidade por intoxicação causada por agrotóxico no estado do Ceará (2007 – 2015).



Fonte: BRASIL (com adaptações, 2018).

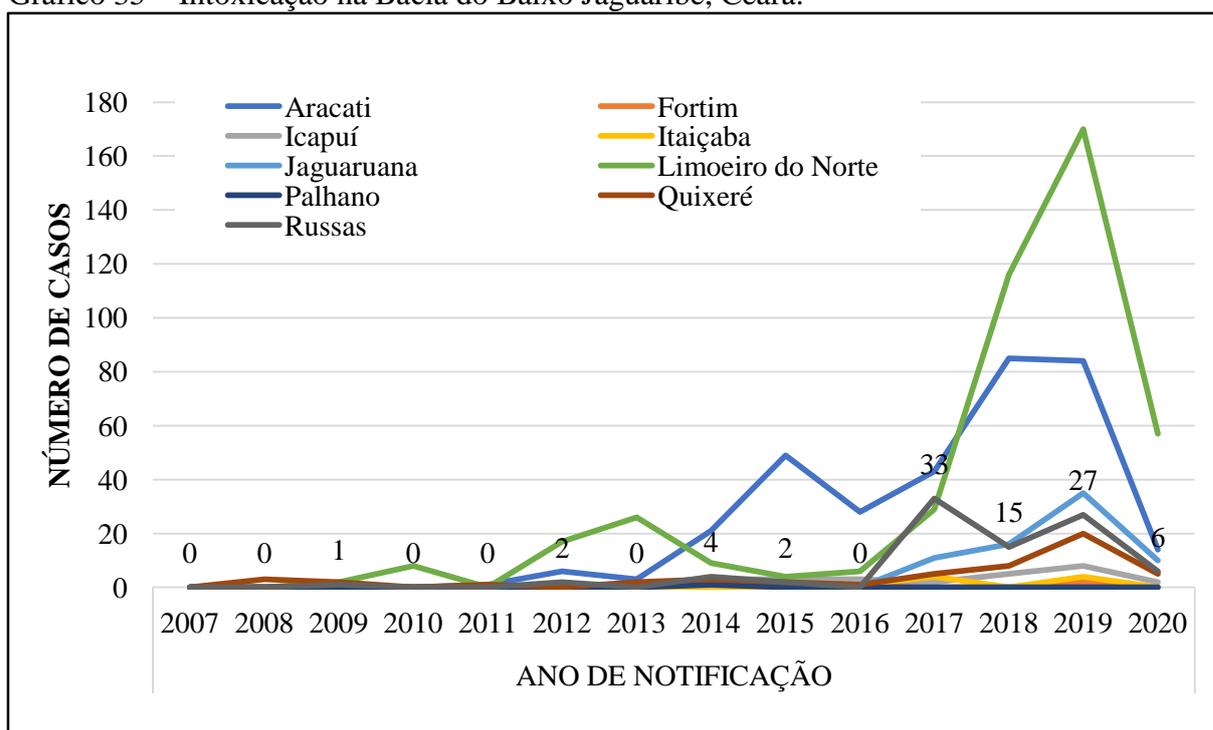
A exposição a agrotóxicos pode causar quadros de intoxicação leve, moderada ou grave, a depender da quantidade do produto absorvido, do tempo de absorção, da toxicidade do produto e do tempo decorrido entre a exposição e o atendimento médico (BENATTO, 2002).

As consequências descritas na literatura compreendem: alergias; distúrbios gastrintestinais, respiratórios, endócrinos, reprodutivos e neurológicos; neoplasias; mortes acidentais; suicídios; entre outros (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019).

Os grupos mais suscetíveis a esses efeitos são: trabalhadores agrícolas, aplicadores de agrotóxicos, crianças, mulheres em idade reprodutiva, grávidas e lactantes, idosos e indivíduos com vulnerabilidade biológica e genética (SANBORN *et al*, 2002) O consumo de agrotóxico no Estado do Ceará, em 2009, ultrapassou o valor de 23.642 toneladas de princípios ativos (59% herbicidas) em 2.076.295 hectares de área plantada. O Ceará notificou no SINAN 326 casos de intoxicação por agrotóxico no ano de 2010, correspondendo a 23% dos casos notificados da região Nordeste (BRASIL, 2011).

Conforme dados disponíveis na plataforma do DATASUS (2022), foi construído um gráfico de intoxicação aguda para municípios que compõem a Bacia do Baixo Jaguaribe, no período de 2007 a 2020, no qual se percebe o crescimento de casos. O município de Limoeiro do Norte destaca-se devido ao uso intenso de agrotóxico na área, seguido por Aracati, Jaguaruana e Russas (Gráfico 35).

Gráfico 35 – Intoxicação na Bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará.



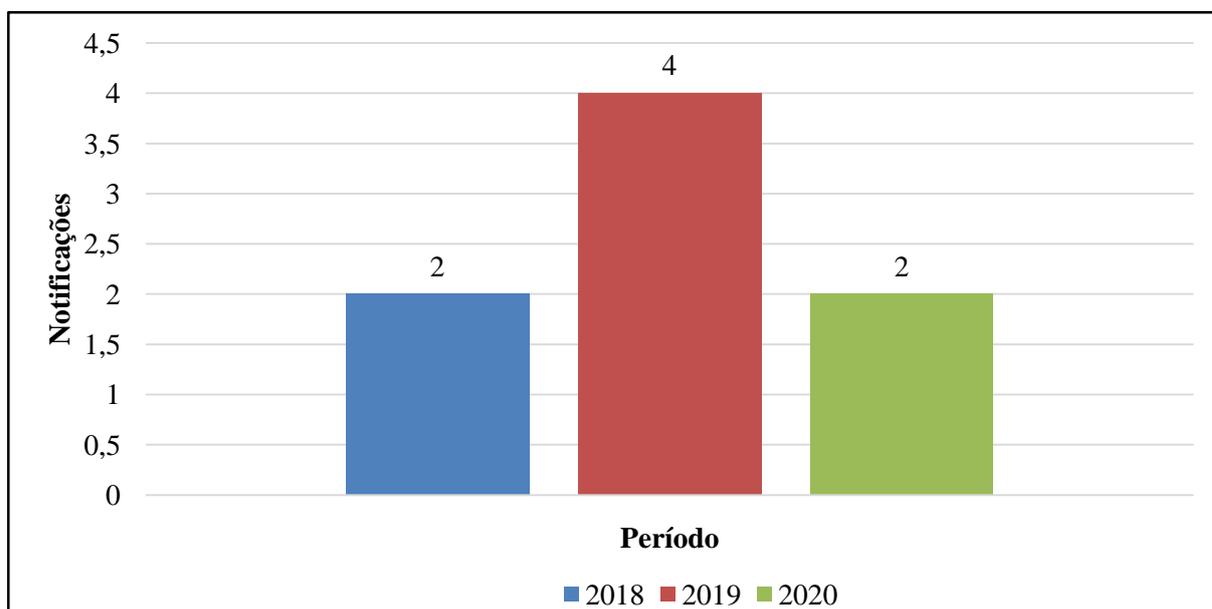
Fonte: DATASUS/SINA (com adaptações, 2022).

4.5.17.1 Intoxicação por agrotóxicos no município Russas

Conforme informações da Secretaria de Saúde do município de Russas, foram registrados oito (08) casos de intoxicação por agrotóxicos no período de 2018 a 2019, (Gráfico 36), sendo a subnotificação um fator implicante nos casos registrados.

Em campo foi vista a pulverização de substâncias no cultivo da banana (Figura 48), como: Score (Difeconazol) - fungicida sistêmico, classificação toxicológica I - extremamente tóxico e classificação do potencial de periculosidade ambiental II e, Danimen 300 EC, inseticida / Acaricida, classe toxicológica categoria III e ambiental classe II.

Gráfico 36 – Notificação por agrotóxicos no município de Russas – CE.



Fonte: Dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde de Russas – CE (2021).

Figura 48 – Pulverização em lotes de plantação de banana do PITR



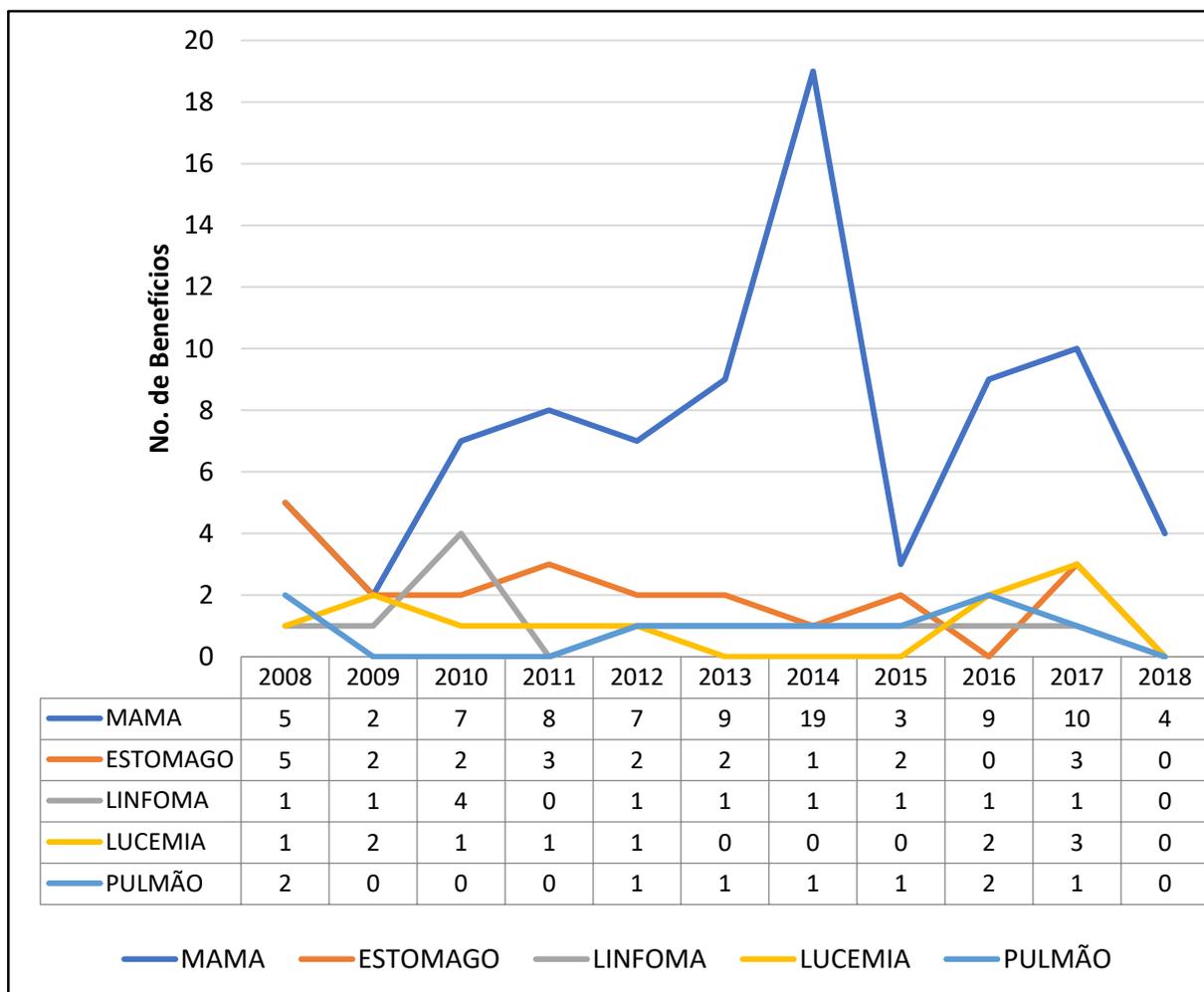
Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.17.2 Impacto social no município de Russas pelo uso de agrotóxicos

O impacto de saúde e social aos trabalhadores expostos ao uso de agrotóxicos são temas de vários estudos e pesquisas. Conforme Abreu; Alonzo (2016), no setor Saúde há uma preocupação diante dessa tendência crescente de comercialização e, conseqüentemente, das intoxicações ocasionadas pela exposição a estes produtos, além dos gastos públicos que são gerados e custeados por toda a população com a recuperação de áreas contaminadas, tratamento de intoxicações agudas e crônicas, casos de morte e invalidez, entre diversos outros desfechos.

De acordo com dados fornecidos pelo INSS, solicitado na plataforma de pedido de acesso a informações de órgãos públicos na Plataforma Fala.BR (SUIBE/INSS, 2019), foi elaborado o Gráfico 37 com as principais CID 10 de benefícios concedidos pelo INSS ao município de Russas.

Gráfico 37 – Benefícios concedidos pelo INSS ao município de Russas – CE (2008 – 2018).



Fonte: SUIBE/INSS (com adaptações, 2019).

Conforme o INSS (2019), no período de 2008 a 2018, o maior número de benefícios foi concedido aos portadores de câncer de mama, seguido por estômago, linfoma, leucemia e pulmão. O câncer de mama é a neoplasia mais frequente em mulheres e alguns estudos mostram desigualdades sociais na sua incidência e sobrevida, o que é pouco estudado no Brasil (GUERRA *et al.*, 2015).

Em pesquisa realizada por Dutra *et al.* (2021), que analisou o uso de agrotóxicos e mortalidade por câncer em regiões de monoculturas, foi escolhido alguns estados para serem analisados, cujas produções de *commodities* fossem as mais significativas no contexto nacional, sendo eles: Mato Grosso (MT), Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS) e São Paulo (SP) e relacionados com alguns tipos de câncer. Em relação às taxas de mortalidade pelos tipos de câncer, o estado de Mato Grosso foi o que apresentou maiores variações entre as taxas dos municípios analisados e o restante do estado, principalmente para os cânceres de mama e útero.

A zona rural tem sido sacrificada no processo de ampliação das fronteiras agrícolas para a produção de *commodities* (DIÓGENES, 2019).

5 CONCLUSÃO

A pesquisa possibilitou realizar estudo da oferta hídrica superficial e subterrânea do município de Russas - CE, no qual foi observado que, em decorrência dos fatores climáticos, os mananciais superficiais e subterrâneos são afetados pelo regime irregular da precipitação local, onde os reservatórios, sejam superficiais ou subterrâneos, não são suficientes para suprir a demanda da população. O município apresenta sistemas hidrogeológicos desfavoráveis à exploração de água, principalmente no cristalino, com vazões são baixas, em média $1,7 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e águas são salobras sendo necessário o uso de dessalinizadores. Por outro lado, existem os depósitos aluvionares no município, que são as litologias propensas ao acúmulo de água doce e apresentam maiores vazões.

No estudo da qualidade das águas, para 2019 (período seco), quanto as análises físico-químicas, as amostras não atenderam os VMPs pela GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde destinadas ao consumo humano nos parâmetros: cloretos, dureza total, ferro total, nitratos, sódio e sólidos totais dissolvidos. Em 2021 (período chuvoso) os parâmetros cloretos, sódio e sólidos totais dissolvidos não atenderam as exigências da legislação.

Para os metais pesados em 2019, os teores de metais apresentaram-se maiores que em 2021. Foram identificadas concentrações acima dos limites: alumínio, bário, cromo total, ferro total, manganês, chumbo, antimônio e zinco.

Na pesquisa para presença de agrotóxicos nas águas foram detectadas as substâncias: Acefato+metamidofos, aldicarbe+aldicarbe sulfóxido, ametrina, carbofurano, dimetoato, imidacloprido, permetrina, tebuconazol, e malation. O agrotóxico acefato e aldicarbe apresentaram valores bem expressivo, 5.570 e 2.358, respectivamente, quando comparados com os valores máximos estabelecidos pela União Europeia.

No estudo do nível aceitável de exposição humana das substâncias pesquisadas, foi observado que o consumo de água pode representar uma exposição crônica preocupante pra as substâncias: Carbofurano, acefato e aldicarbe.

A pesquisa ainda evidenciou que uso indiscriminado de agrotóxicos, além dos graves impactos ambientais, acarretam implicações na saúde da população. Percebeu-se que as neoplasias malignas que mais causam óbitos têm forte relação com o uso dessas substâncias. No estudo ficou evidente que o crescimento progressivo de mortes por câncer ocorreu simultaneamente com expansão do agronegócio na região do Baixo Jaguaribe, bem como a implantação do Perímetro Irrigado Tabuleiros de Russas no ano de 2004. O aumento dos óbitos

por essas malignidades é só um reflexo da falta de políticas públicas de prevenção e controle voltadas para o uso de agrotóxicos no Pitr no intuito de esclarecer os danos que essas substâncias podem causar, principalmente à saúde.

Na área da pesquisa foram identificadas, substâncias de classificação toxicológica (I, II, IV e V) e classe ambiental (I, II, III), Nufosate (Glifosato), Gramoxone 200 (Paraquate), Cyprin, Alto 100, Abamex, Score, Opera, Cabril Top, Furadan e Malation. As substâncias encontradas são de lotes nas áreas do Pitr, em especial nas plantações de bananas. Embora a comercialização tenha sido proibida, o uso do agrotóxico gramoxome, este ainda é utilizado em alguns lotes para controle de erva daninha. O descarte de embalagens vazias de agrotóxicos ocorre sem controle e fiscalização, e a antiga prática de enterrá-las, queimá-las ou guardá-las ainda são presentes nos lotes.

Durante a pesquisa ficou evidente o desconhecimento dos trabalhadores acerca dos danos causados pela exposição aos agrotóxicos. A falta de políticas públicas que promovam orientações básicas sobre o uso dessas substâncias e as questões voltadas aos impactos que essas substâncias possam causar ao meio ambiente e a saúde.

Por fim, diante do cenário atual, a pesquisa arroga-se como importante suporte para a averiguação do uso indiscriminado de agrotóxicos, e seus potenciais impactos na saúde humana e meio ambiente; contribuir com entidades governamentais, nas intervenções e monitoramento em locais com maior vulnerabilidade de contaminação, como as águas de abastecimento, com fito de preservar, orientar e promover programas para maior conscientização do uso e controle dos agrotóxicos.

RECOMENDAÇÕES

Na pesquisa não foi encontrado nenhum plano de gestão municipal para os recursos hídricos. Essa situação não é um desafio somente para o município de Russas – CE, mas para muitos municípios do Brasil, principalmente os do Nordeste, onde o maior empecilho é a falta de empenho político e com isso uma infraestrutura deficiente. Sendo assim, principalmente em períodos de estiagem, se faz necessário um planejamento de abastecimento para o município de Russas-CE;

O município de Russas apresenta águas salobras ou salinas, o que se faz necessário a implantação de dessalinizadores nos poços, principalmente os que abastecem comunidades inteiras. É importante ainda que o poder público fique responsável pela

manutenção desses equipamentos, uma vez que as comunidades, contempladas, são as menos favorecidas economicamente. Outra alternativa é a oferta de água realizada via carros-pipas, porém se deve realizar o monitoramento qualitativo destas águas;

A precariedade de saneamento básico adequado cria situações muito favoráveis à transmissão de diversas doenças, principalmente a diarreia, é interessante que essa estrutura básica seja oferecida a população;

Promover políticas de maior conscientização acerca do uso de agrotóxicos, como: Relação agrotóxicos x saúde (intoxicação e câncer); impactos ambientais; destino das embalagens, dentre outras abordagens pertinentes ao assunto;

Integrar Órgãos Secretaria da Saúde, Cagece, Cogerh (Comitês de Bacias), Sisar e PIRT, e Secretaria da Saúde com intuito de uma maior promoção quanto ao controle e uso de agrotóxicos;

Realizar pesquisas em solos para o estudo dos possíveis impactos causados pelo usos de agrotóxico.

REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 2014.

ABREU, P. H. B. DE; ALONZO, H. G. A. O agricultor familiar e o uso (in)seguro de agrotóxicos no município de Lavras/MG. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 41, n. 0, 2016.

ADECE - AGENCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Perímetros Públicos Irrigados do Ceará** . Disponível em: <https://www.adece.ce.gov.br/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, A. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 177, DE 21 DE SETEMBRO DE 2017. antigo.anvisa.gov.br**, 2017. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/357436>. Acesso em: 9 jun. 2022

AGROTÓXICO MATA - CAMPANHA PERMANENTE CONTRA OS AGROTÓXICOS E PELA VIDA. **Agrotóxicos Banidos**. Disponível em: <https://contraosagrototoxicos.org/agrotoxicos-banidos/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

AGUIAR, A. C. P. **Más-formações congênitas, puberdade precoce e agrotóxicos: uma herança maldita do agronegócio para a Chapada do Apodi (CE)**. Dissertação de mestrado— Universidade Federal do Ceará – UFC: 2017.

ALENCAR-LINARD, Z. **Percepções dos impactos ambientais da indústria de cerâmica no município de Crato estado do Ceará, Brasil.** (A. Saeed-Khan, P. Lima, Eds.)[scielo.org](http://www.scielo.org), 2015. Disponível em: <http://www.scielo.org>.

ALLOWAY, B. J. (ED.). **Heavy Metals in Soils**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995.

ALMEIDA, D. G. DE et al. **História, memória e conflitos territoriais no Ceará: comunidades do Tabuleiros de Russas**. 1a Edição ed. Fortaleza - CE: EdUECE, 2019.

ALVES , F. A. O. V. **Pesquisa de Pesticidas Organoclorados em Sedimentos e Rizo-sedimentos do Estuário do Rio Douro**. Dissertação de mestrado—Faculdade de Ciências - Universidade do Porto: 2005.

AMARAL, E. H. **Resíduos de agrotóxicos organofosforados: validação de método de cromatografia a gás e quantificação em produtos agrícolas**. Dissertação de mestrado— Universidade Federal de Minas Gerais: 2007.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. BRASÍLIA -DF: ANA, 2007.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Extração de Argila no baixo Jaguaribe - CEARÁ — Agência Nacional de Mineração.** Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/extracao-de-argila-no-baixo-jaguaribe-ceara/view>. Acesso em: 3 jun. 2023.

ANTIZAR-LADISLAO, B. Environmental levels, toxicity and human exposure to tributyltin (TBT)-contaminated marine environment. A review. **Environment International**, 34(2), pp. 292-308. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1614725622000000>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ANTONIO, F. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Rio De Janeiro: Cprm, 2008.

ANVISA. **NOTA TÉCNICA - REAVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DO INGREDIENTE ATIVO ACEFATO.** Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Índice Monográfico - A 11 - Ametrina.** Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/a/4139json-file-1>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Reavaliações de agrotóxicos - Nota Técnica - Aldicarbe .** Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/>.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Monografias de agrotóxicos - Anvisa.** Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/en/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/monografia-de-agrotoxicos>. Acesso em: 26 maio. 2022.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA GERÊNCIA GERAL DE TOXICOLOGIA; FIOCRUZ - FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Nota técnica reavaliação toxicológica do ingrediente ativo carbofurano.** Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2922962/02.+Nota+T%C3%A9cnica+Fiocruz+-+Reavalia%C3%A7%C3%A3o+Carbofurano.pdf/91667d2b-d6ba-4521-8a15-706236aca9b3?version=1.0>. Acesso em: 20 jul. 2023.

ANVISA- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Novo marco regulatório - Anvisa.** Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/en/agrotoxicos/novo-marco-regulatorio>. Acesso em: 22 nov. 2022.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2012.

APROMAC - ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE. **Relatório de Gestão no Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA: justificativa da opção pelo rerrefino.** Cianorte. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ARANHA, A.; ROCHA, L.; REPÓRTER BRASIL, A. P. **“Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios.** Disponível em: <https://portrasdoalimento.info/2019/04/15/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios/>.

ARANHA, A.; FREITAS, H.; AGÊNCIA PÚBLICA/REPÓRTER BRASIL. **Água da torneira tem produtos químicos e radioativos em 763 cidades.** Disponível em: <https://apublica.org/2022/03/agua-da-torneira-tem-produtos-quimicos-e-radioativos-em-763-cidades-brasileiras/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 5, p. 1028–1032, mar. 2007.

ARAÚJO, M. E. **Estudo Geomorfológico do extremo Sul do Litoral da Paraíba.** Dissertação Mestrado. —Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia: 1993.

ARMAS, E. D. DE et al. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1119–1127, out. 2007.

ASSAYED, M. E.; KHALAF, A. A.; SALEM, H. A. Protective effects of garlic extract and vitamin C against in vivo cypermethrin-induced teratogenic effects in rat offspring. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 11, p. 3153–3158, nov. 2010.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY. **Addendum to the toxicological profile for mercury.** Disponível em: <https://atsdr.cdc.gov/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ATSDR - U.S. Department of health and human services - Public Health Service - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for nitrate and nitrite.** 2017. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp204.pdf>.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino:** caracterização, variação sazonal, limitações de uso-fdi:010004811- Horizon. Disponível em: <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010004811>. Acesso em: 21 nov. 2022.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da Água na Agricultura. - 2. ed. / 1999 - Livros.** 2. ed. Campina Grande: UFPB - Universidade Federal da Paraíba, 1999.

AZEVEDO, F. A. D.; CHASSI, A. A. DA M. **Metais - Gerenciamento da Toxicidade.** 1ª ed. [s.l.] Atheneu, 2003.

BAIRD, C. **Química ambiental / tradução: Maria Angeles Lobo Recio, Luiz Carlos Marques Carrer.** 2. e d. ed. Porto Alegre: Bookman: 2008.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry.** 4ª Ed ed. New York WH: Freeman and

Company, 2008.

BARBOSA, I. M. et al. Câncer infantojuvenil: relação com os polos de irrigação agrícola no estado do Ceará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, **24(4):1563-1570**, 2019, 2019.

BARBOSA, P. G. A. **Desenvolvimento de método analítico para determinação multirresíduo de agrotóxicos em abacaxi utilizando as técnicas QuEChERS E CG/EM**. Dissertação de mestrado—Universidade federal do Ceará - UFC: 2013.

BARCELOUX, D. G.; BARCELOUX, D. Manganese. **Journal of Toxicology: Clinical Toxicology**, v. 37, n. 2, p. 293–307, jan. 1999.

BARRETO, L. et al. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, 2013.

BASTOS, F. DE H. **Movimento de Massa no Maciço de Baturité (CE) e Contribuições para Estratégias de Planejamento Ambiental**. Tese de Doutorado—Universidade Federal do Ceará: 2012.

BATISTA, C. **Tudo sobre os agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/agrotoxicos/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BAZANTE-YAMAGUISHI, R. **Especiação de alumínio em águas subterrâneas na região do manancial Billings: aplicação da radiação ionizante na digestão amostral para fins analíticos e na proposta de remediação**. Tese de doutorado—USP - Unidade Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares: 2013.

BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4 ed. Fortaleza-CE: Universidade Federal do Ceará, 2010.

BEDOR, C. N. G. **Estudo do potencial carcinogênico dos agrotóxicos empregados na fruticultura e sua implicação para a vigilância da saúde**. Tese de doutorado—Fundação Oswaldo Cruz. Instituto Aggeu Magalhães. Recife, PE, Brasil.: 2008.

BENATTO, A. **Sistemas de informação em saúde nas intoxicações por agrotóxicos e afins no Brasil**. Dissertação de mestrado—Faculdade de Ciências Médicas Unicamp Campinas: 2002.

BERGAMASCO, A. M. D. D. et al. Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil. **Cad. Saúde colet., (Rio J.)**, v. 19(4) out., 2011.

BIRD, C. **Environmental Chemistry**. NY, 484p: WH Freeman and Company, 1995.

BOGIALLI, S. et al. Simple and rapid assay for analyzing residues of carbamate insecticides in bovine milk: hot water extraction followed by liquid chromatography–mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, n. 1-2, p. 351–357, out. 2004.

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito>. Acesso em: 13

jan. 2023.

BOMBARDI, L. **Intoxicação e morte por agrotóxicos no Brasil: a nova versão do capitalismo oligopolizado**: Campanha Permanente Contra os Agrotóxicos e Pela Vida. Disponível em: <http://antigo.contraosagrototoxicos.org/index.php/materiais/artigos-academicos/intoxicacao-e-morte-por-agrotoxicos-no-brasil-a-nova-versao-do-capitalismo-oligopolizado/detail>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BOMBARDI, L. M. **Atlas Geográfico do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia**. 1a. ed. São Paulo: FFLCH - USP, 2017.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 647p, 1983.

BRAGA, B. et al. **Introdução a engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento**. 1. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGANÇA, V.; MELNIKOV, P.; ZANONI, L. LZ Oligoelementos em Sucos de Frutas. *Biol Trace Elem Res* 146. p. 256–261, 2011.

BRAIBANTE, M. E. F.; ZAPPE, J. A. **A química dos agrotóxicos**. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/edicao.php?idEdicao=7>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BRASIL. DECRETO Nº 24.643/34 DE 10 DE JULHO DE 1934. **Decreta o código das águas**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643. Acesso em: 20 jul 2019.

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 a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm. Acesso em: 20 jul. 2020.

BRASIL. DECRETO Nº 10.833, DE 7 DE OUTUBRO DE 2021. **Altera o Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989 que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4074.htm. Acesso em: 19 dez. 2021.

BRASIL. (Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 13 ago. 2019.

BRASIL. LEI Nº 7.802, DE 11 DE JULHO DE 1989. **Dispõe sobre a pesquisa, a**

experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, 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/leis/17802.htm.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Tratamento de águas com excesso de ânions fluoreto e nitrato utilizando HDLs como adsorventes/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; colaboradores Sibebe B. C. Pergher... [et al]** . Natal : Caule de Papiro, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Sistema nacional de vigilância em saúde : relatório de situação:** Ceará / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. 5a. ed. [s.l.] – Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. DEPARTAMENTO DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL E SAÚDE DO TRABALHADOR. **Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos.** 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. DEPARTAMENTO DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL E SAÚDE DO TRABALHADOR. **Agrotóxicos na ótica do Sistema Único de Saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador.** – Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br>. 2018.

BURIGO, A. **Impacto dos Agrotóxicos na alimentação, saúde e meio ambiente: Oficina “Agrotóxicos: impactos e alternativas”** . Disponível em: <https://mobilizadores.org.br/>.

BUSCHINELLI, J. T. **Manual para interpretação de informações sobre substâncias químicas.** São Paulo: Fundacentro, 2012.

CABRAL, M. F. et al. Estudo do comportamento eletroquímico do herbicida ametrina utilizando a técnica de voltametria de onda quadrada. **Eclética Química**, v. 28, n. 2, p. 41–47, 2003.

CAMPOS, M. et al. **Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha.** Disponível em: <https://www.scielo.br>.

CANET, R.; POMARES, F.; TARAZONA, F. Chemical extractability and availability of heavy metals after seven years application of organic wastes to a citrus soil. **Soil Use and Management**, v.13, p.117-121, 1997.

CAPUCCI, E. et al. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários.** Departamento de Recursos Minerais DRM - RJ ed. [s.l.] Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMADS, 2001.

CARACAS, I. **Influência da salinização em parâmetros de qualidade das águas subterrâneas na região costeira do Baixo Jaguaribe.** DISSERTAÇÃO—LABOMAR: 2013.

CARDOSO, C. A. M. **As Obras de Captação e os Aspectos Hidrogeológicos da Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará - Brasil.** Dissertação de Mestrado—Universidade Federal do Ceará - Centro de Ciências - Departamento de Geologia.: 2006.

CARDOSO, L.; CHASIN, A. **Metais pesados: fonte e ação toxicológica.** [s.l.] CRA - Centro de Recursos Ambientais , 2001. v. Série Cadernos de Referência Ambiental, v. 6

CARNEIRO, F. F. et al. **Dossiê ABRASCO – Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Rio de Janeiro, abril de 2012. 1ª Parte. 98p. : ABRASCO, 2012.

CARNEIRO, F. F. et al. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** [s.l.] Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/ Fundação Oswaldo Cruz e Editora Expressão Popular, 2015.

CARVALHO, L. B. DE. **Dinâmica Ambiental de Herbicidas -aula05-06.06.2017.** Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br>.

CARVALHO, N. L. et al. Os efeitos das moléculas de 2,4D, acefato e tebuconazol sobre o meio ambiente e organismos não alvos. **Revista Monografias Ambientais**, p. e2–e2, 15 maio 2020.

CARVALHO, N. L.; PIVOTO, T. S. Ecotoxicologia: conceitos, abrangência e importância agrônômica. **Revista Monografias Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 176–192, 31 mar. 2011.

CASTRO, M. G. G. M. DE. **Avaliação Do Uso De Agrotóxicos e a Qualidade Dos Recursos Hídricos Nos Assentamentos De Reforma Agrária Bernardo Marin II E Mundo Novo, Município De Russas (CE):** Estudo De Caso. Dissertação de Mestrado—FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz: 2008.

CASTRO, M. G. G. M. DE; FERREIRA, A. P.; MATTOS, I. E. Uso de agrotóxicos em assentamentos de reforma agrária no Município de Russas (Ceará, Brasil): um estudo de caso. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 20, n. 2, p. 245–254, 1 jun. 2011.

CASTRO, R. S. DE; CRUVINEL, V. R. N.; OLIVEIRA, J. L. DA M. Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no Distrito Federal/Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 8–19, dez. 2019.

CASTRO, T. F. D. **Toxicidade de fungicida comercial a base de tebuconazol em Danio rerio.** Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CAVALCANTE, A. A. **Morfodinamica Fluvial em Areas Semiaridas: o Rio Jaguaribe a Jusante da Barragem do Castanhao - Ce B.** Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UECE-0_157a145817b84bd34c968a7488692992. Acesso

em: 14 jan. 2023.

CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CEARÁ – ASSEMBLEIA LEGISLATIVA. **LEI Nº 16.820, DE 08 DE JANEIRO DE 2019 (D.O. DE 09 DE JANEIRO DE 2019)**. Disponível em:

<https://www2.al.ce.gov.br/legislativo/legislacao5/leis2018/16820.htm>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CEARÁ - ASSEMBLEIA LEGISLATIVA . **LEI Nº 12.228, DE 09.12.93 (D.O. DE 14.12.93)**. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/1688-lei-n-12-228-de-09-12-93-d-o-de-14-12-93>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CENTENO, J. A. et al. Environmental Pathology. **Essentials of Medical Geology**, p. 569–596, 1 dez. 2012.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de informação toxicológica - FIT - Crômio** . Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de informação toxicológica - FIT - Bário** . Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de informação toxicológica - FIT - Alumínio**. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de Relatório de estabelecimento de Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management**. [s.l.] E & FN Spon, 1999.

CHUNG, K. et al. Agricultural Avermectins: An Uncommon But Potentially Fatal Cause of Pesticide Poisoning. **Annals of Emergency Medicine**, v. 34, n. 1, p. 51–57, jul. 1999.

COELHO, S. C. et al. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 156, 1 jan. 2017.

COGERH - COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Potiguar: Estado do Ceará.** Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/>.

CONAMA. **Resolução No. 335, de 03 de abril de 2008.** , 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br>.

CONAMA - CONCELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 335,** , 2003. Disponível em: https://www2.mppa.mp.br/data/files/3B/B5/07/20/BFBB17107E4491F6180808FF/RESOLUCAO%20CONAMA%20n%20335_%20de%203%20de%20abril%20de%202003.pdf.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº335, de 3 de abril de 2003.** conama.mma.gov.br, 2003. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>.

CORTECCI, G. **Geologia e Saúde -Geologico-Ambientale, Università degli Studi di Bologna Tradução de Wilson Scarpelli, São Paulo, Brasil.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>.

COSTA, C. L. et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33, n. 2, 19 mar. 2013.

COSTA, C. N. et al. **Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: Fundamentos de química do solo.** [s.l.] Porto Alegre, 2004. v. 2 p. 207-237

COSTA, M. A.; MONTEIRO, R. T. R.; TORNISIELO, V. L. Degradação de ametrina em areia quartzosa com adição de solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 43–48, mar. 2000.

COSTA, M. B. **Análise de expressão dos genes de reparo da lesão de fita simples do DNA de trabalhadores rurais expostos à agrotóxicos.** Dissertação de mestrado—Departamento de Medicina Clínica - Faculdade de Medicina, na Universidade Federal do Ceará: 2017.

COUTINHO, A. C. **Análise das preferências dos irrigantes por sistema de cobrança pelo uso da água bruta: o caso do perímetro irrigado de Tabuleiros de Russas.** Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Ceará, PRODEMA - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2015.

COUTO DE LIMA JÚNIOR, E.; ALMEIDA SOUZA, R. C. DE. Repercussões do uso do agrotóxico sistêmico na cultura irrigada do coco no polo Juazeiro/Petrolina. **revistas.unifacs.br**, 2015.

CPRM - SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL. . **Diagnostico do município de Massapé.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Ceara---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-588.html>. Acesso em: 21 nov. 2022.

CRUZ, A. Estudo de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro: Modelagem Hidrogeoquímica e Avaliação de Vulnerabilidade à Intrusão Marinh. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. Vol. 29 p. 268-291, n. ISSN 0101-9759, 2006.

CUNHA, F. J. DE S. et al. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AQUÍFERO LIVRE NA REGIÃO DO CEMITÉRIO BOM JESUS DOS AFLITOS, RUSSAS – CE, BRASIL. **Águas Subterrâneas**, 20 set. 2008.

CUNHA, T. J. F. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [s.l.] Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

CUSTÓDIO, E. (ED.). **Notas sobre hidroquímica**. Barcelona: Comisaría de águas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas, 1965.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1996.

DATASUS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças e Agravos de Notificação - 2007 em diante (SINAN)**. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 22 maio 2022.

DE ALBUQUERQUE JUNIOR, E. C.; DOS SANTOS RODRIGUES, H. O. Ametrina em corpos hídricos da bacia do botafogo, litoral norte de Pernambuco. **Revista de Biotecnologia & Ciência (ISSN 2238-6629)**, v. 10, n. 2, p. 54–60, 23 dez. 2021.

DEL GRANDE, M.; REZENDE, M. O. O.; ROCHA, O. Distribuição de compostos organoclorados nas águas e sedimentos da bacia do rio Piracicaba/SP - Brasil. **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 678–686, out. 2003.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1296–1301, 1 dez. 2014.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2000.

DIÓGENES, S. DA S. **(In)visibilização das causas de câncer na zona rural do município de Limoeiro do Norte-CE: a vulnerabilização das comunidades rurais e os riscos dos usos dos agrotóxicos**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) — Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2017.

DISTAR. Página Inicial. Disponível em: <https://www.distar.org/>. Acesso em: 12 mar. 2019.

DNOCS - DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS . Síntese Informativa dos Perímetros Irrigados do Dnocs - Ano Agrícola 2013. **Departamento Nacional de Obras Contra as Secas**, 18 out. 2013.

DNOCS - DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS . **Relatório -**

SÍNTESE INFORMATIVA DOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO COM SUAS RESPECTIVAS FONTES HÍDRICAS ANO AGRÍCOLA 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/capacitacao-e-desenvolvimento/relatorios>. Acesso em: 19 ago. 2023.

DOMINGUES, F. **Entenda o que é o glifosato, o agrotóxico mais vendido do mundo.** Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/05/26/entenda-o-que-e-o-glifosato-o-agrotoxico-mais-vendido-do-mundo.ghtml>. Acesso em: 9 abr. 2022.

DOPICO, M. S. et al. Determination of Triazines in Water Samples by High-Performance Liquid Chromatography with Diode-Array Detection. **Journal of Chromatographic Science**, v. 40, n. 9, p. 523–528, 1 out. 2002.

DOS SANTOS, J. S.; DOS SANTOS, M. L. P.; DE OLIVEIRA, E. **Estudo da mobilização de metais e elementos traços em ambientes aquáticos do semi-árido brasileiro aplicando análises de componentes principais.** Disponível em: <https://www.scielo.br/>.

DUTRA, L. S. et al. Uso de agrotóxicos e mortalidade por câncer em regiões de monoculturas. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 1018–1035, 31 mar. 2021.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Disponível em: <https://embrapa.br>. Acesso em: 23 mar. 2022.

EPA- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY . **TOXICOLOGICAL REVIEW OF HEXAVALENT CHROMIUM (CAS No. 18540-29-9)** . Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ESMERALDO, G. G. S. L. et al. **Políticas Públicas para os povos do Semiárido: Avanços e Desafios.** Fortaleza: SDA – Secretaria do Desenvolvimento Agrário, 2017.

ESTEVES, F. DE A. **Fundamentos de limnologia.** 2 e d. ed. Rio de Janeiro: Interciência/INEP, 1998.

FARIA, N. M. X.; FASSA, A. G.; FACCHINI, L. A. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 25–38, mar. 2007.

FARLEY, T.; MCFARLAND, L. ALDICARB COMO CAUSA DE INTOXICAÇÃO ALIMENTAR--LOUISIANA, 1998. **Journal of the American Medical Association - v.281, n.21, p.1979-1980**, 1999.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** [s.l.] CPRM, 2008.

FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.** 2. ed. [s.l.] CPRM/REFO, LAHID-UFPE, 2000.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira.** Fortaleza: Multigraf Editora, 1998.

FERNANDES, D. et al. **Determinação de metais-traço em sedimentos provenientes de carcinicultura no estuário do rio Choró, município de Beberibe, estado do Ceará.** Disponível em: <https://www.iwra.org/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

FERREIRA FILHO, L. I. P. **Alterações citogenômicas na medula óssea de trabalhadores rurais expostos a agrotóxicos.** Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Ceará. Faculdade de Medicina. Departamento de Medicina Clínica: 2013.

FERREIRA, M. J. M. et al. Gestão e uso dos recursos hídricos e a expansão do agronegócio: água para quê e para quem? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 743–752, mar. 2016.

FILHO, F.; PIRES, L. I. **Alterações citogenômicas na medula óssea de trabalhadores rurais expostos a agrotóxicos.** Dissertação de Mestrado—Faculdade de Medicina - Universidade Federal do Ceará: 2013.

FIOCRUZ - MAPA DE CONFLITOS - INJUSTIÇA AMBIENTAL E SAÚDE NO BRASIL. **CE – Uso indiscriminado de agrotóxicos contamina recursos hídricos e é a provável razão da forte incidência de câncer em populações trabalhadoras e moradoras do vale do Jaguaribe.** Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/ce-uso-indiscriminado-de-agrotoxicos-contamina-recursos-hidricos-e-e-a-provavel-razao-da-forte-incidencia-de-cancer-em-populacoes-trabalhadoras-e-moradoras-do-vale-do-jaguaribe/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

FIOCRUZ - SÉRIE FIOCRUZ - DOCUMENTOS INSTITUCIONAIS. **Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade - Capítulo 2. Agrotóxicos.** [s.l.] Fundação Oswaldo Cruz , 2018. p. 42

FLORES, A. V. et al. Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 111–124, dez. 2004.

FRANÇA, C. L. E. et al. Caracterização físico-química das águas superficiais do Rio São Francisco nos municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 218–230, 5 nov. 2019.

FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides - PA.** Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Pará: 2018.

FREITAS , H. **Mapa da água: como garantir uma água limpa para beber?** Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2022/03/mapa-da-agua-como-garantir-uma-agua-limpa-para-beber/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

FREITAS, M. G. D. **Avaliação do herbicida glifosato presente na atmosfera. Estudo de caso: município de Limoeiro do Norte-CE.** Desertação de mestrado —Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará: 2015.

FRIZZO , S. **Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no estado do Ceará.** Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br>. Acesso em: 4 abr. 2022.

FUNASA. **Tratamento de águas com excesso de ânions fluoreto e nitrato utilizando HDLs como adsorventes**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

FUNCEME. **Precipitações históricas para o baixo Jaguaribe**. Disponível em: <http://www.funcome.br/monitoramento/graficosdechuvras.%3E/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/hidro-ce-zend/mi/midia/show/149>. Acesso em: 28 mar. 2022.

GAIO, S. **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica**. Dissertação de mestrado—Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências: 2016.

GALLI, A. et al. Utilização de técnicas eletroanalíticas na determinação de pesticidas em alimentos. **Química Nova**, v. 29, p. 105–112, 1 fev. 2006.

GAMA, A. F. **Avaliação espaço/temporal e influência da composição sedimentar na distribuição dos agrotóxicos mais utilizados na mesorregião do Rio Jaguaribe - Ceará**. 2018.

GAMA, A. F.; OLIVEIRA, A. H. B. DE; CAVALCANTE, R. M. Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense. **Quim. Nova**, Vol. 36, No. 3, p. 462–467, 2013.

GARBELLINI, G. S. et al. Metodologias eletroanalíticas para a determinação de herbicidas triazínicos por voltametria de onda quadrada e técnicas de deconvolução. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2025–2034, 2007.

GERAGE, J. M.; MEIRA, A. P. G.; DA SILVA, M. V. Food and nutrition security: pesticide residues in food. **Nutrire**, v. 42, n. 1, 7 fev. 2017.

GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2a. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

GILSON, I. K. et al. Predição teórica da contaminação por agrotóxicos nos recursos hídricos de realça, Paraná. **Biodiversidade**, v. 19, n. 2, 17 maio 2020.

GOMES NETO, A. DE O. **Neotectônica do baixo vale do rio Jaguaribe - Ceará**. Tese de doutorado—Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas: 2007.

GOMES, H. DE O. et al. Evaluating the presence of pesticides in bananas: An integrative review. **www.journals.elsevier.com**, p. Ecotoxicology and Environmental Safety - V 189 - 110016, 2020a.

GOMES, H. DE O. et al. A socio-environmental perspective on pesticide use and food

production. **Ecotoxicology and Environmental Safety** - V. 197, 110627, 2020b.

GOMES, M.; SPADOTTO, C.; CERDEIRA, A. **Agência de Informação Embrapa Dinâmica de agroquímicos**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01_6_299200692525.html. Acesso em: 31 maio. 2022.

GONÇALVES, H.; EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Df: Embrapa, 2018.

GONZÁLEZ CANGA, A. et al. The pharmacokinetics and metabolism of ivermectin in domestic animal species. **The Veterinary Journal**, v. 179, n. 1, p. 25–37, jan. 2009.

GOOGLE EARTH. **Overview – Google Earth**. Disponível em: <http://earth.google.com/>.

GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technology**, v. 6, n.3, p. 701-708, v. 6, 1992.

GOULART, S. M. **Avaliação da técnica de extração com partição em baixa temperatura na análise de carbamatos em alimentos e bebidas**. Tese (Doutorado em Agroquímica) — Universidade Federal de Viçosa - Viçosa: 2010.

GRABOW, W. O. K. Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. **Water SA (South Africa)**, v. 22 - , n.2, p. 193 - 202, 1996.

GRISOLIA, C. K. **Agrotóxicos - mutações, câncer & reprodução**. 1a. ed. [s.l.] Editora Universidade de Brasília, 2005.

GRIZA, F. T. et al. Avaliação da contaminação por organofosforados em águas superficiais no município de Rondinha - Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1631–1635, 2008.

GUERRA, M. R. et al. Sobrevida por câncer de mama e iniquidade em saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, n. 8, p. 1673–1684, ago. 2015.

GUIMARÃES, J. **Mais de 70% das mortes por agrotóxicos ocorrem nas regiões Sudeste e Nordeste**. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2019/08/22/mais-de-70-das-mortes-por-agrotoxicos-ocorrem-nas-regioes-sudeste-e-nordeste>. Acesso em: 11 jun. 2022.

GUNTHER, W. M. R. **Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados - Estudo de caso**. Tese de doutorado—Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo: 1998.

GURGEL, A. **“Há um grande sub-registro de casos de intoxicação”**. Disponível em: <https://www.brasildefatope.com.br/2018/08/15/ha-um-grande-sub-registro-de-casos-de-intoxicacao-afirma-aline-gurgel>. Acesso em: 27 fev. 2023.

HESS (ORG.), S. C. Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil. **Universidade Federal de**

Santa Catarina, 2018.

HOUNSLOW, A. W. **Water quality data: analysis and interpretation.** In: **Uso da análise multivariada para subsidiar no monitoramento da qualidade da água subterrânea na bacia sedimentar do Araripe, sul do estado do Ceará - ISSN: 1980-900X (online).** New York: Lewis Publishers, 1995.

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Chromium, Nickel and Welding IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume.** [s.l.] IARC, 1990. v. 49

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Perfis Ambientais de Agrotóxicos.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/perfis-ambientais#perfis-ambientais>. Acesso em: 17 abr. 2022.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS . **Parecer Técnico Final SEI 6842334 Imidacloprido.** Disponível em: <http://ibama.gov.br/component/phocadownload/file/7602-parecer-tecnico-final-sei-6842334-imidacloprido>. Acesso em: 1 jun. 2022.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS . **Perfil ambiental - Acefato.** Disponível em: <http://ibama.gov.br/component/phocadownload/file/9061-perfil-ambiental-acefato>. Acesso em: 1 jun. 2022.

IBAMA -INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>.

IBAMA- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS . **Instrução Normativa IBAMA nº 17, de 01/05/2009.** Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/index.html>. Acesso em: 30 maio. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Pesquisa Nacional de Saneamento BásicoIbge.gov.br.** 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/russas/pesquisa/30/0>. Acesso em: 11 jun. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Saúde.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/russas/panorama>. Acesso em: 11 jun. 2022.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Estimativa 2020 : incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro : INCA, 2019.** Disponível em: <https://www.inca.gov.br>.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer : aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 2021.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Agrotóxico**. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>.

INCHEM/IPCS. **Aldicarb (EHC 121, 1991)**. Disponível em: <https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc121.htm>. Acesso em: 16 abr. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Some Organophosphate Insecticides and Herbicides**. [s.l.] International Agency For Research On Cancer, 2017.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ . **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades** . Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ . **IPECE informe / Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) / Fortaleza – Ceará**.

IUPAC. **IUPAC | International Union of Pure and Applied Chemistry**. Disponível em: <https://iupac.org/>.

JESCHKE, P. et al. Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2897–2908, 13 abr. 2011.

JORGE, R. **Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado por metais pesados e boro e o uso do nabo forrageiro como fitoextratora**. Dissertação—Instituto Agrônômico (IAC): 2009.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. Third Edition ed. [s.l.] Boca Raton, 2001.

KLAASSEN, C. D. **Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons**. 8th. ed. New york: McGraw-Hill Education, 2013.

KOIFMAN, S.; HATAGIMA, A. **Exposição aos agrotóxicos e câncer ambiental**. In F. Peres & JC Moreira (orgs.). **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: Fiocruz - 75-99, 2003.

KOIFMAN, S.; KOIFMAN, R. J.; MEYER, A. Human reproductive system disturbances and pesticide exposure in Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, n. 2, p. 435–445, abr. 2002.

KOSIKOWSKA, M.; BIZIUK, M. Review of the determination of pesticide residues in ambient air. **Trends in Analytical Chemistry**, v. v. 29, p. 1064–1072, 2010.

KREIDLER, W. L.; ANDERY, P. A. **Mapa geológico da área sedimentar costeira do estado do Rio Grande do Norte e parte do Ceará. Rio de Janeiro: Conselho Nacional do Petróleo. p. 86-90.**

LARINI, L. **Toxicologia dos Praguicidas.** 1^a. ed. São Paulo: Editora Manole, 1999.

LAZZERI, T. **Agrotóxicos: Brasil libera quantidade até 5 mil vezes maior do que Europa.** Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2017/11/agrotoxicos-alimentos-brasil-estudo/>. Acesso em: 9 jun. 2022.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão Concisa.** 4a Edição ed. [s.l.] São Paulo: Edgard Blicher Ltda, 1996.

LEWIS, K. A. et al. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 22, n. 4, p. 1050–1064, 11 jan. 2016.

LIMA, L. M.; SOUZA, E. L. DE ; FIGUEIREDO, R. DE O. **ANÁLISE DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR AGROTÓXICOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ CUMARU -MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇU (PA).** Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/>.

LIMA, L. M.; SOUZA, E. L. DE; FIGUEIREDO, R. DE O. Retenção do dimetoato e sua relação com pH e teores de argila e matéria orgânica nos sedimentos da zona não-saturada de uma microbacia no nordeste paraense. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 187–194, jun. 2007.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil – um guia para ação em defesa da vida.** Rio de Janeiro: AS-PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. DE. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117 abr-jun, p. 518–534, 17 jul. 2018.

LÓPEZ GETA, J. A.; MENA INGLÉS, J. M. **ASPECTOS METODOLÓGICOS EN EL ESTUDIO DE LA INTRUSIÓN SALINA. DOCUMENTO BÁSICO.** Disponível em: https://www.igme.es/igme/publica/libros2_TH/libro41/lib41.htm. Acesso em: 19 jan. 2023.

MACEDO, J. A. B. **água potável, industrial, reúso, aproveitamento, química ambiental.** Disponível em: <https://www.aguaseaguas.com/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

MACIEL, E. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica de multirésíduos para quantificação de resíduos de pesticidas em manga (Mangifera indica).** Dissertação de mestrado—Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba: 2005.

MACIEL, L. M. et al. Agricultura, saúde e ambiente: análise sobre o consumo e comercialização de agrotóxico no Ceará. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 1, n. 1, 5 nov. 2017.

MACKAY, D.; SHIU, W. Y.; MA, K.-C. **Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Vol. 5, Pesticide chemicals.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1997.

MANASSÉS, F. **CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ.** Dissertação de mestrado: 2009.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>.

MARCHETTI, M.; LUCHINI, L. C. SORÇÃO/DESSORÇÃO E MINERALIZAÇÃO DO INSETICIDA ACEFATO EM SOLO. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 14, 31 dez. 2004.

MARCOLAN, L.; BOUROTTE, C.; BERTOLO, R. **Estratificação das concentrações de cromo hexavalente nas águas subterrâneas do aquífero adamantina, município de Urânia, SP, Brasil.** Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

MARINHO, A. M. C. P. **Contextos e contornos da modernização agrícola em municípios do Baixo-Jaguaribe-CE: o espelho do (des)envolvimento e seus reflexos na saúde, trabalho e ambiente.** Tese de doutorado—USP - Faculdade de Saúde Pública: 2010.

MARQUES, J. M. G.; SILVA, M. V. DA. Estimativa de ingestão crônica de resíduos de agrotóxicos por meio da dieta. **Revista de Saúde Pública**, v. 55, 23 jun. 2021.

MARTINS, I. Capítulo 3 - Manganês . In: **Metais - Gerenciamento da Toxicidade.** [s.l.] Atheneu, 2003.

MATA, J. S. DA ; FERREIRA , R. L. **Agrotóxico No Brasil - Uso e Impactos ao Meio Ambiente e a Saúde Pública.** Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2013/08/02/agrotoxico-no-brasil-uso-e-impactos-ao-meio-ambiente-e-a-saude-publica-por-joao-siqueira-da-mata-e-rafael-lopes-ferreira/>.

MATOS, B. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo.** Tese de Doutorado—<https://www.teses.usp.br/>: 2001.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo.** Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19122001-082301/pt-br.php>. Acesso em: 7 maio. 2022.

MCDANIEL, K. L.; MOSER, V. C. Utility of a neurobehavioral screening battery for differentiating the effects of two pyrethroids, permethrin and cypermethrin. **Neurotoxicology and Teratology**, v. 15, n. 2, p. 71–83, 1 mar. 1993.

MENDES, B. S.; OLIVEIRA, J. S. **Qualidade da Água para Consumo Humano**. 1a Edição ed. Lisboa: Lidel, 2004.

MENDES, L. S. A. DOS S. et al. Diagnóstico da oferta hídrica do município de Russas – CE: Uma análise descritiva como subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, 03 (2021) 1612-1625., 2021.

MENDES, L. S. A. DOS S. et al. **XI Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária**. Disponível em: <https://www.even3.com.br/sbea/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MENDES, L.; SOUSA, J. **APPLICATION OF THE GOD METHOD FOR ASSESSING THE VULNERABILITY OF AQUIFERS IN THE MUNICIPALITY OF RUSSAS – CEARÁ - BRASIL**. Disponível em: <https://icongresso.abas.itarget.com.br/anais/index/resultado/index/index/cc/3>. Acesso em: 25 mar. 2022.

MESTRINHO, S. S. P. **Aspectos da hidrogeoquímica voltados para classificação das águas subterrâneas. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. 8ª Reunião GT CONAMA. Natal, RN. Julho, 2006.**

MEYER, A. et al. Cancer mortality among agricultural workers from Serrana Region, state of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Research**, v. 93, n. 3, p. 264–271, nov. 2003.

MILHOME, M. A. L. et al. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 363–372, set. 2009.

MILHOME, M. A. L. **Influência do uso de agrotóxicos na qualidade dos recursos hídricos da região do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi/CE**. Tese De Doutorado—(Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2011.

MILHOME, M. A. L. et al. Influence the USE of Pesticides in the Quality of Surface and Groundwater Located IN Irrigated Areas of Jaguaribe, Ceara, Brazil. **International Journal of Environmental Research**, v. 9, n. 1, p. 255–262, 1 jan. 2015.

MONTEIRO, C. A.; CONDE, W. L.; POPKIN, B. M. Part I. What has happened in terms of some of the unique elements of shift in diet, activity, obesity, and other measures of morbidity and mortality within different regions of the world? **Public Health Nutrition**, v. 5, n. 1a, p. 105–112, fev. 2002.

MORAIS, C. M. Q. DE J. **Avaliação de método enzimático para monitorar a presença de agrotóxicos organofosforados em leite bovino**. tese de doutorado—Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2009.

MORGENSTERN, H. Ecologic Studies in Epidemiology: Concepts, Principles, and Methods. **Annual Review of Public Health**, v. 16, n. 1, p. 61–81, maio 1995.

MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 268, n. 2, p. 157–177, abr. 2013.

MOTAS-GUZMÁN, M. et al. Intentional poisoning of animals in southeastern Spain: a review of the veterinary toxicology service from Murcia, Spain. **Veterinary and human toxicology**, v. 45, n. 1, p. 47–50, 1 fev. 2003.

MST -MOVIMENTO DOS TRABALHADORES RURAIS SEM TERRA. **Agrotóxicos estão entre os maiores contaminadores da água**. Disponível em: <https://mst.org.br/2014/03/19/agrotoxicos-estao-entre-os-maiores-contaminadores-da-agua/>. Acesso em: 7 abr. 2022.

NETO, M. DE L. F.; FERREIRA, A. P. **Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos**. **INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, 2007.

NOVO, M. DO C. DE S. S. et al. **Efeito de sulfoniluréias no desenvolvimento da parte aérea e na tuberização da batata**. Campinas: Instituto Agronômico - IAC, 2011.

OGIHARA, C. H. **Desenvolvimento e validação de método para a determinação de multirresíduos de agrotóxicos em solo empregando o método QuEChERS e a cromatografia líquida de ultra alta eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial**. Dissertação de mestrado —Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química: 2018.

OLIVEIRA, C. DE. **Áreas agrícolas que utilizam agrotóxicos têm mais casos de câncer infante-juvenil**. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/saude-e-ciencia/2016/08/agrotoxicos-estao-associados-a-aumento-de-cancer-entre-criancas-e-adolescentes-no-ceara-5237/>. Acesso em: 9 abr. 2022.

OLIVEIRA, F. et al. Exposição potencial a baixas doses de cromo por via oral e mortalidade por câncer de estômago na população do interior do Estado de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 4, 2021.

OLIVEIRA, F. B. DE. **Degradacao do meio fisico e implicacoes na bacia do rio Jaguaribe- Joao Pessoa-PB**. Dissertação de mestrado—Universidade Federal de Pernambuco: 2001.

OPAS/OMS -ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE REPARTIÇÃO SANITÁRIA PAN-AMERICANA, ESCRITÓRIO REGIONAL DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **MANUAL DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE DE POPULAÇÕES EXPOSTAS A AGROTOXICOS**. In: **ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE**. [s.l.] Ministério da Saúde/Secretaria de Vigilância Sanitária/Departamento Técnico-Normativo/Divisão de Meio Ambiente e Ecologia HumanA, 1996.

PADULLA, L. **O Agro não para...de destruir, poluir e matar!** Disponível em: <https://contraosagrotoxicos.org/o-agro-nao-parade-destruir-poluir-e-matar/>. Acesso em: 7 dez.

2021.

PAIVA, M.; BAUMGARTEN, M. DA G.; WALLY, M. Especificação do ferro em águas subterrâneas: otimização do método espectrofotométrico na região da luz visível. **Revista Analytica - Fevereiro/Março 2012 • Nº 57**, p. 57–66, 2012.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. DE. Assistência técnica na agricultura brasileira : uma análise sobre a origem da orientação técnica por meio do Censo Agropecuário de 2017. <http://www.ipea.gov.br>, 1 out. 2021.

PERES, F.; MOREIRA, J. C.; DUBOIS, G. S. **Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema In É veneno ou é remédio? agrotóxicos, saúde e meio ambiente**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ p. 21-41., 2003.

PERES, F.; MOREIRA, J. C.; LUZ, C. Os impactos dos agrotóxicos sobre a saúde e o ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 4–4, mar. 2007.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUZA, E. L. DE. FATORES RESPONSÁVEIS PELA OCORRÊNCIA DE FERRO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA. **Águas Subterrâneas**, 26 jul. 2002.

PIMENTEL, D. Green revolution agriculture and chemical hazards. **Science of The Total Environment**, v. 188, p. S86–S98, set. 1996.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Environmental and Economic Costs of the Application of Pesticides Primarily in the United States. **Integrated Pest Management**, v. 3, p. 47–71, 2014.

PIMENTEL, L. C. F. et al. O inacreditável emprego de produtos químicos perigosos no passado. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 1138–1149, out. 2006.

PINTO, I. C. **Monitoramento das águas subterrâneas do aterro de resíduos da construção civil e inertes, no bairro Jd. Wenzel, em Rio Claro-SP**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/120597>.

PIO, L. **Gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados**. Pós-Graduação “Lato sensu” em Gestão Ambiental—AVM-EDUCACIONAL: 2010.

PIRES, M. V. **Desenvolvimento e emprego de um banco de dados para a condução de estudos de avaliação do risco da exposição crônica a resíduos de agrotóxicos na dieta**. Dissertação de mestrado—Universidade Estadual de Londrina: 2013.

PIUCI, J.; FENZI, N. **Ocorrência, Conseqüência e remoção do ferro nas águas subterrâneas**. **Revista Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org>. Acesso em: 5 abr. 2022.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Editora Arte Visual, 2009.

POMPEU, G. V. M.; TASSIGNY, M. M. **Seca, fornalha e estado de emergência**. Fortaleza

: INESP , 2006.

PONTES, A. G. V. et al. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3213–3222, nov. 2013.

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul. In: Leal, I. R.; Tabarelli, M. & Silva, J. M. C. (eds.). Ecologia e conservação da caatinga. Ed. Universitária da UFPE, Recife. Pp. 3-73.**

PRATA, F. et al. Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 975–981, jul. 2001.

PRESS , F. et al. **Para Entender a Terra** . 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RADANBRASIL. **IBGE | Biblioteca | Detalhes | Folha SA. 24 Fortaleza : geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL.** - . Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=281393&view=detalhes>. Acesso em: 14 jan. 2023.

RAGOUC-SEGLER, C. et al. Aldicarb poisoning. **Human & Experimental Toxicology**, v. 19, n. 12, p. 657–662, dez. 2000.

RAMOS, M. **Remoção de cor, ferro e manganês de águas com matéria orgânica dissolvida por préoxidação com dióxido de cloro, coagulação e filtração.** Dissertação de mestrado—Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto: 2010.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JR. , B. P. F.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

REIS, F. C. DOS . **Comportamento de herbicidas no ambiente - PDF Free Download.** Disponível em: <http://docplayer.com.br/85828754-Dra-fabricia-cristina-dos-reis.html>.

RIBANI, M. et al. VALIDAÇÃO EM MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS E ELETROFORÉTICOS. **Química Nova - Vol. 27, No. 0, 1-x**, 2004.

RIGOTTO, R. **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE.** Fortaleza - CE: Co-edição com a Expressão Popular./ Raquel Rigotto. [organizadora]. – Fortaleza: Edições UFC, 2011a.

RIGOTTO, R. M. OS CONFLITOS ENTRE O AGRONEGÓCIO E OS DIREITOS DAS POPULAÇÕES: O PAPEL DO CAMPO CIENTÍFICO. **PEGADA - A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 12, n. 1, 30 dez. 2011b.

RIGOTTO, R. M. et al. Tendências de agravos crônicos à saúde associados a agrotóxicos em região de fruticultura no Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 16, p. 763–773, 1 set. 2013.

RISSATO, S. R. et al. Determinação de pesticidas organoclorados em água de manancial, água potável e solo na região de Bauru (SP). **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 739–743, out. 2004.

ROBERTS, J. R.; REIGART, J. R. **Recognition and Management of Pesticide Poisonings - U.S. Environmental Protection Agency (EPA)**. 6th Edition ed. Washington: National Association of State Departments of Agriculture Research Foundation (NASDARF), 2013.

ROCHA, R.; PEZZINI, M. F.; POETA, J. Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional. **Ciência em Movimento**, v. 19, n. 39, p. 23, 30 maio 2018.

RÓDIO, G. R.; ROSSET, I. G.; BRANDALIZE, A. P. C. Exposição a agrotóxicos e suas consequências para a saúde humana. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e43010817526, 15 jul. 2021.

ROHDEN, J. **Anvisa para de testar agrotóxicos nos alimentos**. Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2022/05/anvisa-para-de-testar-agrotoxicos-nos-alimentos/>. Acesso em: 5 fev. 2023.

ROHR, P. **Influência de polimorfismos em genes de reparo no risco ocupacional de viticultores do Rio Grande do Sul**. dissertação de mestrado—Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2008.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/6323>. Acesso em: 7 out. 2022.

RUPA, D. S.; REDDY, P. P.; REDDI, O. S. Reproductive performance in population exposed to pesticides in cotton fields in India. **Environmental Research**, v. 55, n. 2, p. 123–128, ago. 1991.

SALATI, P. **Liberação de agrotóxicos em 2021 bate novo recorde na série histórica; maioria é genérico**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/12/06/liberacao-de-agrotoxicos-em-2021-bate-novo-recorde-na-serie-historica-maioria-e-generico.ghtml>.

SANBORN, M. D. et al. Identifying and managing adverse environmental health effects: 4. Pesticides. **CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne**, v. 166, n. 11, p. 1431–1436, 28 maio 2002.

SANCHES FILHO, P. J. **Desenvolvimento de procedimentos para extração e determinação de nitrosaminas em alimentos**. Tese de doutorado—Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química. Programa em Pós-Graduação em Química: 2002.

Saneamento Básico em Russas, CE. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/russas-ce/#>. Acesso em: 11 jun. 2022.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica**. In: **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio De Janeiro: CPRM, 2008.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS .
Município em Números - Russas. Disponível em:

<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ce/sebraeaz/municipio-em-numeros-programa-cidade-empreadora,c9e6f2b1819bd710VgnVCM100000d701210aRCRD>.

SETIC-UFSC. **UFSC na mídia: metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras.** Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2018/03/ufsc-na-midia-metals-pesados-hormonios-e-agrotoxicos-estao-na-agua-que-chega-as-torneiras/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

SILVA NETO, G. C. E et al. O nível de concentração de alumínio na água como fator de risco para o desenvolvimento da doença de alzheimer / The aluminum concentration level in water as a risk factor for the development of alzheimer's disease. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 15324–15339, 2020.

SILVA, A. B. DA. Evolução química das águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, v. 7, n. 1, 12 maio 1984.

SILVA, C. et al. **Geologia médica no Brasil : efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente : 2005 / Workshop Internacional de Geologia Médica.**

Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=237695>. Acesso em: 4 abr. 2022.

SILVA, C. L. DA. **Análise da vulnerabilidade ambiental aos principais pesticidas recomendados para os sistemas de produção de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja.** Dissertação de mestrado—Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas- SP: 2004.

SILVA, D. R. O. DA et al. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2383–2389, dez. 2009.

SILVA, E. D. DA . **Qualidade de vida dos agricultores expostos a agrotóxicos na produção de coco: estudo de caso no perímetro irrigado de São Gonçalo.** Dissertação de mestrado—Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia : Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

SILVA, E. F. DA et al. Prevalência de morbidades e sintomas em idosos: um estudo comparativo entre zonas rural e urbana. **cienciaesaudecoletiva.com.br**, 2011.

SILVA, E. P. DA. **Acúmulo e carreamento de metais pesados e sólidos em superfícies asfálticas.** Dissertação de mestrado—Universidade Federal de Goiás: 2014.

SILVA, R. S. F. DA. **Contribuições para a interpretação da evolução geomorfológica do Baixo Jaguaribe/CE.** Dissertação de Mestrado—Universidade Federal do Ceará - Centro de Ciências - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Fortaleza - CE: 2017.

SILVEIRA, M. L. A.; ALLEONI, L. R. F.; GUILHERME, L. R. G. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 793–806, 1 dez. 2003.

SIMÕES, E. C. **Diagnóstico ambiental em manguezais dos complexos estuarinos da Baixada Santista e de Cananéia - São Paulo, no tocante a metais e compostos organoclorados**. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-14042008-093253/es.php>. Acesso em: 5 abr. 2022.

SIQUEIRA, D. F. DE et al. Análise da exposição de trabalhadores rurais a agrotóxicos. **Revista Brasileira Em Promoção Da Saúde**, **26(2)**, p. 182–191, 2013.

SOARES, C. E. DOS S. **Extração sólido-líquido com partição a baixa temperatura e seu emprego na análise multirresíduos de agrotóxicos em uva e derivados**. Dissertação de mestrado— Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: 2011.

SOARES, D. F.; FARIA, A. M.; ROSA, A. H. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 277–284, 27 out. 2016.

SOARES, M. R.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Parâmetros termodinâmicos da reação de adsorção de boro em solos tropicais altamente intemperizados. **Química Nova**, v. 28, n. Quím. Nova 28 (6) • Dez 2005, p. 1014–1022, 1 dez. 2005.

SOARES, M.; ALLEONI, L.; CASAGRANDE, J. Parâmetros Termodinâmicos da Reação de Adsorção de Boro em Solos Tropicais Intemperizados. **Química Nova** -, v.28, n.6, p. 1014–1022, 2005.

SOARES, R. B. et al. Mercados institucionais e agricultura familiar: uma análise do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) na região do Baixo Amazonas. **Revista Econômica do Nordeste - a**, v. 53, n. 4, p. 173-185 - www.bnb.gov.br, 2022.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. DE S. Estimating the social cost of pesticide use: An assessment from acute poisoning in Brazil. **Ecological Economics**, v. 68, n. 10, p. 2721–2728, ago. 2009.

SODERLUND, D. M. et al. Mechanisms of pyrethroid neurotoxicity: implications for cumulative risk assessment. **Toxicology**, v. 171, n. 1, p. 3–59, 1 fev. 2002.

SOLONESKI, S.; LARRAMENDY, M. L. **Herbicides theory and applications**. Croácia: Intech, 2011.

SORENSEN, S. R. et al. Microbial degradation of isoproturon and related phenylurea herbicides in and below agricultural fields. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 45, n. 1, p. 1–11, jul. 2003.

SOTO, F. R. M. et al. Monitoramento da qualidade da água de poços rasos de escolas públicas da zona rural do Município de Ibiuna/SP: parâmetros microbiológicos, físico-químicos e fatores de risco ambiental. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, p. 106–111, 2006.

SOUSA, J. et al. **Contribuição do projeto mapeomem para estudos de geologia médica no estado do Ceará: resultados preliminares**. Disponível em:

<http://cbg2018anais.siteoficial.ws/>. Acesso em: 8 abr. 2022.

SOUSA, J. S. F. DE O. et al. Anthropic Influences on the Quality of Underground Waters for Human Consumption in Russas, Ceará, Northeastern Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, 22 dez. 2021.

SOUSA, J. S. F. DE O. **Impactos ambientais e na saúde pública das águas de abastecimento no Município de Aracati-CE**. Dissertação de Mestrado—Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia: 2023.

SOUZA, M. J. N. DE. **Análise Geoambiental**. In: ELIAS, Denise. **O Novo Espaço da Produção Globalizada: o Baixo Jaguaribe**. Fortaleza: FUNECE, 2002. p. 23-89.

SOUZA, M. J. N. DE et al. **Contexto Geoambiental das Bacias Hidrográficas dos Rios Acaraú, Curu e Baixo Jaguaribe - Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005.

SOUZA, M. J. N. **Compartimentação Geoambiental do Ceará**. In: LIMA, L.C.; MORAES, J.O.; SOUZA, M.I.N (Org.) **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOYUNCU, S. et al. Abamectin intoxication with coma and hypotension. **Clinical Toxicology (Philadelphia, Pa.)**, v. 45, n. 3, p. 299–300, 2007.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. [s.l.] Oxford Oxford Univ. Press, 1989.

SUNDERMAN JR.MD, F. W. **Acute nickel toxicity in electroplating workers who accidentally ingested a solution of nickel sulfate and nickel chloride**. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>.

SUNG, Y.-F. et al. Avermectin intoxication with coma, myoclonus, and polyneuropathy. **Clinical Toxicology (Philadelphia, Pa.)**, v. 47, n. 7, p. 686–688, 1 ago. 2009.

TALEIRES, F. C. DA S. S. **Análise do sistema integrado de saneamento rural, na dimensão socioespacial, no município de Russas-CE**. Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará: 2019.

TAVARES, J. C. DE S. et al. Sustentabilidade no Semiárido: Pesquisa nos Perímetros Irrigados do baixo Jaguaribe – Ceará. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 42, p. 238, 29 dez. 2017.

TAVARES, P. R. L. et al. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 227–236, jun. 2009.

TAVELLA, L. B. et al. O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. **Agropecuária Científica no Semiárido - v.07, n 02 - ISSN**

1808-6845, p. 06-12, [s.d.].

TAXVIG, C. et al. Endocrine-Disrupting Activities In Vivo of the Fungicides Tebuconazole and Epoxiconazole. **Toxicological Sciences**, v. 100, n. 2, p. 464–473, 4 set. 2007.

TEIXEIRA, Z. **Processos Determinantes Da Qualidade Das Águas Subterrâneas Da Formação Jandaíra Na Chapada Do Apodi/CE**. Tese De Doutorado—Universidade Federal do Ceará: 2015.

TERRA, F. H. B. **A Indústria de Agrotóxicos no Brasil**. Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2008.

THIESEN, R.; MOREIRA, C. R. Eficiência no uso de adjuvantes na aplicação de fungicida na cultura de milho segunda safra. **Revista Cultivando o Saber**, p. 138–148, 2017.

TRENTO, M. V. C. **Tebuconazol e difenoconazol: efeitos citogenotóxicos e sobre a hemostasia humana**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica)—Universidade Federal de Lavras – 2017.

TSIPI, D.; BOTITSI, H.; ECONOMOU, A. **Mass spectrometry for the analysis of pesticide residues and their metabolites**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

US EPA, O. **Pesticide Poisoning Handbook – Complete Document**. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/pesticide-poisoning-handbook-complete-document>.

USEPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse**. [s.l.] U.S. Environmental Protection Agency, 2004.

VALERIANO, M. DE M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos – SP: INEPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.

VARGAS, L. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. 2. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008.

VASCONCELOS, A. M.; FEITOSA, F. A. C. **Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará - Diagnóstico de Russas**. Fortaleza - Ceará: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 1998.

VASCONCELOS, M. B. **POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE CONCEITOS E PROPOSTA DE NOMENCLATURA. Águas Subterrâneas**, 2014.

VAZ, A. J.; LIMA, I. V. **Zinco**. In: **Azevedo, F, A; Chasin, A. A. Metais: gerenciamento da toxicidade**. São. 1. ed. São Paulo: Atheneu - p.187-201., 2003.

VIEIRA, E. M. et al. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4d) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 305–308,

jun. 1999.

VIEIRA, H. P.; NEVES, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R. DE. Otimização e validação da técnica de extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura (ELL-PBT) para piretróides em água e análise por CG. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 535–540, jun. 2007.

VIGNA, A. **Agrotóxicos estão entre os maiores contaminadores da água**. Disponível em: <https://mst.org.br/2014/03/19/agrotoxicos-estao-entre-os-maiores-contaminadores-da-agua/>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WEBER, J.; ANDRADE, R. **Situação de agrotóxicos altamente perigosos no Brasil**. Disponível em: <https://ipen.org/>. Acesso em: 9 abr. 2022.

WEICHENTHAL, S.; MOASE, C.; CHAN, P. A Review of Pesticide Exposure and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study Cohort. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 8, p. 1117–1125, ago. 2010.

WEICHENTHAL, S.; MOASE, C.; CHAN, P. A review of pesticide exposure and cancer incidence in the agricultural health study cohort. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 1, p. 255–270, jan. 2012.

WELLE, D. **Intoxicação por agrotóxicos mata um brasileiro a cada dois dias, diz relatório**. Disponível em: <https://www.brasilefato.com.br/2022/04/28/intoxicacao-por-agrotoxicos-mata-um-brasileiro-a-cada-dois-dias-diz-relatorio>. Acesso em: 11 jun. 2022.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION/JOINT WHO/FAO EXPERT CONSULTATION ON DIET, NUTRITION AND THE PREVENTION OF CHRONIC DISEASES. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expertconsultation**. WHO Press: Genebra, 2002. Disponível em: <http://health.euroafrica.org/books/dietnutritionwho.pdf>.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Zinc**. Disponível em: <https://www.who.int/>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Exposure to highly hazardous pesticides: a major public health concern**. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.6>.

XAVIER, F. G.; RIGHI, D. A.; SPINOSA, H. DE S. Toxicologia do praguicida aldicarb (“chumbinho”): aspectos gerais, clínicos e terapêuticos em cães e gatos. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1206–1211, 1 ago. 2007.

XAVIER, F.; RIGHI, D.; SPINOSA, H. Toxicologia do praguicida aldicarb (“chumbinho”): aspectos gerais, clínicos e terapêuticos em cães e gatos. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.37, n.4, p.1206-1211, jul-ago, 2007.

XIMENES, L. F.; VIDAL, M. DE F. Pesca e Aquicultura: Carcinicultura. v. ano 8, n.274,

mar. 2023. (Caderno Setorial Etene), 2023.

YABE, M. S.; OLIVEIRA, E. DE. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova** **21** (5), 1998.

APÊNDICE A – TABELAS DE RESULTADOS DAS ANÁLISES

Parâmetros	AMOSTRAS																		
	2	5	8D	12D	15	17	18D	20	21	23	24	25	26	26D	30	31	32	34	
Cloretos (mgCl.L ⁻¹)	1.652,50	2.513,80	5,00	12,00	467,70	946,40	145,20	595,90	36,10	81,10	24,00	137,20	181,30	185,30	736,10	29,00	305,50	946,40	
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	1.403,50	2.466,20	10,00	10,00	591,50	551,40	78,20	441,10	80,20	206,50	2,00	174,40	204,50	186,50	531,30	84,20	270,70	551,40	
Ferro total (mgFe.L ⁻¹)	0,10	0,60	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2,10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,90	2,60	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	
Nitratos (mgNNO ₃ .L ⁻¹)	9,90	< LQ	< LQ	0,40	12,80	11,10	0,70	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,50	0,50	7,90	1,50	6,70	7,40	
Nitritos (mgNNO ₂ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,05	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	
pH a 25°C	7,16	6,90	7,69	6,52	6,94	7,50	6,47	6,91	7,85	7,58	7,28	7,13	7,12	7,74	7,04	7,41	7,48	8,20	
Amônia (mgNNH ₃ .L ⁻¹)	< LQ	0,20	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	
Sulfatos (mg SO ₄ .L ⁻¹)	< LQ	9,20	< LQ	< LQ	< LQ	17,20	5,00	56,40	5,00	27,50	5,00	6,40	9,40	13,30	5,00	5,00	47,50	5,70	
Sódio (Na ⁺ .L ⁻¹)	620,30	678,90	23,80	19,40	54,10	407,30	80,50	261,70	94,70	14,60	27,70	67,10	72,70	84,60	269,30	19,90	192,70	637,30	
STD (mg.L ⁻¹)	3.285,30	4.504,80	104,60	83,20	779,60	1.708,90	322,20	1.230,90	455,10	317,50	90,70	428,20	465,40	482,20	1.297,10	187,70	918,10	2.538,80	
Turbidez (NTU)	0,10	3,50	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	19,50	0,10	0,70	0,10	0,10	18,70	37,40	0,50	0,10	0,10	0,10	
Condutividade (microSL ⁻¹) 25°C	5.841,00	8.009,00	186,00	148,00	1.386,00	3.038,00	573,00	2.188,00	809,00	564,00	161,00	761,00	827,00	857,00	2.306,00	334,00	1.632,00	4.513,00	
Magnésio (mg Mg ⁺⁺ .L ⁻¹)	199,8	355,7	1,9	1,9	75,5	46,30	9,3	46,7	10,2	15,1	< LQ	15,1	23,9	19,6	73,1	9,7	21,9	102,3	
Bicarbonatos (mg HCO ₃ .L ⁻¹)	542,8	516,0	68,1	43,8	51,1	116,8	63,3	155,8	287,2	116,8	34,1	116,8	126,6	126,6	99,8	104,7	260,4	259,4	
Potássio (mg K ⁺ .L ⁻¹)	23,4	25,6	0,9	0,7	2,0	14,4	3,0	9,9	3,6	0,5	1,0	0,5	2,7	3,2	10,2	0,8	7,3	24,1	
Ca (mg/L)	232,6	401,0	0,8	0,8	112,3	144,4	16,0	96,2	15,2	57,7	LQ	44,9	42,5	42,5	92,2	17,6	72,2	52,1	
CO ₃ (mg/l)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	20,30

ANÁLISES DE POTABILIDADE - PONTOS DE COLETAS – 2019

Legenda: (*) não detectados; (STD) Sólidos Totais Dissolvidos – (D) Dessalinizador

ANÁLISES DE POTABILIDADE - PONTOS DE COLETAS – 2021

Parâmetros	Amostras										LQ
	8.2(D)	12.2(D)	18(D)	20	21	31	32	34	35	36D	
Cloretos (mgCl ⁻ .L ⁻¹)	3,00	19,90	54,70	335,80	100,50	27,90	393,00	838,30	567,20	28,40	2,00
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	22,50	443,20	52,50	76,70	320,60	283,40	50,60	< LQ	2,00
Ferro total (mgFe.L ⁻¹)	< LQ	< LQ	< LQ	0,10	0,10	0,10	< LQ	0,10	0,10	< LQ	0,1
Nitratos (mgNNO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	0,30	< LQ	< LQ	< LQ	7,20	9,00	0,50	2,6	0,30
Nitritos (mgNNO ₂ ⁻ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	0,10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,02
(pH a 25°C)	6,90	5,90	6,10	7,80	7,70	7,20	7,30	8,00	8,00	6,60	*
Sódio (Na ⁺ .L ⁻¹)	1,30	8,50	23,30	142,70	42,70	11,80	167,00	356,30	241,00	12,10	1,00
STD (mg.L ⁻¹)	26,20	55,40	151,00	977,60	608,70	199,20	1.381,50	2.840,40	1.440,00	98,8	2,00
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	< LQ	75,40	46,50	5,50	83,60	134,40	12,80	< LQ	5,00
Cor (uH)	1,00	0,90	0,90	10,30	5,20	3,50	4,10	8,60	11,00	1,3	0,10
Turbidez (NTU)	0,70	0,20	0,30	1,40	0,50	1,30	0,80	0,50	0,50	0,2	0,10
Amônia (mgNNH ₃ .L ⁻¹)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1	0,10
Cloro Residual (mgCl ₂ .L ⁻¹)	0,10	0,10	0,10	0,20	0,50	< LQ	0,10	0,10	< LQ	0,1	0,01
Fluoreto (mg F ⁻ .L ⁻¹)	< LQ	0,10	< LQ	0,20	0,50	0,30	0,30	< LQ	< LQ	0,1	0,10
Sulfeto (mg S ₂ ²⁻ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,10
Magnésio (mg Mg ⁺⁺ .L ⁻¹)	< LQ	< LQ	3,00	92,90	6,60	8,50	70,20	62,80	10,50	< LQ	2,0
Bicarbonatos (mg HCO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	7,10	564,60	15,30	121,30	243,60	99,90	330,20	532,00	85,60	4,1	2,0
Potássio (mg K ⁺ .L ⁻¹)	0,10	0,90	2,60	15,90	4,70	1,30	18,60	39,60	26,80	1,30	2,0
(Ca mg/L)	< LQ	< LQ	3,90	112,50	10,00	16,60	56,20	43,50	13,70	< LQ	2,0
(CO ₃ mg/l)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Legenda: (*) não detectados; (STD) Sólidos Totais Dissolvidos – (D) Dessalinizador – (LQ) Limite de Quantificação

RESULTADOS OBTIDOS PARA AS ANÁLISES DE METAIS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS EM SETEMBRO DE 2019

AM	ELEMENTOS ANALISADOS																								
	Al	As	B	Ba	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	V	Zn	
2	<LD	<LD	0,41	0,23	<LD	129,52	0,0005	0,0005	0,4	0,03	0,92	65,13	104,68	0,03	<LD	0,06	0,0005	0,79	0,005	<LD	0,38	1,98	0,0005	0,0005	
5	<LD	<LD	0,13	5,61	<LD	192,82	0,0005	0,0005	0,18	0,18	3,09	85,88	182,43	0,12	<LD	0,05	0,0005	0,25	0,005	<LD	0,48	4,05	0,0005	0,0005	
8	<LD	<LD	0,1	0,14	<LD	33,65	0,0005	0,0005	0,3	0,0005	0,78	0,36	20,99	0,79	0,01	0,04	0,0005	0,06	0,005	<LD	0,43	0,47	0,07	0,0005	
8 (D)	0,11	<LD	0,33	0,0005	<LD	0,11	0,0005	0,01	0,003	0,31	0,06	0,0005	0,24	0,03	<LD	0,0005	0,01	0,01	<LD	0,005	0,05	0,01	0,0005	0,0005	
12	<LD	<LD	0,2	0,59	<LD	76,79	0,0005	0,0006	0,01	0,02	0,41	13,5	42,00	0,01	<LD	0,0005	0,0005	0,04	0,005	<LD	0,05	0,98	0,0006	0,0005	
12 (D)	0,16	<LD	0,09	0,09	<LD	1,42	0,0005	0,01	0,02	0,03	0,33	1,08	0,26	0,01	0,03	0,0005	0,004	0,02	<LD	<LD	0,05	0,01	0,0005	0,0005	
15	0,25	<LD	0,001	3,34	<LD	93,08	0,0005	0,01	0,0005	0,05	2,52	48,58	68,52	0,11	<LD	0,0005	0,0005	0,19	<LD	<LD	0,05	1,41	0,0045	0,01	
17	<LD	<LD	0,28	1,04	<LD	109,35	0,0005	0,01	<LD	0,18	0,23	25,00	37,45	0,07	<LD	0,0005	0,0005	0,01	<LD	<LD	0,05	2,19	<LD	<LD	
18	<LD	<LD	0,01	3,44	<LD	171,4	0,0005	0,01	<LD	0,02	0,0010	50,27	91,68	0,28	<LD	0,0005	<LD	0,0005	<LD	<LD	0,01	3,32	<LD	<LD	
18 (D)	0,09	<LD	<LD	0,15	<LD	19,9	0,0005	0,0005	0,0005	0,02	0,0010	8,02	7,90	0,03	<LD	0,0005	<LD	0,0005	0,005	<LD	0,05	0,24	<LD	0,22	
20	0,01	<LD	0,05	0,43	<LD	63,55	0,0005	0,01	<LD	0,01	1,15	11,89	31,22	0,36	<LD	0,0005	0,0005	0,09	0,005	<LD	0,05	0,79	0,0005	0,09	
21	<LD	<LD	0,02	0,36	<LD	57,48	0,0005	0,0005	<LD	0,0005	0,93	10,9	27,33	0,32	<LD	0,0005	0,0005	0,07	0,005	<LD	0,05	0,71	0,0005	0,13	
24	0,27	<LD	0,001	0,36	<LD	9,06	0,0005	0,0005	<LD	0,0005	0,14	1,99	1,88	0,0005	<LD	0,0005	0,0005	0,01	0,005	<LD	0,05	0,12	0,0005	0,0005	
24 (D)	<LD	<LD	0,001	0,0005	<LD	0,08	0,0005	0,0005	<LD	0,0005	0,001	0,0005	0,14	0,0005	<LD	0,0005	<LD	0,0005	0,005	<LD	0,05	0,005	<LD	0,0005	
26	0,33	<LD	0,09	0,24	<LD	28,92	0,00005	0,0005	0,0005	0,02	1,16	11,31	15,85	0,64	0,0005	0,0005	0,01	0,0005	<LD	0,02	0,10	0,44	<LD	0,0005	
26.2 (D)	<LD	<LD	0,08	0,16	<LD	43,00	0,0005	0,0005	<LD	0,0005	1,78	2,59	11,84	0,68	<LD	0,0005	0,01	0,15	0,005	<LD	0,05	0,33	0,0005	0,0005	
27 (P)	0,33	<LD	0,09	0,24	<LD	28,92	0,0005	0,0005	0,0005	0,02	1,16	11,31	15,85	0,64	0,0005	0,0005	0,01	0,0005	<LD	0,02	0,1	0,44	<LD	0,0005	
27 (R)	0,77	<LD	0,14	0,31	<LD	14,54	0,0005	0,0005	0,01	0,05	5,30	2,37	7,52	0,73	<LD	0,01	0,1	0,03	<LD	0,02	0,59	0,23	<LD	6,46	
30	0,03	<LD	0,47	0,45	<LD	70,13	0,0005	0,0005	0,01	0,05	0,42	41,72	44,46	0,01	<LD	0,0005	0,02	<LD	<LD	0,02	0,13	1	0,0005	0,03	
31	0,01	<LD	0,1	0,15	<LD	14,38	0,0005	0,0005	0,01	0,01	3,48	0,78	7,66	0,02	<LD	0,0005	0,02	0,03	<LD	0,02	0,13	0,19	<LD	0,0005	
32	0,01	<LD	0,5	0,42	<LD	38,69	0,0005	0,0005	0,01	0,01	0,29	5,55	20,64	0,41	<LD	0,0005	0,02	0,05	<LD	0,01	0,17	0,56	0,01	0,0005	
34	0,01	<LD	0,68	0,12	<LD	24,42	0,0005	0,0005	0,0005	0,02	0,15	0,31	28,16	0,02	<LD	0,01	0,01	0,0005	<LD	0,01	0,06	0,63	0,08	0,0005	
COEFICIENTES																									
Media	0,17	-	0,18	0,65	-	46,46	0,00	0,00	0,01	0,04	1,02	13,10	24,71	0,21	0,02	0,00	0,01	0,04	0,01	0,02	0,10	0,73	0,01	0,43	
Mediana	0,10	-	0,10	0,31	-	38,69	0,00	0,00	0,01	0,02	0,42	8,02	20,99	0,07	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,05	0,56	0,00	0,00	
DP	0,22	-	0,20	1,45	-	55,33	0,00	0,00	0,13	0,08	1,40	24,91	44,41	0,27	0,02	0,02	0,02	0,18	0,00	0,01	0,17	1,10	0,03	1,48	
Mínimo	0,01	-	0,00	0,00	-	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	
Máximo	0,77	-	0,68	5,61	-	192,82	0,00	0,01	0,40	0,31	5,30	85,88	182,43	0,79	0,03	0,06	0,10	0,79	0,01	0,02	0,59	4,05	0,08	6,46	
Quartil 1	0,01	-	0,03	0,15	-	14,46	0,0005	0,0005	0,0005	0,00525	0,15	0,93	7,59	0,015	0,0005	0,0005	0,0005	0,003	0,005	0,01	0,05	0,21	0,0005	0,0005	
Quartil 3	0,27	-	0,32	0,52	-	84,94	0,00	0,01	0,10	0,05	1,47	33,36	43,23	0,39	0,03	0,01	0,02	0,09	0,01	0,02	0,15	1,21	0,01	0,03	
AIQ	0,26	-	0,29	0,38	-	70,48	0,00	0,01	0,10	0,04	1,33	32,43	35,64	0,37	0,03	0,00	0,01	0,08	0,00	0,01	0,10	1,00	0,01	0,03	
Limite inferior	-0,21	-	-0,26	0,08	-	-59,25	0,0005	-0,01	-0,1421	-0,02257	-0,97	-35,54	-28,75	-0,3477	-0,029	-0,01	-0,01	-0,08	0,005	0	-0,05	-0,761	0,001	0,39	
Limite superior	0,55	-	0,61	1,21	-	152,17	0,0005	0,02	0,1565	0,11	3,01	61,75	78,17	0,7623	0,0595	0,01	0,04	0,16	0,005	0,03	0,25	2,2239	0,02	0,48	
Valores máximos permitidos																									
Portaria 888/21																									
MS (mg/L)	0,2	0,01	-	0,7	-	-	0,003	-	0,05	2,0	0,3	-	-	0,1	-	0,07	0,01	0,006	-	-	-	-	-	5	
396/08 - CONAMA(µg/L)	200	8,0	500	700	-	-	5	-	5,0	2000	300	-	-	100	70	20	10	-	-	-	-	-	50	5000	

Legenda: (AM): Amostras – (D): Dessalinizador – (P): Poço – (R): Rio – (DP): Desvio Padrão – (MS): Ministério da Saúde.

RESULTADOS OBTIDOS PARA AS ANÁLISES DE METAIS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS EM MAIO DE 2021

AM	ELEMENTOS ANALISADOS																							
	Al	As	B	Ba	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	V	Zn	
8 (D)	1,14	< LD	< LD	0,04	< LD	< LD	< LD	< LD	0,23	0,05	< LD	0,15	0,11	< LD	< LD	0,07	0,0005	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	
12 (D)	0,23	< LD	0,07	0,0005	0,0005	< LD	0,0005	0,0005	0,18	0,01	0,001	0,66	0,26	< LD	< LD	0,05	0,02	< LD	< LD	< LD	0,05	0,01	0,0005	0,0005
18 (D)	0,69	< LD	< LD	0,07	< LD	2,85	< LD	< LD	0,15	0,04	0,001	3,98	1,43	< LD	< LD	0,08	0,0005	< LD	< LD	< LD	0,05	0,05	< LD	< LD
20	0,83	< LD	< LD	0,5	0,07	50,1	< LD	< LD	0,27	0,05	0,001	10,8	27,33	0,02	< LD	0,13	0,0005	0,01	< LD	< LD	0,05	0,63	< LD	< LD
21	0,77	< LD	< LD	0,37	< LD	38,1	< LD	0,0005	0,14	0,05	0,001	7,95	9,67	0,20	< LD	0,01	0,02	0,0005	< LD	< LD	0,05	0,62	< LD	< LD
31	0,36	< LD	< LD	0,13	< LD	17,6	0,0005	< LD	0,22	0,02	0,001	1,25	10,61	< LD	< LD	0,07	0,03	< LD	< LD	< LD	0,05	0,21	0,0005	0,0005
32	0,96	< LD	< LD	0,32	< LD	60,3	0,0005	< LD	0,2	0,11	0,001	5,28	31,82	0,09	< LD	0,13	0,01	0,0005	< LD	0,0005	0,05	0,66	0,0005	0,0005
34	1,12	< LD	< LD	0,15	< LD	36,8	0,01	< LD	0,17	0,05	0,001	2,52	33,95	0,02	0,0005	0,12	0,06	< LD	< LD	< LD	0,05	0,64	0,07	0,07
35	0,42	0,001	0,32	0,1	0,0005	4,86	< LD	0,0005	0,14	< LD	0,001	2,41	0,7	0,01	< LD	0,05	0,02	< LD	< LD	< LD	0,05	0,02	< LD	< LD
COEFICIENTES																								
Média	0,72	0,00	0,20	0,19	0,02	30,08	0,00	0,00	0,19	0,05	0,00	3,89	12,88	0,07	0,00	0,08	0,02	0,00	-	0,00	0,05	0,36	0,02	0,02
Mediana	0,77	0,001	0,195	0,13	0,0005	36,8	0,0005	0,0005	0,18	0,05	0,001	2,52	9,67	0,02	0,0005	0,07	0,02	0,0005	-	0,0005	0,05	0,415	0,0005	0,0005
DP	0,33	-	0,18	0,17	0,04	22,19	0,01	0,00	0,04	0,03	0,00	3,56	14,27	0,08	-	0,04	0,02	0,01	-	-	0,00	0,31	0,03	0,03
Mínimo	0,23	0,001	0,07	0,0005	0,0005	2,85	0,0005	0,0005	0,14	0,01	0,001	0,15	0,11	0,01	0,0005	0,01	0,0005	0,0005	-	0,0005	0,05	0,01	0,0005	0,0005
Máximo	1,14	0,001	0,32	0,5	0,07	60,3	0,01	0,0005	0,27	0,11	0,001	10,8	33,95	0,2	0,0005	0,13	0,06	0,01	-	0,0005	0,05	0,66	0,07	0,07
Quartil 1	0,39	-	-	0,06	0,0005	4,86	0,0005	0,0005	0,145	0,03	0,001	0,96	0,48	0,015	-	0,05	0,0005	0,0005	-	-	0,05	0,03	0,0005	0,0005
Quartil 3	1,04	-	-	0,35	0,07	50,06	0,01	0,0005	0,225	0,05	0,001	6,62	29,58	0,145	-	0,13	0,03	0,01	-	-	0,05	0,64	0,05	0,05
AIQ	0,65	-	-	0,29	0,07	45,2	0,01	0	0,08	0,03	0	5,66	29,10	0,13	-	0,08	0,02	0,01	-	-	0	0,61	0,05	0,05
Limite inferior	-0,25	-	-	-0,25	-0,08	-37,72	-0,01	0,0005	0,07	0,01	0,001	-4,60	-30,77	-0,127	-	-0,03	-0,02	-0,01	-	-	0,05	-0,56	-0,06	-0,06
Limite superior	1,70	-	-	0,62	0,13	97,88	0,02	0,0005	0,31	0,09	0,001	12,38	56,52	0,263	-	0,19	0,05	0,02	-	-	0,05	1,27	0,10	0,10
Valores máximos permitidos																								
Portaria 888/21 MS (mg/L)	0,2	0,01	-	0,7	-	-	0,003	-	0,05	2,0	0,3	-	-	0,1	-	0,07	0,01	0,006	-	-	-	-	-	5
396/08 -CONAMA (µg/L)	200	8,0	500	700	-	-	5	-	5,0	2000	300	-	-	100	70	20	10	-	-	-	-	-	50	5000

AM: Amostras – D: Dessalinizador – LD: Limite de detecção – DP: Desvio Padrão – MS: Ministério da Saúde – AIQ: Amplitude

APÊNDICE C – ARTIGO DIAGNÓTICO HÍDRICO

Revista Brasileira de Geografia Física v.14, 03 (2021) 1612-1625.



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Diagnóstico da oferta hídrica do município de Russas – CE: Uma análise descritiva como subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos

Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes¹, Tomaz Alexandre da Silva Neto², Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa³, Cláudio Ângelo da Silva Neto⁴, Mickaelon Belchior Vasconcelos⁵, Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro⁶, Erika de Almeida Sampaio Braga⁷, Fátima Andréa Lima Girão⁸

¹ Geóloga, Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), Rua Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici, CEP: 60.440-550, Fortaleza, Ceará. (85) 3101-2434. luzia.santos@nutec.ce.gov.br (autor correspondente). ² Mestrando do Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Bloco 912-913, Campus do Pici, CEP: 60.060-320, Fortaleza, Ceará. (85) 3366-9867. tomaz.neto@alu.ufc.br. ³ Mestranda do Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Bloco 912-913, Campus do Pici, CEP: 60.060-320, Fortaleza, Ceará. (85) 3366-9867. joyceshantala@gmail.com. ⁴ Mestrando do Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Bloco 912-913, Campus do Pici, CEP: 60.060-320, Fortaleza, Ceará. (85) 3366-9867. claudioasm@gmail.com. ⁵ Geólogo, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Av. Antônio Sales, 1418, Joaquim Távora, CEP 60135-101, Fortaleza, Ceará. (85) 3878-0200. mickaelon.vasconcelos@cpm.gov.br. ⁶ Professora Dra, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Bloco 912-913, Campus do Pici, CEP: 60.060-320, Fortaleza, Ceará. (85) 3366-9867. ritasalgueiro@ufc.br. ⁷ Química Industrial, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, CEP: 60.440-550, Fortaleza, Ceará. (85) 98847-1662. andreierika@yahoo.com.br. ⁸ Química Industrial, Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), Rua Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici, CEP: 60.440-550, Fortaleza, Ceará. (85) 3101-2434. fatima.girao@nutec.ce.gov.br.

Artigo recebido em 17/02/2021 e aceito em 22/05/2021

RESUMO

A oferta de água nas regiões semiáridas brasileiras está intrinsecamente ligada aos fatores e características naturais da área: Instabilidades climáticas e as características litológicas. O Estado do Ceará é marcado por intensos períodos de escassez hídrica, na qual a população fica vulnerável a uma má qualidade de vida e saúde. O município de Russas situa-se porção nordeste do estado, onde o déficit hídrico está associado aos longos períodos de estiagem. A água subterrânea aparece como uma das principais fontes para suprir a carência hídrica. O objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico hídrico da quantidade de água disponível do município no ano de 2019, usando banco de dados governamentais, disponíveis na internet, e informações de Órgãos do estado que gerenciam esses recursos. Foram analisados a quantidade de poços cadastrados e suas vazões, foi realizada a classificação dos reservatórios de superfície, com possível vazões; e a série histórica da pluviometria do município de Russas, no período de 1980 a 2018. O município apresenta um quadro hídrico quantitativo bastante delicado, com longos períodos de estiagem. Os reservatórios superficiais foram classificados de pequenos a muitos pequenos, onde o maior açude do município, apresenta vazão de 12 m³/h. Russas possui um total de 358 poços cadastrados, dos quais apenas 35% estão bombeando com uma vazão de total de 668,95m³/h. O município necessita de uma gestão mais sustentável na questão da oferta hídrica.

Palavras-chave: Demanda hídrica, Semiárido, Infraestrutura hídrica.

Diagnosis of the water supply of the municipality of Russas – CE: A descriptive analysis as a subsidy to the sustainable management of water resources

ABSTRACT

The water supply in the Brazilian semi-arid regions is intrinsically linked to the natural characteristics of the area, like climate and lithological settings. The State of Ceará is marked by intense periods of water scarcity, in which the population is vulnerable to a poor quality of life and health. The municipality of Russas is located in the northeastern part of the state, where the hydric deficit is associated with long periods of drought. Groundwater appears as one of the main sources to supply water shortages. The objective of this work was to carry out a hydric diagnosis of the amount of water available in Russas in 2019, using government databases and information from state agencies that manage these resources. The number of registered wells and their flows were analyzed, the classification of surface reservoirs was carried out, with possible flows; and the historical series of rainfall in the municipality of Russas, from 1980 to 2018. The municipality has a very delicate quantitative hydric situation, with long periods of drought. The superficial reservoirs were classified from small to many small, where the largest reservoir in the municipality, has a flow of 12 m³/h. Russas has a total of 358 registered wells, of which only 35% are pumping with a total flow of 668.95 m³/h. The municipality needs more sustainable management in terms of hydric supply.

Keywords: Hydric demand, Semiarid, Hydric infrastructure.

Mendes, L. S. A. S.; Silva Neto, T. A.; Sousa, J. S. F. O.; Silva Neto, C. A.; Vasconcelos, M. B.; Salgueiro, A. R. G. N. L.; Braga, E. A. S.; Girão, F. A. L.

1612

Introdução

No Brasil, em virtude da abundância dos recursos hídricos, existe o descaso à qualidade da água perante as mudanças climáticas e intervenções antrópicas. A situação atual e os problemas a serem enfrentados é o uso insustentável da água, demanda maior dos recursos hídricos e redução da oferta, gerando conflito, degradação da qualidade, enchentes e secas, vulnerabilidade das populações humanas. O acesso a água é extremamente relevante, pois a disponibilidade hídrica não é suficiente quando o município não dispõe de infraestrutura para tomar o recurso acessível à população. A região Nordeste, por exemplo, tem menos disponibilidade hídrica para atender uma grande demanda populacional e acaba enfrentando pressão pelo consumo. No domínio das águas superficiais, rios e reservatórios, a responsabilidade desses corpos tanto é dos Estados, quanto da União, o que demonstra a importância e melhoria do planejamento e gestão integrada entre os órgãos gestores de recursos hídricos com atuação na bacia preservação da qualidade e quantidade de água (Freitas, 2019; Senna et al., 2019; Pasqualetto et al., 2020).

A variabilidade climática deve ser considerada no planejamento das políticas públicas. Países desenvolvidos têm planos de adaptação integrados em suas agendas de desenvolvimento, os países subdesenvolvidos e/ou em desenvolvimento estão iniciando o processo de adaptação de suas políticas, o que explicita a dependência da capacidade adaptativa ao poder econômico (Sarkodi et al., 2019; Mesquita et al., 2020). A preocupação com os impactos climáticos é recorrente, uma agenda climática de estratégias integradas e planos estratégicos de ação em diferentes escalas possibilitam implementar políticas públicas e gerar benefícios para as comunidades de maneira mais eficaz do que estratégias compartimentadas (Newell et al., 2018).

Os incidentes relacionados ao clima têm atingido as cidades brasileiras de forma crescente e variadas, sendo apontado pelas autoridades como fatalidades, catástrofes e tragédias, resultado de fenômenos climáticos incomuns (Ferraço et al., 2020). Os impactos e a degradação ambiental são notáveis nas cidades: erosão, no deslizamento de encostas, comprometimento da qualidade da água, assoreamento dos corpos hídricos que podem predispor a enchentes, acarretando prejuízos sociais e danos materiais, (Almeida et al., 2020). A má utilização da recursos naturais, associado a

crise hídrica e a ausência de políticas públicas faz do Nordeste uma região menos desenvolvida em comparação às demais regiões Brasileiras (Alves et al., 2020).

O Nordeste Brasileiro apresenta regime pluviométrico com irregularidade de chuvas mal distribuídas e com intensos períodos de escassez hídrica, que compromete todos os ecossistemas existentes. O déficit hídrico nos municípios ocasiona a pobreza de muitas famílias. Dessa forma, as políticas públicas destinadas à região são centradas na convivência com a seca (Brito et al., 2020; Fonseca et al., 2020). A região tem duas estações bem marcantes, a quadra chuvosa geralmente nos meses de janeiro a junho, e a quadra seca, de julho a dezembro, caracterizada por altas temperaturas e pouca chuva. Essa característica é definida por Morais et al. (2020) como região-problema por diversas abordagens com base num determinismo geográfico ou climático. Essa sazonalidade compromete não só a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, como o solo e sua capacidade de suporte para o desenvolvimento agrícola e a capacidade de recarga de águas subterrâneas.

A falta de precipitação promove o colapso no abastecimento de água, tendo em vista que áreas com pequenos mananciais superficiais geralmente secam e os grandes chegam a atingir níveis críticos. Outra alternativa para suprir a carência hídrica é a captação de águas subterrâneas para o abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação e indústria. A água doce representa apenas 0,6% do total de água do planeta, desta reserva, a água subterrânea corresponde a 98%, excluindo a água congelada dos polos (CETESB, 2020). Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2005), em 39% dos municípios brasileiros, a água subterrânea é a única fonte de abastecimento, enquanto 47% são abastecidos unicamente por águas superficiais e 14% por ambos. Na região Nordeste, 7,92% dos domicílios são abastecidos unicamente por água subterrânea proveniente de poços ou nascentes (BRASIL, 2011a). No estado do Ceará, 35% dos municípios são abastecidos exclusivamente por água de origem subterrânea (ANA, 2010b).

As águas subterrâneas apresentam-se menos favoráveis a contaminação, porém a falta de estrutura adequada de saneamento pode contaminá-las. Uma carga poluente considerável a ser incorporada nas águas subterrâneas pode comprometer a qualidade e inviabilidade do uso

desse recurso (Peixoto, 2020). Uma análise entre segurança hídrica domiciliar e os serviços ecossistêmicos revela conflitos ecológicos distributivos no acesso às fontes subterrâneas, bem como, demarca a falta de políticas públicas de regulação e distribuição da água para as comunidades mais afetadas pela pobreza, aquelas mais distantes do centro e as comunidades rurais, (Silva et al., 2019).

A quantidade e qualidade da oferta hídrica para população estão ligados diretamente a saúde humana. A precariedade e a ausência de infraestrutura básica de saneamento podem causar surtos e agravos de doenças de veiculação hídrica. Muitas epidemias tiveram sua origem na distribuição e abastecimento de águas, e por este motivo, deve-se ter uma maior atenção quando o assunto é qualidade de água (Simão et al., 2020). As alterações de ecossistemas e de ciclos de biológicos, provocados pelas mudanças climáticas, podem contribuir para o aumento da incidência de doenças infecciosas, causadas por vetores e doenças não-transmissíveis com desnutrição. Dentre as doenças comumente associadas como as arboviroses e as doenças respiratórias, destacando ainda doenças com grande incidência mundial, como as doenças cardiovasculares, onde a presença frequente das doenças transmitidas por vetores nos estudos selecionados reflete a forte dependência desses vetores das condições climáticas (Ogden, 2017; Souza et al., 2018).

No estado do Ceará, em 2015, ainda em período de seca, 5.868 pessoas foram internadas com diarreia, em 131 dos 184 municípios que compõe o estado, o maior número de internações foi apresentado pelo município de Russas, com 634 casos, seguido das cidades de Fortaleza (359) e Sobral (332) (DATASUS, 2019). O município de Russas foi o que apresentou maior gasto, por internações relacionadas à diarreia, seguido pela capital, Fortaleza. No período de 2015 e 2016, a seca prejudicou a qualidade da água dos reservatórios, no açude do Castanhão - CE, em que a falta de oxigênio provocou a mortalidade de grande quantidade de peixe. A piscicultura familiar, importante atividade econômica e social em regiões com grandes açudes, como o Castanhão, é fortemente condicionada às variações climáticas, podendo sofrer grandes impactos ou até mesmo desaparecer após anos seguidos de escassez hídrica (Oliveira et al., 2015; Takahashi et al 2020). Nesse

contexto surge uma preocupação com a qualidade da água e os danos que essa pode causar a saúde, tendo em vista que a água subterrânea vem sendo a principal fonte de abastecimento humano e os demais fins.

O conhecimento dos déficits e excessos de água por meio da aplicação metodológica do balanço hídrico é de grande interesse para as áreas agrícolas, pois a exploração das terras aráveis é realizada na maioria dele sem conhecer as características potenciais do clima, dos solos e das necessidades da cultura, o que não permite maximizar a produtividade, além da conservação e gestão sustentável dos recursos (Olivares et al., 2018). A necessidade de se acompanhar e mapear a superfície hídrica é primordial. A caracterização e monitoramento dos recursos hídricos são essenciais para a identificação de oportunidades e para a definição de políticas públicas, (Normandin et al., 2018; Takahashi et al 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico da oferta hídrica do município de Russas, com intuito de subsidiar as informações da necessidade hídrica do município e auxiliar no melhor planejamento e gestão de recursos hídricos com o uso das informações desse trabalho.

Materiais e métodos

Localização da Área de Estudo

O município de Russas situa-se na região doo Baixo Jaguaribe. Abrange uma área de aproximadamente 1.500 km². (Figura 1). O município apresenta quadro socioeconômico empobrecido, castigado pela irregularidade das chuvas. A principal atividade econômica reside na agricultura. O município da unidade federativa Ceará. Seu território é composto 100% pelo bioma Caatinga. O município apresenta Índice de Desenvolvimento Humano- IDHM de 0.674, ocupando a 43^a posição dos 184 municípios cearense. Não possui Política Municipal de Saneamento Básico e não possui Plano Municipal de Saneamento Básico, somente 28.4% de domicílios apresenta esgotamento sanitário adequado. O município dispõe 16.491 ligações de água e 9.680 ligações de esgoto, o que corresponde a somente 21% e 12%, respectivamente (IBGE, 2018).

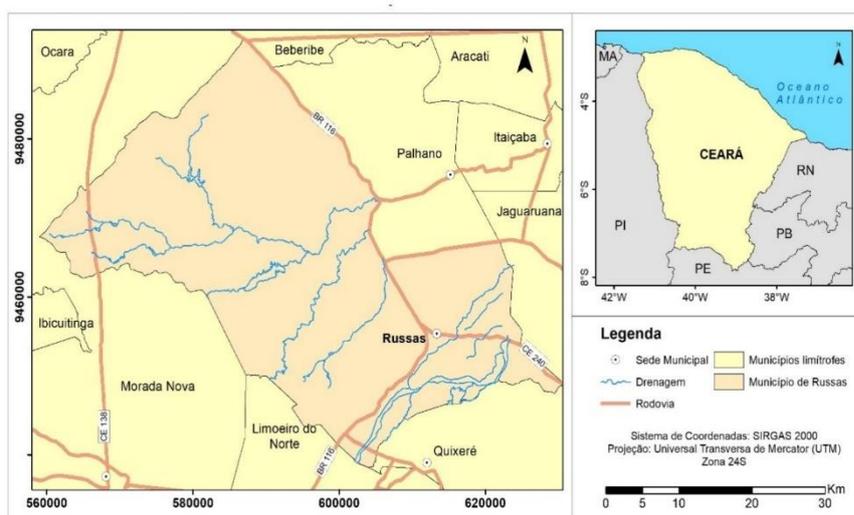


Figura 1. Mapa de Localização do município de Russas.

Procedimento Metodológicos

Foi realizada pesquisa bibliográfica acerca do tema, visando um melhor entendimento da pesquisa e da problemática da região. Os dados para realização dos estudos das séries históricas de pluviosidade e temperatura foram coletados no “site” da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Para realização de aquisição de dados acerca da oferta hídrica subterrânea foram realizadas pesquisas de dados de cadastros poços junto ao Sistema de informações de águas subterrâneas – SIAGAS, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, a Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA e a Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE. As informações obtidas informaram dados como: natureza, diâmetro, nível de água, vazão, profundidade, nível estático, vazão específica, e litologia dos poços presentes no município. Para coleta dos dados dos reservatórios superficiais e vetorização dos espelhos d’água, georreferenciamento (latitude e longitude) da área da pesquisa e das águas subterrâneas e topografia foram usadas imagens da ferramenta Google® Earth Pro3. Após as coletas de dados, para a análise e interpretação, utilizou-se o método de Sturges (1926), a partir da definição da quantidade de classes (K), da amplitude e dos tamanhos de intervalos. A classificação climática para o município de Russas, foram utilizados os resultados obtidos no balanço hídrico,

fundamentados no sistema de classificação de Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). Para estabelecer a classificação dos espelhos d’água foi usada a distribuição de frequências em intervalos de classe na qual estabeleceu-se uma razão entre área e volume.

O estudo acerca da estatística dos resultados das análises foi utilizado o aplicativo Microsoft Excel. Para realização e confecção dos mapas foram usadas bases do IPECE e IBGE, para elaboração deles foi usado o programa ArcMap versão 10.6.1.

Características geoambientais

Os componentes ambientais apresentam interação com os diversos elementos naturais: Clima, precipitação, solo, geologia, dentre outras categorias observadas na área de estudo.

Condições Climáticas

O clima do município de Russas é classificado como tropical quente semiárido, com temperaturas médias de 26°C a 28°C e pluviosidade média de 857,7 mm, prevalecendo um período chuvoso de janeiro a abril, FUNCEME (2019). Esse cenário de escassez, bem marcado no segundo semestre, com rios intermitentes e açudes secos, a alternativa é água subterrânea como único meio para o abastecimento humano.

Recursos Hídricos

Os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são diretamente influenciados pelas condições climáticas, resultando, portanto, em rios com regime de escoamento intermitente sazonal e baixa capacidade de recarga dos aquíferos. O domínio cristalino constitui cerca de 75% do território cearense (PLANERH, 2005), portanto, é ele, principalmente, que condiciona a ocorrência das águas subterrâneas no Estado. O município de Russas está inserido na bacia Jaguaribe, das cinco sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, a bacia do baixo Jaguaribe é a que apresenta menor área, capacidade de acumulação de águas superficiais de 24.000.000 m³, tendo um único

açude gerenciado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), o açude Santo Antônio de Russas. No que se refere à oferta de água subterrânea, a sub-bacia apresenta dois tipos de sistemas: o de rochas sedimentares e o de rochas cristalinas. Os sedimentares, por sua característica de porosidade primária, apresentam uma permeabilidade elevada, em termos arenosos, permitindo serem excelentes "armazéns" de água. Já os cristalinos apresentam "baixo potencial" de acumulação, pois estão em áreas de embasamento cristalino, sendo as zonas de fissuras os únicos condicionantes para o escoamento das águas nesse tipo de rocha. As informações acerca dos das vazões dos poços, fornecidas pelas instituições governamentais encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Informações da quantidade de poços

INSTUIÇÃO	Nº POÇOS	VAZÃO (m ³ /h)
CPRM (SIAGAS)	230	61,85
SODHIDRA	80	247,1
CAGECE	48	360
TOTAL	358	668,95

Tabela 1. Informações da quantidade de poços.

Unidades de ocupação do solo

Usando imagens orbitais do satélite Sentinel-2/MSI disponível na USGS, seguindo do processamento digital de imagens multiespectrais e geração de composições coloridas RGB no software ENVI 5.3 por meio da classificação

supervisionada MaxLike, acessada nos anos de 2019, foi confeccionado o mapa de zoneamento da área de estudo, foi possível convencionar o uso do parcelamento e da ocupação do solo. As áreas identificadas foram: Área agrícola, com pouca intensidade (11%), vegetação (5%), espelhos d'água (6%), área urbanizada (10%) e área descoberta (68%), (Figura 2)

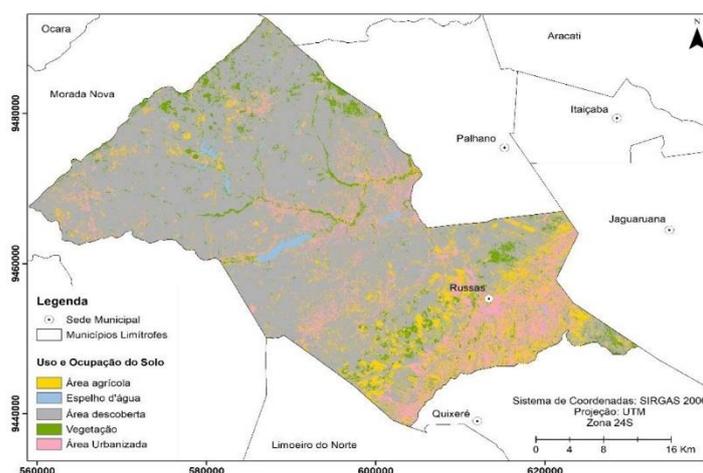


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Russas – CE.

Resultados e discussão

Águas meteóricas

Com base em dados fornecidos no portal da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, foi realizada a série histórica da pluviometria do município, em um período de 28 anos, 1980 a 2018. O monitoramento desses dados é feito por pontos pluviométricos e referem-se à quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local e período e a partir desses dados é possível calcular o total da precipitação de um município, estado ou pontos específicos (Sousa, 2018). O período de estiagem mais delicado foi no ano de 1993, com uma

precipitação de 173,4 mm e o período como maior precipitação foi no ano de 1985 com 1.989,1 mm (Figura 3). A ação das anomalias climáticas El Niño e La Nina intervêm nas chuvas do Estado do Ceará, gerando chuvas intensas em alguns anos (1985 e 2004) e seca severa em outros (1983 e 1993) (Barboza et al., 2019). O município sofreu com anos sucessivos de chuvas abaixo da média entre 2010 e 2015, com exceção de 2011. Essa tendência foi observada em todo o Estado do Ceará que teve chuvas até 66% abaixo da média nesse período (Silveira et al., 2018). Esses anos de menor pluviometria corresponderam aos registros de seca que afetaram o semiárido cearense (Silva e Oliveira, 2018).

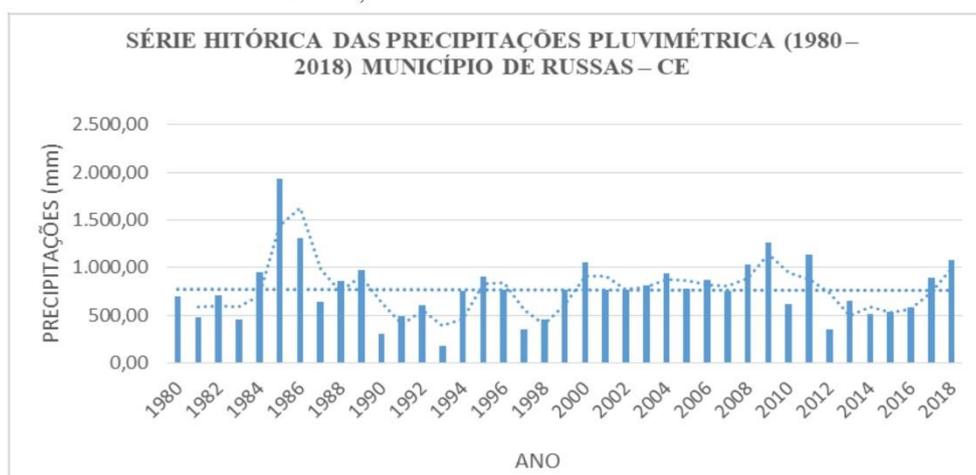


Figura 3. Série Histórica das Precipitação pluviométrica (mm) do município de Russas–CE, (1980 –2018).

A divisão de classes das precipitações para um período de 28 anos (Figura 4), ao longo da série histórica indicam que o município de Russas apresentou 4 anos de seca severa, 6 anos de normal

seco, 19 períodos classificado como normal chuvoso, 7 chuvoso moderado, 2 chuvoso severo e 1 período chuvoso, classificados pelas cores do Quadro 1.

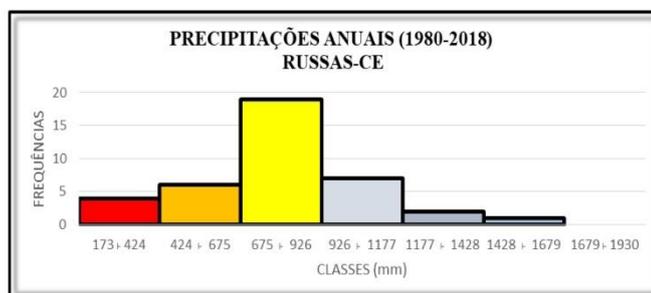


Figura 4. Precipitação pluviométrica anuais (mm) do município de Russas divididas em classes – CE (1980 –2018).

Revista Brasileira de Geografia Física v.14, 03 (2021) 1612-1625.

DIVISÃO DAS PRECIPITAÇÕES ANUAIS EM CLASSES			
CLASSES (mm)	FREQÜÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO	REPRESENTAÇÃO
173 + 424	4	SECA SEVERA	
424 + 675	6	NORMALSECO	
675 + 926	19	NORMALCHUVOSO	
926 + 1177	7	CHUVOSO MODERADO	
1177 + 1428	2	CHUVOSO SEVERO	
1428 + 1679	1	CHUVOSO	
1679 + 1930	0	CHUVA EXTREMA	

Quadro 1. Divisão das precipitações anuais em classes de acordo com quantidade de chuva em mm.

De acordo com o balanço hídrico realizado para o município de Russas, observa-se que o município não dispõe de uma oferta hídrica favorável. Essa região é fomentada pelo agronegócio, portanto possui uma grande demanda hídrica (Silva e Peixoto, 2018). A deficiência hídrica acentuada se deve a uma alta evapotranspiração, em virtude das temperaturas elevadas ao longo do ano, do baixo índice pluviométrico e das características do solo. Nessa região, assim como em todo semiárido, os solos são muito rasos, o que dificulta a presença de aquíferos (Albuquerque, 2019). A capacidade de armazenamento de água no solo é baixa, o que leva o município a passar por problemas relacionados ao abastecimento de água. Essa deficiência hídrica que ocorre no solo está diretamente ligada pela relação entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real (Medeiros et al., 2018). O município apresenta uma reserva entre os meses de fevereiro a maio, se mantendo com déficit o restante do ano, agravando-se a partir

do segundo semestre, no qual as temperaturas tendem a aumentar e as precipitações diminuírem consideravelmente conforme mostra a figura 5, onde: P: Precipitação, EPT: Evapotranspiração Potencial e ETR: Evapotranspiração Real. Essa configuração na qual o balanço hídrico apresenta deficiência hídrica entre os meses de maio a dezembro ocorre em quase todo o Estado do Ceará como demonstrado por diversos autores em diferentes regiões do Estado (Medeiros e Holanda, 2019; Barboza et al., 2020; Matos et al., 2020). As situações de excedente, déficit e reposição apresentados pelo balanço hídrico são características do local e tem origem na combinação do armazenamento de água no perfil do solo, na distribuição de precipitação e na evapotranspiração real e potencial (Cassetari e Queiroz, 2020). No bioma caatinga a situação de déficit hídrico se torna cada vez mais preocupante com o aumento da temperatura, pois provocam o aumento das taxas de evapotranspiração (Schmidt, Lima e Jesus, 2018).

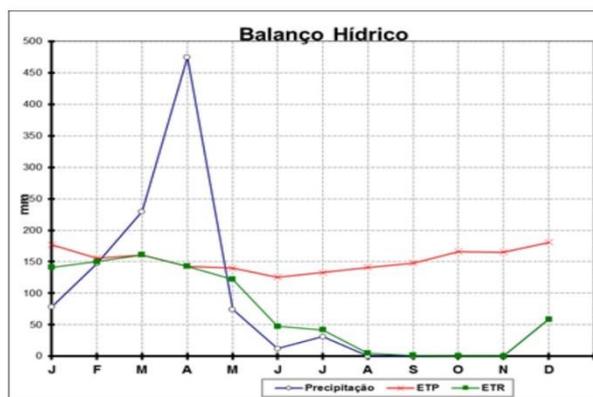


Figura 5. Balanço Hídrico, valores de P, ETP e ETR – Fonte: Thomthwaite e Mather (1955).

Mendes, L. S. A. S.; Silva Neto, T. A.; Sousa, J. S. F. O.; Silva Neto, C. A.; Vasconcelos, M. B.; Salgueiro, A. R. G. N. L.; Braga, E. A. S.; Girão, F. A. L.

Águas Superficiais

As águas superficiais do município de Russas apresentam reservatórios superficiais variam de pequenos a muitos pequenos, no qual o maior açude do município, Santo Antônio de Russas, apresenta vazão de 12 m³/h, dentro da bacia é o único açude monitorado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Foram identificados no município de Russas 129 espelhos d'águas, onde o menor apresenta uma área de 235m² e o maior com 6.105.126m². A identificação e delimitação desses espelhos d'águas foi realizada através da vetorização dos mesmos através da plataforma Google Earth. A

função histórica do Google Earth permite identificar espelhos d'água em épocas de seca e monitorar os açudes que foram construídos, além de reduzir tempo (Oliveira Júnior et al., 2020). Através desse procedimento foi possível quantificar e classificar esses corpos d'águas conforme sua área.

As divisões das áreas desses espelhos identificam um município carente de recursos hídricos superficiais. O município apresenta uma classificação dos seus recursos superficiais sendo: Um total de 126 espelhos muito pequenos, e 2 pequenos, (Tabela 2), o que mostra a carência hídrica superficial do município de Russas.

DIVISÃO DAS ÁREAS DOS ESPELHOS DE ÁGUAS		
ÁREA(m ²)	FREQÜÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO
235 + 66.235	117	Muito pequeno
66.235 + 132.235	3	Muito pequeno
132.235 + 198.235	4	Muito pequeno
198.235 + 264.235	2	Muito pequeno
264.235 + 330.235	2	Pequeno

Tabela 2. Divisão dos Espelhos d'água.

Águas Subterrâneas

O levantamento da disponibilidade hídrica subterrânea foi realizado a partir de informações de Órgãos gestores do município de Russas: CAGECE, COGERH, Órgão executor SOHIDRA e informações disponíveis no portal do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na plataforma do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

– SIAGAS. O SIAGAS é composto por uma base de dados de poços com atualização constante sendo desenvolvido e mantido através de pesquisas e mapeamento hidrogeológico em todo o país (Carvalho et al., 2020). Conforme levantamento, o refinamento e adição dos poços cadastrados que estão inseridos na área de estudo totalizaram 358 poços no município de Russas. A situação desses, até 2019, estão distribuídos na figura 7.



Figura 6. Situação dos poços cadastrados conforme situação informada.

Mendes, L. S. A. S.; Silva Neto, T. A.; Sousa, J. S. F. O.; Silva Neto, C. A.; Vasconcelos, M. B.; Salgueiro, A. R. G. N. L.; Braga, E. A. S.; Girão, F. A. L.

Dos 358 poços do município apenas 34% estão bombeando, o que corresponde a 122 poços ativos, com uma vazão de aproximadamente 227,44 m³/h. Com uma população de 78.194 habitantes, tem-se um total de 218 habitantes para cada poço construído e 646 habitantes para cada poço em operação.

A litologia da área é de fundamental importância para construção desses poços, 64%

deles encontram-se em terrenos cristalinos. Nos terrenos cristalinos a ocorrência de água subterrânea está condicionada por uma porosidade secundária representada por fratura e fendas, apresentando reservatórios aleatórios, com quantidades e qualidade de água bem inferiores as demais litologias (Braga et al., 2018).

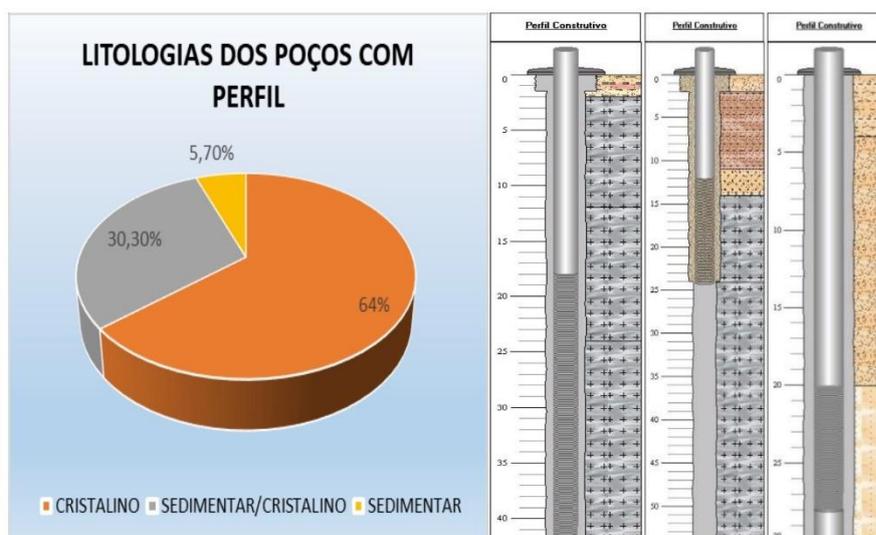


Figura 7. Distribuição das litologias dos poços, e perfis Litológicos: cristalino, sedimentar/cristalino e sedimentar.

Estudo Estatístico

Foi realizado estudo estatístico das profundidades e vazões de dados de 49 poços da Superintendência de Obras Hidráulicas, SOHIDRA. Os demais Órgãos não apresentavam informações suficientes para gerar os dados necessários.

Utilizando o PAST (Peleontological Statistics versão 2.17c) calcularam-se todos os dados estatísticos univariavelmente, no conjunto amostral, onde o Coeficiente de Variação e Desvio Padrão é amplamente usado para expressar a precisão e a repetitividade de um ensaio. Os dados são apresentados na Tabela 3.

Estatística Descritiva dos parâmetros analisados	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h)
N	49	49
Mínimo	20	0
Máximo	108	935
Soma	3331	8037,883
Média	67,97959	164,0384

Revista Brasileira de Geografia Física v.14, 03 (2021) 1612-1625.

Erro padrão	3,320659	41,08646
Variância	540,3121	82716,76
Desvio padrão	23,24461	287,60524,5
Mediana	60	4,5
Percentil 25	57	1,25
Percentil 75	84,5	244
Curtose	-0,65113	1,228807
Média Geométrica	63,57658	0
Coefficiente de variação	34,19352	175,328

Tabela 3. Estatística Descritiva dos parâmetros analisados.

A figura 8 mostra o gráfico tipo caixa de profundidade (m) e vazão (m^3/h). As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25,50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 e 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde ao dentro da caixa.

Na figura 9 a análise mais comum se ajusta a modelos logísticos lineares sucessivamente mais

ricos e mede a variação residual do modelo por menos duas vezes a máxima verossimilhança. Medidas gerais de variação residual são consideradas aqui, incluindo erro quadrático ordinário e erro de previsão, bem como a verossimilhança logarítmica. O resultado do Teste de One-way ANOVA e teste de Tukey dos parâmetros profundidade (m) e vazão (m^3/h) mostrou que as amostras mostram diferenças significativas em relação a vazão.

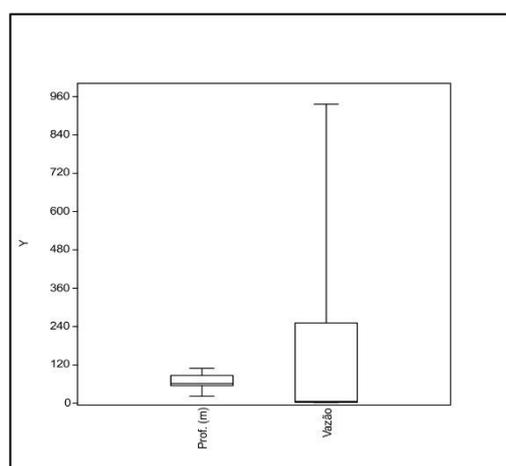


Figura 8. Gráfico tipo caixa dos valores de profundidade (m) e vazão (m^3/h).

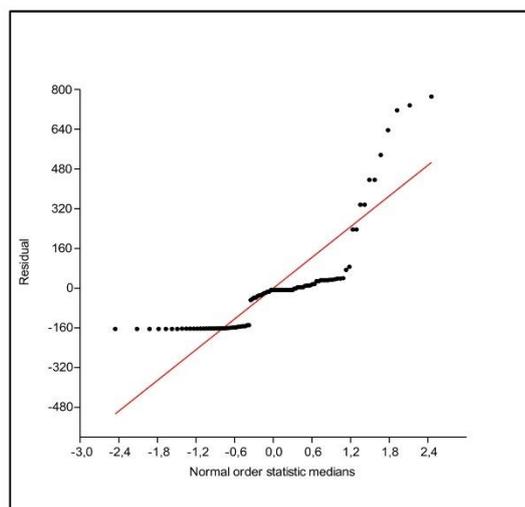


Figura 9. Teste de ANOVA residual de variação das médias dos parâmetros.

Conclusões

O município apresenta uma baixa disponibilidade hídrica, devido à combinação de fatores, como: Baixos índices de precipitação (inferiores a 900 mm); altas taxas de evaporação (superiores a 2.000mm); Irregularidade do regime de precipitação (secas frequentes e por vezes pluri- anuais); e Contexto hidrogeológico desfavorável (80% do território sobre rocha cristalina, com camada de solo raso e poucos recursos hídricos subterrâneos).

Dentro do contexto climatológico a maior parte dos rios são naturalmente intermitentes, os eventos de estiagem comprometem os reservatórios superficiais e subterrâneos. No ano de 2018, o município apresentou um excedente de fevereiro a maio, no entanto não foi muito representativo em relação ao déficit no restante do ano. Por se tratar de uma região com problemas sérios de oferta hídrica. Percebe-se a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos para assegurar a população o mínimo necessário para suprir suas necessidades em relação a esse recurso. O município apresenta um quadro hídrico quali-quantitativo bastante delicado, tanto nos recursos hídricos superficiais como subterrâneos, em virtude das formações geológicas predominantes na área, as rochas cristalinas, no qual a água captada apresenta baixa vazão e qualidade comprometida pela concentração de sais.

As formações geológicas das Coberturas sedimentares e Depósitos aluvionares, são as litologias com maior possibilidade de quantidade e qualidade de água no município.

Mendes, L. S. A. S.; Silva Neto, T. A.; Sousa, J. S. F. O.; Silva Neto, C. A.; Vasconcelos, M. B.; Salgueiro, A. R. G. N. L.; Braga, E. A. S.; Girão, F. A. L.

A oferta hídrica superficial é de 12m³/h, do ponto de vista para abastecimento, esse açude não possui capacidade para suprir as necessidades da demanda de água nos períodos secos. A vazão subterrânea ofertada é de 668,9m³/h, para uma população de 78.194 habitantes; esse quadro se deve as condições climáticas; (0,0085 m³/h /habitante). A distribuição de poços no município é de 0,0045 poços/pessoa.

Considerando como se essa vazão fosse efetiva por um período de 4h/ dia, daria 0,0034m³/h/habitante ou 3,4L de água dia por pessoa, o que estaria baixo da recomendação da Organização Mundial da Saúde, que recomenda 110L/dia por pessoa.

Recomendações

Pôde-se observar que a situação de escassez hídrica é uma constante na região e dificilmente apresenta excedente hídrico. Os espelhos d'água vetorizados juntos com as informações dos Órgãos governamentais, deixa claro que as águas superficiais não apresentam garantia de abastecimento, as temperaturas são muito elevadas. Diante de todo esse quadro natural, é extremamente importante a gestão adequada dos recursos hídricos para região. Na pesquisa não foi encontrado nenhum plano de gestão municipal para os recursos hídricos. Essa situação não é um desafio somente para o município de Russas-CE, mas para muitos municípios do Brasil, principalmente os do Nordeste, onde o maior empecilho é a falta de empenho político e com isso uma infraestrutura deficiente.

O município de Russas, em função da geologia da área, apresenta águas salobras ou salinas, o que se faz necessário a implantação de dessalinizadores nos poços, principalmente os que abastecem comunidades inteiras. É importante ainda que o poder público fique responsável pela manutenção desse equipamento, tendo em vista que as comunidades, quando contempladas, são as menos favorecidas economicamente, o que inviabiliza a troca de membranas, gerando, ainda mais, a concentração de sais nas águas para o consumo humano. Os locais litológicos para construção de poços são as aluviões, cuja vazão e qualidade da água são consideravelmente melhores. Essa oferta poderia ser realizada via carros-pipas. O poder público poderia, ainda, captar águas do canal de irrigação de Tabuleiro de Russas para serem distribuídas nas comunidades;

Dada a precariedade de saneamento básico adequado, o que cria situações muito favoráveis à transmissão de diversas doenças, principalmente a diarreia, é interessante que essa estrutura básica seja oferecida a população.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), pela realização das análises, ao Departamento de Geologia, o Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE), e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará pela estrutura fornecida para a realização deste trabalho, além da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Albuquerque, A.M., Ferreira, Y.B., Silva, S. B., Sales, M. C. L., 2019. Balanço hídrico como ferramenta de gerenciamento de recursos hídricos: aplicação na área de influência direta do açude Castanhão – CE. *Revista da Casa de Geografia de Sobral* 21, 454-466.
- Almeida, L.S., Cota, A.L.S., Rodrigues, D.F., 2020. Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais: impactos na saúde urbana. *Revista Ciência & Saúde Coletiva* 25(10). 3857-3868.
- Alves, D.A.S., Barbosa, W.de O., Dantas, J.R.A.F., 2020. Políticas Públicas de

Convivência no Semiárido: Cisternas de Placas e o direito à água. *Rev.Bras.de Direito e Gestão Pública* 8(02). 629-644.

ANA. Agência Nacional de Águas, 2005. Disponibilidade de demanda de Recursos Hídricos no Brasil: estudo técnico. Caderno de Recursos Hídricos. Brasília.

_____. Agência Nacional de Águas, 2010b. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Brasília.

Barboza, E.N., Bezerra Neto, F.C., Caiana, C.R.A., Crisóstomo, N.C., Sampaio, M.R.L., Beserra, M.N.S., Lacerda, A.W.J.R., 2019. Análise de precipitações pluviométricas entre 1974-2009 no município de Juazeiro do Norte, Ceará. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 13, 20-26.

Barboza, E.N., Lima, B.M.R., Alencar, F. H.H., Alencar, G.S.S., 2020. Análise temporal do regime pluviométrico na cidade de Iguatu – Ceará. *Research, Society and Development* 9, 1-19.

Braga, E.S., Freitas, C.B.F.B., Mendes, L.S.A.S, Aquino, M.D., 2018. Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. *Águas Subterrâneas* 32, 17-24.

Brasil. Ministério da Saúde, 2020. DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. Brasília.

Brito, H.C.de., Brito, Y.M.A.de., Assis, W.D. de., Ferreira, Y.C.B., Vasconcelos, R.S., Rufino, I.A., 2020. Análise temporal da disponibilidade hídrica nos estados beneficiados pela transposição do Rio São Francisco. *Revista Caminhos de Geografia* 21.102-116.

Carvalho, A.C.L., Vinagre, M.V.A., Mendes, R.L.R., Lopes, D.F., Lopes, M.S.B., 2020. Estudo da vulnerabilidade da água subterrânea no distrito industrial de Icoaraci (Belém-PA) (Estudo de caso). *Brazilian Journal of Development* 6, 5649-5661.

Cassetari, G.A., Queiroz, T.M., 2020. Balanço hídrico e classificação climática na bacia do rio Jauquara, região de transição entre o cerrado e Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia* 26, 70-88.

- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2011. Águas subterrâneas. Brasília.
- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 2020. Sistema de informações de águas subterrâneas - SIAGAS. Brasília.
- Ferraço, A.A.G., Piaulino, B.B.C., Figuerôa, M.R.C.e C., Bastian, M.V.S.S., 2020. A atuação da sociedade diante da falha de governança do estado no caso da crise hídrica de São Paulo (2013-2015). Dom Helder Revista de Direito 3. 49-74.
- Fonseca, G.S., Santos, M.R., 2020. Impactos da seca em municípios de minas gerais. Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente 1, 1-18.
- Freitas, M.A. de S., 2019. Gestão e modelagem hídrica em bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. Brazilian Journal of Development. DOI:10.34117/bjdv5n7-053. ISSN 2525-8761. 8344-8351
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2019. Postos Pluviométricos. Fortaleza.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2018. Perfil Básico Municipal Russas 2017. Fortaleza.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Brasília.
- Matos, R.M., Silva, P.F., Medeiros, R.M., Santos, B.D.B., Barros, A.S., Dantas Neto, J., Saboya, L.M.F., 2020. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha – CE. Revista Brasileira de Geografia Física 13, 973-982.
- Medeiros, R.M., Nunes J.C., Holanda, R.M., França, M.V., 2018. Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una – PE, Brasil. Journal of Environmental Analysis and Progress 3, 310-318.
- Medeiros, R.M., Holanda, R.M., 2019. Classificação climática e balanço hídrico pelo método de Köppen e Thornthwaite do município de Barbalha, Ceará, Brasil. Revista Equador 8, 19-43.
- Mesquita, P.dos.S., Cavalcante, L., Milhorce, C., Nogueira, D., Andrieu., 2020. Importância dos programas voltados aos agricultores familiares nos períodos de seca frente à necessidade de adaptação às mudanças climáticas no Semiárido brasileiro. Revista Edição especial - Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens 55. 599-618.
- Morais, H.B de., Ribeiro, A.M.M., 2020. O “novo caminho das águas” da paraíba e os cantos de acauã: expropriação e violência em grandes obras hídricas. Revista Trabalho Necessário 18. 69 – 93.
- Newell, R.; Dale, A.; Roseland, M., 2018. Climate action co-benefits and integrated community planning: uncovering the synergies and trade-offs. International Journal of Climate Change: Impacts & Responses 10. 1-23.
- Normandin, C., Frappart, F., Lubac, B., Bélanger, S., Marieu, V., Blarel, F., 2018. Quantification of surface water volume changes in the Mackenzie delta using satellite multi-mission data. Hydrology and Earth System Sciences 22. 1543–1561.
- Ogden N.H., 2017. Climate change and vector-borne diseases of public health significance. FEMS microbiology letters 364(19). 1-8.
- Olivares, B.O., Hernández, R., Coelho, R., Molina, J.C., Perira, Y., 2018. Analysis of climate types: main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of carabobo, Venezuela. Scientia Agropecuaria 9(3). 359-369.
- Oliveira, E.G., Santos, F.J.S., 2015. Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água. Ciência Animal, 25(1), 133-154.
- Oliveira Júnior, M.E., Arlindo, V.J.C., LUNES, A.R.S., Bezerra, J.M., 2020. Morfometria e zoneamento ambiental da microbacia hidrográfica do açude 25 de março – RN. Brazilian Journal Development 6, 75428-75444.
- Pasqualetto, T.L.L., Pasqualetto, A., Pasqualetto, A.G.N., 2020. Análise da Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. Trabalho Inscrição na Categoria de Artigo Completo ISBN - 978-65-86753-02-8. XVI Fórum Ambiental. 2088–2113.
- Peixoto, F.da.S., 2020. Risco de contaminação da água subterrânea em uma sub-bacia urbana. Mercator [online] 19. Disponível: <https://doi.org/10.4215/mn2020.e19013>. Acesso: 06 dez. 2020.
- Ribeiro, R. M., & Kampel, S. A., 2020. Como as mudanças climáticas afetam a vida das pessoas? Uma análise sistemática da relação entre clima e bem-estar.
- Sarkodie, S. A.; strezov, V., 2019. Economic, social and governance adaptation readiness for mitigation of climate change vulnerability: evidence from 192 countries. Science of the total Environment. 150-164.
- Schmidt, D.M., Lima, K.C., Jesus, E.S., 2018. Variabilidade climática da disponibilidade hídrica na região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. Anuário do Instituto de Geociências 41, 483-491.

- Senna, L. D., Maia, A. G., & Medeiros, J. D. F., 2019. O uso da análise de componentes principais para a construção do Índice de Pobreza da Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 24, 1-18.
- SEPLAN. Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado do Ceará, 2005. Relatório Síntese. Fortaleza.
- Silva, E.O., Peixoto, F.S., 2018. Implantação da política de recursos hídricos no Estado do Ceará: do “Governo das Mudanças” à atual crise hídrica. *Revista GeoNordeste* 2, 61-74.
- Silva, E.G.B., Oliveira, V.P.V., 2018. Análise das precipitações pluviométricas como indicativo de áreas susceptíveis à desertificação nos sertões de Santa Quitéria e Independência, Ceará. *Revista Eletrônica do PRODEMA* 12, 07-17.
- Silva, H.P., Santos, J.de.O., 2019. A Segurança Hídrica Domiciliar e os Serviços Ecosistêmicos na Serra de Martins – RN. *Revista Geografia (Londrina)* 28. 61–79.
- Silveira, R.N.C.M, Peixoto, F.S., Costa, R.N.T., Cavalcante, I.N., 2018. Efeitos da seca em perímetros irrigados no semiárido brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências* 41, 268-275.
- Simão, G., Damiani, A.P.M., Alexandre, N.Z., Silva, B.G.da., 2020. Qualidade da água utilizada para consumo humano em áreas rurais, estudo de caso no município de Santa Rosa do Sul - Santa Catarina. *Holos Environment* 20 (1), 100-116.
- Sousa, S.G. de., 2019. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica na Região Metropolitana do Cariri (CE), Brasil. *Revista Geográfica de América Central* 63, 273-294.
- Souza A.K.R., Morassuti, C.Y., Deus, W.B.de., 2018. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. *Acta Biomédica Brasiliensia* 9(3). 95-106.
- Sturges, H.A., 1926. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association* 21, 65-66.
- Takahashi, L.D.S., Silveira, C.da.S., Vanconcelos Júnior, F.das.C., 2020. Escassez de água e seus impactos socioeconômicos na piscicultura familiar em tanques-redes no açude Castanhão no município de Jaguaribara no Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13. 2476-2490.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955. The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.
- Trottier, J., 2008. Water crises: political construction or physical reality. *Contemporary Politics* 14. 197-214.

APÊNDICE D - INFLUÊNCIAS ANTRÓPICAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA O CONSUMO HUMANO EM RUSSAS, CEARÁ



Anuário do Instituto de Geociências

Universidade Federal do Rio de Janeiro

<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeol/>

ISSN 0101-9759

e-ISSN 1982-3908

Anthropic Influences on the Quality of Underground Waters for Human Consumption in Russas, Ceará, Northeastern Brazil

Influências Antrópicas na Qualidade das Águas Subterrâneas para o Consumo Humano em Russas, Ceará, Nordeste do Brasil

Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa¹ , Amanda Aragão Moraes Gadelha² ,
Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes¹ , Cláudio Ângelo da Silva Neto¹ , Ana Rita
Gonçalves Neves Lopes Salgueiro³  & Itabaraci Nazareno Cavalcante³ 

¹Programa de Pós Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará

²Graduada em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará

³Docente do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará

E-mails: joyceshantala@gmail.com; amanda_aragao.2@hotmail.com; luzia.santos@nutec.ce.gov.br; claudioasn@gmail.com; ritasalgueiro@ufc.br; itabaracicalcavalcante@gmail.com

Abstract

In regions with semi-arid characteristics, groundwater is a precious source of water supply, mainly from alluvium, due to the decent quality of its waters. However, the sandy texture favors vulnerability, and the infiltration and percolation of fluids increase the risk of contamination of the aquifer in the presence of polluting sources. The population's knowledge about these problems is still ephemeral, which can lead to the consumption of contaminated water, putting health at risk. Thus, research was conducted in the municipality of Russas – Ceará, to study the quality of groundwater, the possible polluting sources in the urban area, and assess the possible risks to human health. First, technical visits for reconnaissance and survey of information were conducted, such as possible polluting sources and situations of existing wells. The selection of wells to collect water followed criteria of proximity to polluting sources, well conditions, and, mainly, those linked to the use of water for human consumption. The result showed that 43% of the samples are above the limits proved by Brazilian legislation for turbidity, total hardness, TDS, sodium, chloride, and nitrate, while the others are within the standard. Concerning chlorides and nitrates, the concentrations show there is possibly a relationship with anthropic contaminants (agricultural area; domestic effluents) for the aquifer recharge areas and condition common problems to human health. Therefore, it is of paramount importance to continue research in Medical Geology that will enable the monitoring and future management of water quality of groundwater for the population.

Keywords: Contamination; Medical geology; Health

Resumo

Em regiões com características do semiárido, as águas subterrâneas são fontes preciosas de abastecimento hídrico, principalmente, as providas de aluviões devido à boa qualidade de suas águas. No entanto, a textura arenosa favorece a vulnerabilidade, e a infiltração e a percolação de fluidos aumentam o risco à contaminação do aquífero na presença de fontes poluentes. O conhecimento desses problemas por parte da população ainda é efêmero, e pode levar ao consumo de água contaminada colocando em risco a saúde. Dessa forma, foi realizada uma pesquisa no município de Russas – Ceará a fim de estudar a qualidade da água subterrânea, as possíveis fontes poluentes na zona urbana e avaliar os possíveis riscos para a saúde humana. Primeiramente, foram realizadas visitas técnicas de reconhecimento e levantamentos de informações, a exemplo das possíveis fontes poluentes e situações dos poços existentes. A seleção dos poços para coleta de água seguiu os critérios de proximidade às fontes poluidoras, condições dos poços e em especial, aqueles vinculados ao uso da água para consumo humano. O resultado mostrou que 43% das amostras estão com teores acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para turbidez, dureza total, STD, sódio, cloro e nitrato, enquanto as demais encontram-se dentro do padrão. No que diz respeito ao cloro e nitrato, possivelmente há uma relação com os contaminantes antrópicos (área agrícola; efluentes domésticos) às áreas de recarga do aquífero e condicionam problemas comuns à saúde humana. Sendo assim, é de suma importância a continuidade de pesquisas voltadas a área de Geologia Médica que possibilite futuros monitoramentos e gestão da qualidade da água subterrânea para a população.

Palavras-chave: Contaminação; Geologia médica; Saúde

Anuário do Instituto de Geociências, 2021, v. 44, 43166

DOI: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_43166 1



1 Introduction

The scarcity of rainfall is a problem that requires adaptation of the population to environmental conditions. With the growing demand for water use, especially in regions of climatic vulnerability, such as the Northeast region of Brazil, the implementation of a rational policy for the exploration and use of its water resources is fundamental (Borges 2021). Brazilian semi-arid, defined per Ordinance N° 89 of the Ministry of National Integration of March 16, 2005, covers the state of Ceará, which has 86.8% of its area inserted in the region (IBGE 2019). This scenario highlights the importance of underground water resources, especially when coming from alluvial deposits, where they are the main sources of water exploitation from a hydrogeological point of view, mainly in semi-arid regions with a predominance of crystalline rocks, which usually capture brackish waters (Gomes 2010).

Although underground resources are considered important sources of water supply due to their low susceptibility to pollution when affected by contaminants that alter their physical-chemical parameters, the inversion of the problem can become quite costly and generally unsatisfactory results. The concentrations of substances dissolved in groundwater increase not only due to the percolation in the rocks that make up the aquifer but also due to the interference of anthropic action, especially in urban areas associated with the release of pollutants and the precariousness of basic sanitation services. The main urban effluents come from black cesspools, leachate from cemeteries, poorly constructed dumps, and inadequate domestic sewage. Also included are contaminated surface watercourses, industrial waste, and manufactured products that release heavy metals into the soil and that can be loaded and leached to the saturated zone or discarded, equally, in water mirrors (Nobre 2018).

Proper treatment of groundwater sources is essential to avoid negative interference with human health. Waterborne diseases, whether due to direct contact, drinking water, or indirect contact, the consumption of vegetables and animals present in the same environment, are not always easy to diagnose. Diseases such as cancer, neurological, intestinal, kidney and liver problems are diseases with research related to pollutants in water (Centeno et al. 2013). The lack of maintenance and monitoring of water supply to the population directly affects health, and the precarious infrastructure contributes to people consuming water even without undergoing any type of treatment.

In Medical Geology, one of most significant procedures is assessing and identifying environmental hazards and health risks. This field involves the research

on the effects of geological materials and processes on human and ecosystem health, and it includes both natural and anthropogenic sources of possible health issues (Bunnell 2004). Medical geology, as according Hasan (2019, 2021), is the field that studies the impact of anthropogenic and geological influences on human and ecological health. From early 1960s geochemical studies attempting to decipher alleged connections between both the natural geochemical environment and health of occurring in a specific area to the establishment of the International Association for Medical Geology (IMGA) in 2006, medical geology has advanced to the point where it is properly recognized as a discipline (Hasan 2021). However, in Brazil, this issue has only recently become more important in the previous 20 years (Oliveira 2006).

Given the above, the research aims to identify possible contaminating sources of groundwater, assess the quality of water for human consumption, and indicate areas with potential risk to public health in the municipality of Russas, Ceará.

2 Materials and Methods

2.1 Region of Study

The municipality of Russas is in the eastern region of the state of Ceará, 160 km from its capital, Fortaleza, with 1,611.091 km². It is in the region of Baixo Jaguaribe, and limited to the municipalities of Quixeré, Limoeiro do Norte, Quixeré, Morada Nova, Palhano, Jaguaruana and Beberibe (RIGeo 1998; IBGE 2020). Access to the municipality can be made, from Fortaleza, by BR-116 with southeast direction (Figure 1).

According to the *Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos* (FUNCEME) [Cearense foundation for meteorology and water resources] and the *Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará* (IPECE) [Cearense institute for research and economic strategy], the regional climate is characterized by average temperatures ranging from 26 to 28°C and average annual rainfall of 857.7 mm, in which the rainy period occurs from January to April (IPECE 2017).

The municipality includes distinct hydrogeological domains: crystalline rocks, undifferentiated Cenozoic formations, and alluviums. More than half of the municipality is formed by crystalline rocks that represent the fissured aquifer. These aquifers have low water potential due to the minimal permeability, and, in most cases, saline water, therefore, water storage is conditioned by the secondary porosity represented by fractures, which translate into

Anthropic influences on the quality of underground waters for human consumption...

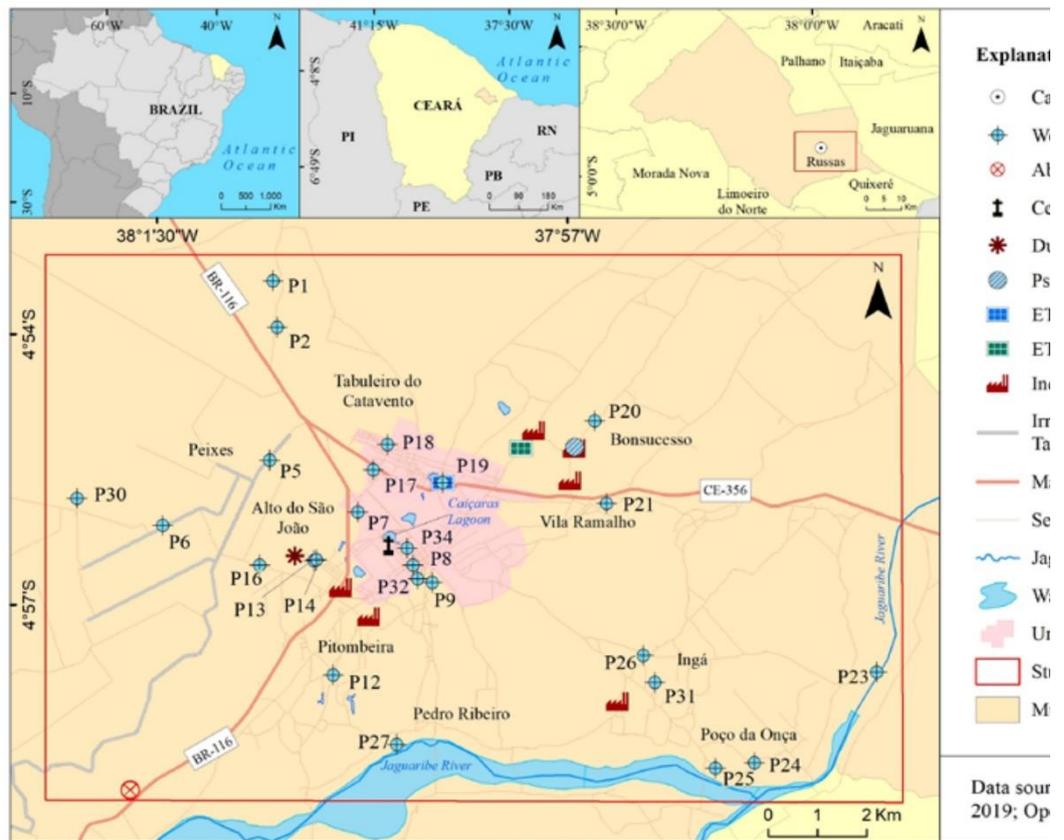


Figure 1 Location of the study area with visited points, Russas-CE.

Anuário do Instituto de Geociências, 2021, v. 44, 43166

easy to diagnose. Diseases such as cancer, neurological, intestinal, kidney and liver problems are diseases with research related to pollutants in water (Centeno et al. 2013). The lack of maintenance and monitoring of water supply to the population directly affects health, and the precarious infrastructure contributes to people consuming water even without undergoing any type of treatment.

In Medical Geology, one of most significant procedures is assessing and identifying environmental hazards and health risks. This field involves the research

rainfall of 857.7 mm, in which the rainy period occurs from January to April (IPECE 2017).

The municipality includes distinct hydrogeological domains: crystalline rocks, undifferentiated Cenozoic formations, and alluviums. More than half of the municipality is formed by crystalline rocks that represent the fissured aquifer. These aquifers have low water potential due to the minimal permeability, and, in most cases, saline water, therefore, water storage is conditioned by the secondary porosity represented by fractures, which translate into

Anuário do Instituto de Geociências, 2021, v. 44, 43166

random, discontinuous, and small reservoirs. extension. However, such conditions do not diminish their importance as an alternative of supply in cases of small communities or as a strategic reserve in prolonged periods of drought (RIGeo 2007; RIGeo 1998).

Cenozoic formations are sedimentary packages that include fractions of sand, silt, clay, gravel (lateritized or not), ferruginous laterites, undifferentiated colluvial, and eluvial sediments. They are characterized by having primary porosity, with high permeability in sandy soils, and are of low thickness and continuity. Although these aquifers have low hydrogeological favorability, depending on the thickness and the sand/clay ratio of these units, significant flows can be produced in the tubular wells (RIGeo 2007; RIGeo 1998).

The alluviums are represented by patches of sands, gravels, and clays with organic matter, which occur along the gutters of the main rivers and streams that drain the region. In general, a low hydrogeological favorability is expected. Along the first order rivers, there are places where they can acquire large possessions, with widths greater than 6 to 8 km and thicknesses greater than forty meters, and where medium to high hydrogeological favorability is expected. The waters are predominantly of good chemical quality. Therefore, aquifers in this domain are a viable alternative as a source, having great relative importance from the hydrogeological point of view, mainly in semi-arid regions with a predominance of crystalline rocks (RIGeo 2007; RIGeo 1998).

2.2 Field Planning

The office's activities consisted of bibliographic research on hydrogeology, economic activities, well profiles, and human health from different sources: Geological Service of Brazil, the *Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil* (GeoSGB) [Geosciences system of the geological service of Brazil], IPECE, *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas* (SIAGAS) [Groundwater information system] and the United States federal public health agency system – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). The information helped to determine the target area utilizing a pre-field map illustrating roads, water bodies, possible polluting sources, and tubular wells cataloged within the municipality of Russas. The field activity was conducted in September 2019. The walk was planned based on the accesses, situation, and usefulness of the recognized wells and mainly on the identification of possible polluting sources identified in the preliminary phase of the study and the field.

2.3 Chemical Water Collection and Analysis

The collecting water samples were determined based on the proximity of the wells to the polluting sources, the conditions of the wells, and the number of people who used the underground source. The samples were placed in properly decontaminated and labeled containers. Then, they were stored in polystyrene boxes with ice until they were taken for analysis.

The physical-chemical parameters (pH, electrical conductivity – EC, larger ions, turbidity, total dissolved solids (TDS), nitrogen, and chloride compounds) were determined at the environmental chemistry laboratory of the *Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará* (NUTEC) [Center for technology and industrial quality of Ceará]. Potability analyzes were performed according to the Standard Methods for Examination of Water and Sewage (APHA 2012).

2.4 Data Analysis and Interpretation

From the acquisition of material collected in the field, integration was performed in a georeferenced database for each collection point and the physical-chemical parameters obtained in the analysis. Then, the information was processed in a GIS environment to produce cartographic products.

3 Results and Discussion

3.1 Characteristics of Visited Wells

The city has a water supply from the *Companhia de Água e Esgoto do Ceará* (CAGECE) [Water and Sanitation Company of Ceará], however, residents report that, eventually, water does not reach the water supply system, especially in areas far from the center, where there are more needy communities. Thus, they choose to use water from dams, cisterns, cisterns, and, mainly, from wells for domestic supply.

Although the community itself does the maintenance of the water tank and desalters, there cannot maintain it because of the excessive costs, which leads residents to consume water without proper treatment and can compromise human health, as in the case of community wells P2 and P14.

The field stages allowed the visit to twenty-seven existing wells in the area, including two dug wells and twenty-five tubular wells. Of the studied wells, 70%

are active, 11% are paralyzed, 8% are disabled, 7% are abandoned and 4% are dry. The functional wells are destined for domestic supply (48%), multiple supplies (11%), and irrigation (11%). There are fourteen wells for human consumption, ten of which have their water used for direct and indirect ingestion (P8, P12, P14, P18, P20, P21, P24, P25, P31, and P32), the other four are for personal hygiene (P2, P17, P23, and P34). Seventy percent of the wells analyzed are deeper than thirty meters, eight are SIAGAS-registered, and only three have lithological profiles.

Two abandoned wells were visited, but other wells were found close to the irrigation channel in this situation. Visiting the Irrigation District of the Perimeter Tabuleiro de Russas (DISTAR), the official informed that, of the wells located around the irrigation channel of the municipality of Russas, only two are in operation, the rest are abandoned, deactivated, or interrupted. This situation occurred due to the low flows produced by the wells and high salinity present in the water. Another factor that may have contributed to the abandonment of the wells is the interruption of the second part of the Irrigation Program of Tabuleiro de Russas, due to the excessive costs of water rationing, which caused the suspension of agricultural activities on the site. Thus, the research was directed to the surroundings of the urban area of the municipality, where the largest number of active wells is concentrated.

3.2 Water Quality Analysis

The result of the well water analysis revealed that 57% of the samples (P8, P12, P18, P21, P23, P24, P25, and P31) meet the criteria established by the legislation. However, 43% of the samples (P2, P14, P17, P20, P32, and P34) had levels above the limits established by the legislation for chlorine, total hardness, nitrates, sodium, TDS, and turbidity, and, therefore, are not suitable for human consumption.

The results of the analysis of the fourteen groundwater samples are illustrated in Figure 2. The parameters evaluated were based on the potability standards established by Consolidated Ordinance N° 5, of September 28, 2017, from the Ministry of Health (Ministério da Saúde 2017).

3.2.1. Physicochemical Parameters

Turbidity ranged from 0.1 to 19.5 uT, with only one sample showing a value above the potability standard established by legislation, which is the Maximum Permitted Value (MPV) of 5.0 uT. The high concentration of turbidity in the water of well twenty must probably occur due to poor

construction of wells or filters that are poorly sized and/or positioned, allowing the entry of impurities.

The total hardness of 71% of the analyzed samples is within the permitted limit (500 mg L^{-1}) by legislation. The highest value presented is in the water sample of P2 (1403.5 mg L^{-1}). Samples P14, P17, and P 34 showed values slightly above that allowed by the ordinance (591.5 mg L^{-1} , 551.4 mg L^{-1} , and 551.4 mg L^{-1} respectively). Almost all water hardness is caused by calcium and magnesium salts (bicarbonates, sulfates, chlorides, and nitrates) found in the solution. The objection to human use is due to the taste, which can eventually be considered an unpleasant characteristic of extremely hard waters, besides to being responsible for incrustations in pipes (Gomes 2018).

Among the results obtained, electrical conductivity (EC) ranged from 148 to $5,841 \mu\text{S cm}^{-1}$, with 43% of the samples showing EC above $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, indicating a strong presence of salts; the rest (57%) reveals values between 100 and $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Although the EC does not have a maximum value established in the ordinance, natural waters have conductivity values between 10 to $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, as they denote TDS concentrations below 60 mg L^{-1} , and in environments polluted by domestic or industrial sewage at values up to $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Gasparotto 2011). Nearly half of the samples collected had an EC greater than 1000 S cm^{-1} , which could indicate anthropogenic contamination.

For the physical parameters of the waters of the analyzed samples, the pH values show the predominance of neutral to slightly alkaline waters that vary from 6.47 to 8.20 to 25°C and on average is 7.27 and, therefore, are within the standard for human consumption established by legislation.

3.2.2. Total Dissolved Solids (TDS)

The range of values is wide, 83.20 to $3285.30 \text{ mg L}^{-1}$, with a significant increase in the values of the samples observed in wells in the urban area. It is worth mentioning that the waters of wells P8 and P18 located in the urban area, go through desalination that reduce the TDS value in the waters. The highest concentrations of salts were identified at points P2, P17, P20, and P24 ($3285.30 \text{ mg L}^{-1}$, $1708.90 \text{ mg L}^{-1}$, $1230.90 \text{ mg L}^{-1}$, and 2538.8 mg L^{-1}) that release water considered as imprints for human consumption according to CP N° 05/2017 (1000 mg L^{-1}).

In 57% of the samples, the waters were classified as fresh water according to the TDS values and following the classification proposed by *Conselho Nacional Do Meio Ambiente* (CONAMA) [National environment council]

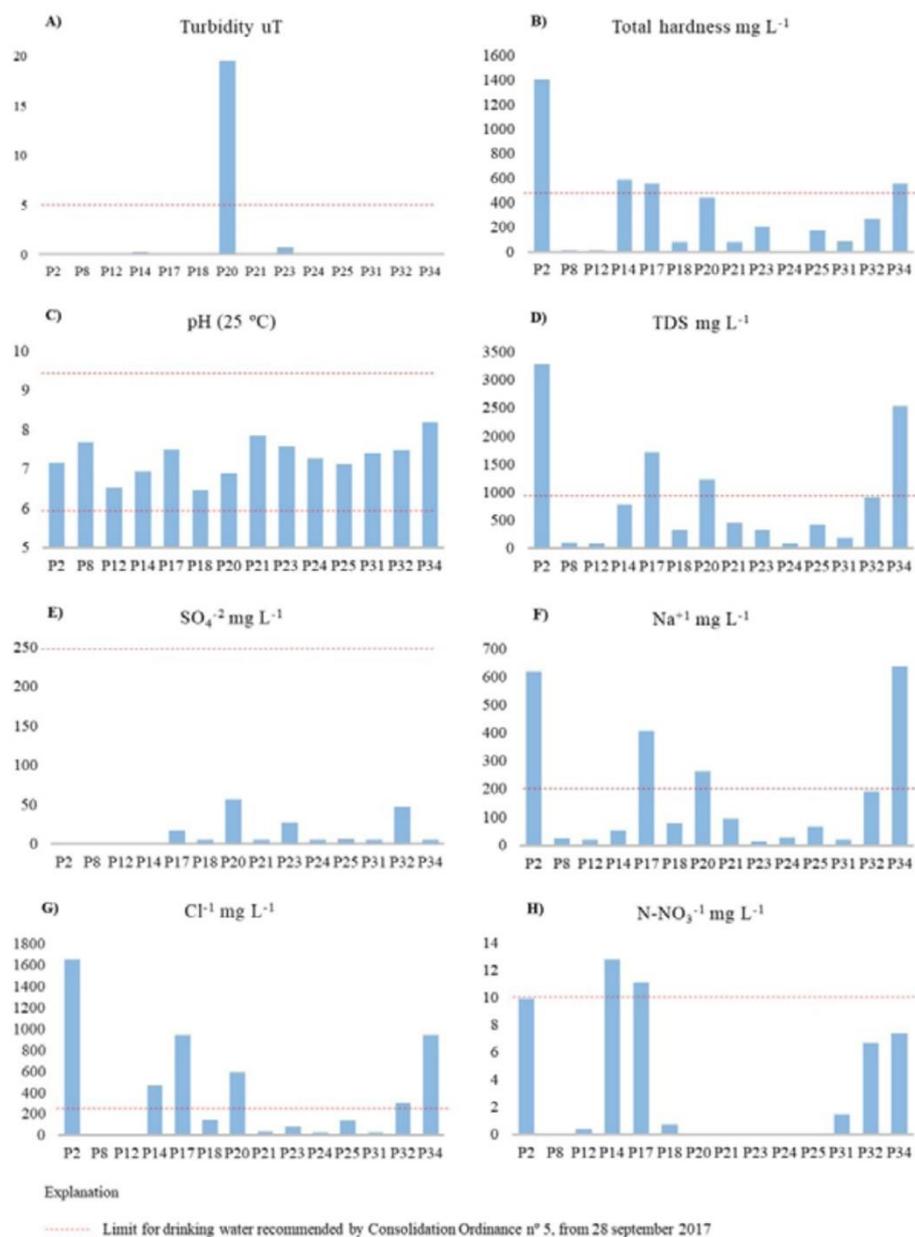


Figure 2 Concentration of analyzed parameters for Russas groundwater: A. turbidity – 5uT; B. Total hardness – 500 mg L⁻¹; C. pH – 6 a 9.5; D. TDS – 1000 mg L⁻¹; E. Sulfate – 250 mg L⁻¹; F. Sodium – 200 mg L⁻¹; G. Chloride – 250 mg L⁻¹; H. Nitrogen nitrate – 10 mg L⁻¹.

Resolution 357/2005 (Brasil 2005). Freshwater may be related to the fact that the wells are shallow, and, therefore, capture water from the alluvium (P12, P23, P25, P31) or have passed through a desalter (P8, P12, P18, P24). P21 is a deep well whose water does not pass through a desalter, where it was found that the TDS content is relatively high. Samples P14, P20, and P32 are brackish water, while P2, P17, and P34 are saltwater.

The entry of solids into the water can occur naturally (erosive processes, organisms, and organic debris) or anthropogenic (dumping of waste and sewage). In natural waters, dissolved solids are composed mainly of carbonates, bicarbonates, chloride, sulfates, phosphates, calcium, magnesium, and potassium nitrates (Gasparotto 2011).

3.2.3. Sulfates

The sulfate levels of the collected waters are within the potability standard (250 mg L⁻¹) established by PC nº 05/2017 and can be consumed. The values of the ten samples identified ranged from 5.00 to 56.40 mg L⁻¹. Mineral dissolution and air deposition are two sources of sulphate in groundwater. Gypsum is an important contributor to the high sulfate levels in many of the world's aquifers and they can have anthropic origins such as mining, fertilizers, among others (Sharma 2020). Rocks containing gypsum or other sulfated minerals are uncommon in the research area, owing to the low concentration of sulfur.

3.2.4. Sodium

The sodium content shows that 28.6% of the analyzed groundwater samples are outside the permitted limit (200 mg L⁻¹) by the legislation, it was observed that the water sample P34 had the highest result (637.30 mg L⁻¹), while the water sample P23 had the lowest result (14.60 mg L⁻¹). The high sodium content of the water suggests that it originated through the dissolution of silicate minerals such potassium feldspar, which are found in the crystalline rocks which constitute the Jaguaretama Complex in the municipality (RIGeo 2017; Mostafa et al. 2017).

Although it is a crucial element essential to human health when ingested at elevated levels and for prolonged periods it can develop health problems. Besides, concentrations greater than 200 mg L⁻¹ affect the taste, making it unpleasant to consume. It is not possible to draw explicit conclusions about the possible association between sodium in drinking water and the occurrence of hypertension (WHO 2017).

3.2.5. Chloride

The chloride in the area appears in 43% of the samples with levels above the MPV (250 mg L⁻¹) in the ordinance for human consumption. The spatial distribution of the samples reveals that the chloride content gradually decreases from west to east (Figure 3).

The presence of chlorides from rocks, evaporation, intrusion of seawater, connate and juvenile water, or pollution by industrial waste or residential sewage all contribute to the concentration of chloride (Cl⁻) in groundwater (Saha, Reza, & Roy 2019). As its municipality is situated far from shore, none interaction between seawater and groundwater occurs. In Tabuleiro de Russas, in the westernmost portion of the research region, perhaps there is a link among chloride contamination and intensive agricultural activities in addition to the rocks. The P2 illustrates the situation as it is close to the cultivation areas, and the water sample showed the highest result (1652.50 mg L⁻¹). The anthropogenic source of chlorides in groundwater is fertilizers made with potassium or mining salts. Potassium chloride is the salt most used in potassium fertilizers, and potassium is one of three essential nutrients, along with nitrogen and phosphorus that are added to increase soil fertility in farms, home gardens, and lawns (Hunt 2012).

The urban perimeter of Russas presents potential sources of contamination, such as domestic effluents, gas stations, the Caiçaras lagoon that receives effluents from septic tanks, and the cemetery that may explain the presence of chlorine in the samples. P14, P17, P32, and P34 are in the urban area and their water samples showed values, respectively (467.70 mg L⁻¹, 946.40 mg L⁻¹, 305.50 mg L⁻¹, and 946.40 mg L⁻¹).

High concentrations of chlorides can restrict the use of water due to the taste they transmit and the laxative effect they can cause (Valente 2013).

3.2.6. Nitrate

Regarding nitrate, 14% of the samples are above the limit allowed by legislation (10 mg L⁻¹ N-NO₃), the highest value is present in sample P14 (12.80 mg L⁻¹). Nitrate is commonly detected in various surfaces and groundwater, such as shallow and rural domestic wells. Considering the geology of the area present in the study area, the nitrate concentration values, its origin will be of an anthropogenic and non-geogenic character. Contamination of water systems is a consequence of the use of inorganic fertilizers, animal manure, septic systems and landfill leachate, wastewater

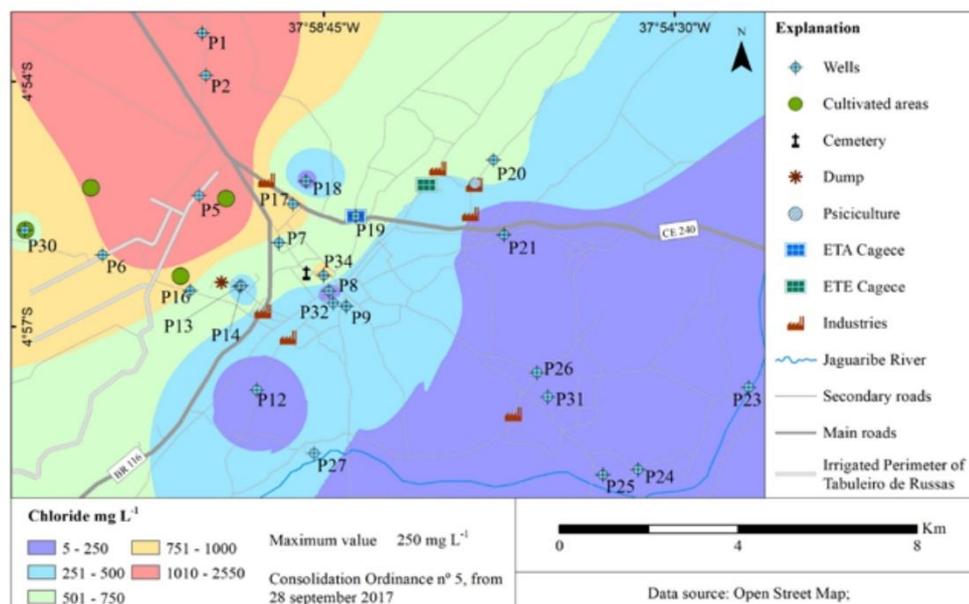


Figure 3 Map of the spatial distribution of chloride in the area.

treatment, overflow of storm sewage, and contributions of human waste should also be considered. Nitrate and inorganic nitrite in soil and water can be absorbed by plants used for human consumption (ATSDR 2017).

The nitrate in the samples shows a more punctual pattern on the map, which most likely indicates the impact of human activities (Figure 4). The basic sanitation service in the Alto do São João neighborhood (P14) is substandard, with domestic sewage being handled improperly of. In addition, the city dump is barely over 400 meters from the settlement and can contaminate local groundwater with pathogenic microorganisms and inorganic compounds like nitrate via infiltration of black pits, waste leachate, and animal excrement. The well at point seventeen serves as a source of water for the structure as well as a place to wash corpses.

Nitrate converts to nitrite in the human body, which can react with hemoglobin, preventing it from transporting oxygen to the body's cells. Oxygen deficiency leads to permanent neurological damage, difficulty in breathing (methemoglobinemia or "blue baby syndrome"), and, in more severe cases, death from asphyxiation.

Besides, nitrite is a smooth muscle relaxant that can cause hypotension, rapid pulse, and rapid breathing at sufficiently high concentrations. Recent studies allow associations between nitrate in drinking water and/or in food sources and the development of thyroid and type 1 diabetes (ATSDR 2017).

3.2.7. Bicarbonate, Potassium, Calcium, and Magnesium

The bicarbonate, potassium, calcium, and magnesium ions do not have an MPV established by law. The bicarbonate values of the samples analyzed vary between 34.10 and 542.80 mg L⁻¹; potassium ranged from 0.50 to 24.10 mg L⁻¹; calcium ranged from 0.80 to 232.60 mg L⁻¹ and magnesium from 4.7 to 75 mg L⁻¹, both in the northern portion of the area.

According to Stein (2012), bicarbonate in groundwater has a moderate concentration due to the balancing effect of the carbonate ion, which can reach high concentrations in the presence of excessive levels of carbon dioxide dissolved in the water when calcium and magnesium levels are low. This proportion is followed by

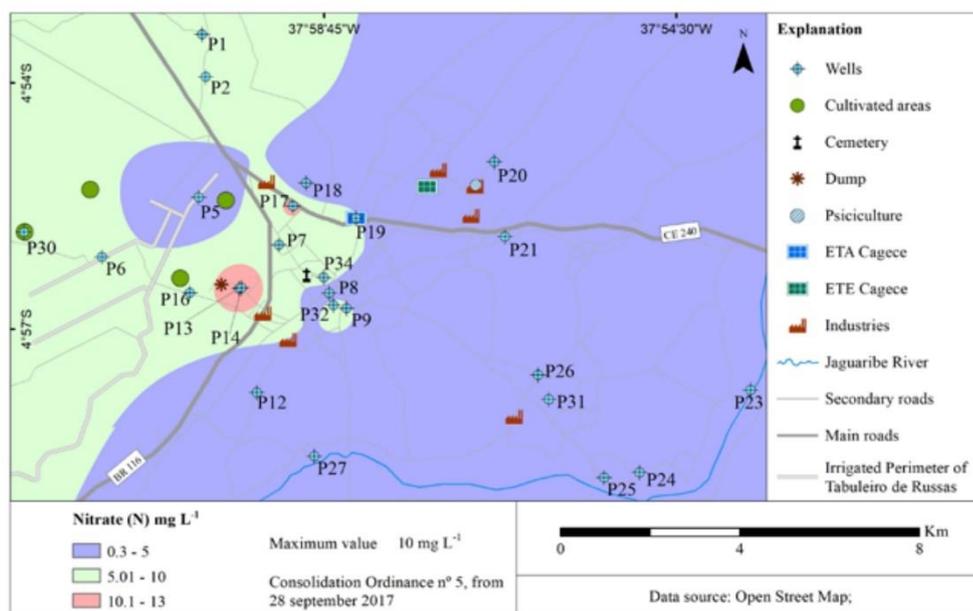


Figure 4 Map of the spatial distribution of nitrate in the area.

86 percent of the samples examined. Potassium is naturally present in clay minerals in greater proportions than in igneous rocks, as evidenced by water well fourteen, whose lithological profile shows capture in the crystalline aquifer and presented 2.0 mg L⁻¹ of potassium, compared to point 32, which captures water from clayey material and presented 7.30 mg L⁻¹ of potassium. Fertilizers and the decomposition of animal products or waste can be used to add potassium to groundwater (Saha, Reza, & Roy 2019).

The increased calcium concentration in groundwaters could be attributed to the dissolution of plagioclase feldspars. (Ganyaglo et al. 2010). Furthermore, it can be found in agricultural fertilizers like lime (Saha, Reza, & Roy 2019). Migmatites and granites with uncommon calcissilicates comprise the majority of crystalline rocks in the municipality (RIGeo 2006; RIGeo 2000). As a result, well water with high calcium content is most likely anthropogenic. Magnesium is formed when metamorphic rocks and minerals including dolomite, olivine, pyroxene, amphibole, and biotite decompose (Saha, Reza, & Roy 2019). The magnesium contents in the samples are rather low, showing that rock water and other minerals interact.

4 Conclusions

According to the survey, nearly half of the samples (43 percent) do not match the criteria set by the current ordinance for water intended for human consumption due to the chemical quality of the water, whether it was treated or not. Although physical-chemical analyses are required to characterize the waters, it is important to note that assessing the effects of contamination on human health necessitates ongoing research involving a greater number of water, soil, and sediment measurements, as well as information regarding the city's environmental and health conditions, in order to have a deeper understanding of the findings, which was not feasible in this study. The absence of lithological profiles of registered wells and depth, limited management, supply, and quality of water in that municipality, flow groundwater map, control of land use and coverage through restriction and inspection of human activities, and provision of health data by location were all identified as gaps in this study. As a result, the lack of a definitive conclusion on the relationship between water quality and human health impacts necessitates more research, mostly including collaboration between geologists and health specialists.

5 Acknowledgements

The authors would like to thank the NUTEC for conducting the analyzes, the Department of Geology/CC/UFC, the Laboratory of Geoprocessing in Ceará (GEOCE), and the Graduate Program in Geology at the Federal University of Ceará for the structure made available to conduct this work, in addition to the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) [National Council for Scientific and Technological Development] and the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES) [Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel].

6 References

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2017, *Toxicological profile for Nitrate and Nitrite*, ATSDR, Atlanta, GA, viewed 20 January 2021, <<https://www.atsdr.cdc.gov/>>.
- APHA, AWWA, WEF, 2012, *Standard Methods for examination of water and wastewater*, 22nd edn, American Public Health Association, Washington DC. <https://www.standardmethods.org/>
- Borges, A.S. 2021, 'Abordagem sociohidrogeológica para avaliação dos usos das águas subterrâneas em comunidades rurais', Master Thesis, Universidade Estadual Paulista. <http://hdl.handle.net/11449/204723>
- Brasil 2005, 'Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 de 17 de março de 2005', *Resoluções do CONAMA: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012*, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, pp. 58–63. <http://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>
- Bunnell J.E. 2004, 'Medical Geology: Emerging discipline on the ecosystem-human health inter-face', *EcoHealth*, vol. 1, no. 1, pp. 15–8. <http://dx.doi.org/10.1007/s10393-004-0068-8>
- Centeno, J.A., Mullick, F.G., Ishak, K.G., Franks, T.J., Burke, A.P., Koss, M.N., Perl, D.P., Tchounwou, P.B. & Pestaner, J.P. 2013, 'Environmental Pathology' in O. Selinus (ed.), *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*, Springer Science, Dordrecht, pp. 569–96. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_25
- Ganyaglo, S.Y., Banoeng-Yakubo, B., Osae, S., Dampare, S.B., Fianko, J.R., & Bhuiyan, M.A. 2010, 'Hydrochemical and isotopic characterisation of groundwaters in the eastern region of Ghana', *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 2, no. 3, pp. 199–208. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2010.23022>
- Gasparotto, F.A. 2011, 'Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP', Master Thesis, Universidade de São Paulo. <http://dx.doi.org/10.11606/D.64.2011.tde-06072011-104010>
- Gastmans, D., Chang, H.K., & Hutcheon, I. 2010, 'Groundwater geochemical evolution in the northern portion of the Guarani aquifer system (Brazil) and its relationship to diagenetic features', *Applied Geochemistry*, vol. 25, no. 1, pp. 16–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.09.024>
- Gomes, D.F., Moura, I.M.M., Frischkorn, H., Santos, D.M. & Freire, G.S.S. 2010, 'Estudo hidroquímico e isotópico (18O) do aquífero aluvial do Rio Banabuiú-trecho Morada Nova-Ceará', *Revista de Geologia*, vol. 23, no. 1, pp. 32–48. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/14886>
- Gomes, M.A., Ramos, E.V.S., Santos, L.C., Bitu, S.G. & Gadelha, A.J.F. 2018, 'Avaliação Hidroquímica e de Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade das Águas Subterrâneas da Zona Urbana do Município de Sousa-PB', *Águas Subterrâneas*, vol. 32, no. 2, pp. 162–72. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29115>
- Gonzalez-Erico, E., Kamprath E.J., Naderman, G.C. & Soares, W.V. 1979, 'Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil', *Soil Science Society of America Journal*, vol. 43, no. 6, pp. 1155–8. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300060019x>
- Hasan S.E. 2019, 'Emerging Trends in Global Health Security and Medical Geology, Short Course in Medical Geology', *8th International Meeting of the International Medical Geology Association*, Guiyang, China, viewed 25 January 2021, <<http://www.medgeo2019.com/>>.
- Hasan, S.E. 2021, 'Medical geology', *Encyclopedia of Geology*, pp. 684–702. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12523-0>
- Hunt, M.B.S., Herron, E.M.A. & Green, L.M.S. 2012, 'Chlorides in fresh water', *The University of Rhode Island, college of the Environment and Life Sciences*, USA, URIWW, vol. 4, pp. 02881–0804, viewed 20 January 2021, <<https://web.uri.edu/watershedwatch/resources/water-quality-fact-sheets/>>.
- IBGE – see Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019, *Quadro geográfico de referência para produção, análise e disseminação de estatísticas*, IBGE, Rio de Janeiro. <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101652.pdf>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2020, *Panorama de Russas*, IBGE, Rio de Janeiro, viewed 20 July 2021, <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/russas/panorama>>.
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará 2017, *Perfil básico municipal de Russas*, IPECE, viewed 24 October 2019 <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Russas_2017.pdf>.
- IPECE – see Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.
- Ministério da Saúde 2017, *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*, Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Anexo XX, viewed 25 January 2021. <<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>.
- Mostafa, M.G., Uddin, S.H., & Haque, A.B.M.H. 2017, 'Assessment of hydro-geochemistry and groundwater quality of Rajshahi City in Bangladesh', *Applied Water Science*,

- vol. 7, no 8, pp. 4663-71. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-017-0629-y>
- Nobre, M. E.S., Gomes, D. F., Vasconcelos, S. M. S., Frischkorn, H., Lima Neto, I. O., Ferreira, S. K. & Souza, D. P. 2018, 'Estudo hidroquímico-ambiental do aquífero aluvionar do baixo Jaguaribe, Itaíçaba-Ceará', *Revista do Instituto Geológico*, vol. 39, no. 3, pp. 77-92. <http://dx.doi.org/10.33958/revig.v39i3.601>
- Oliveira, J.E. 2006, 'Implicações de Radioelementos no Meio Ambiente, Agricultura e Saúde Pública em Lagoa Real, Bahia, Brasil' in C.R. Silva, B.R. Figueiredo, E.M. de Capitani & F.G. Cunha (eds), *Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente*, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, FAPERJ, Rio de Janeiro, pp. 148-56. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1211>
- Pearson, R.W., Abruna, F. & Vicente-Chandler, J. 1962, 'Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico', *Soil Science*, vol. 93, no. 2, pp. 77-82. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196202000-00001>
- Repositório Institucional de Geociências 1988, *Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará: diagnóstico do município de Russas*, RIGeo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza, viewed 20 July 2021, <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16676>>.
- Repositório Institucional de Geociências 2000, *Jaguaribe SE. Folha SB.24-Z*, RIGeo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, viewed 20 July 2021, <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/5359>>.
- Repositório Institucional de Geociências 2006, *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte*, RIGeo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Recife, viewed 20 July 2021, <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10234>>.
- Repositório Institucional de Geociências 2007, *Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil*, RIGeo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, viewed 20 July 2021, <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10323>>.
- Repositório Institucional de Geociências 2017, *Geologia e recursos minerais da folha Bonhu: SB.24-X-A-V*, RIGeo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza, viewed 20 July 2021, <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19023>>.
- RIGeo – see Repositório Institucional de Geociências.
- Saha, S., Reza, A.S., & Roy, M.K. 2019, 'Hydrochemical evaluation of groundwater quality of the Tista floodplain', Rangpur, Bangladesh', *Applied Water Science*, vol. 9, no 8, pp. 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-019-1085-7>
- Sharma, M.K. & Kumar, M. 2020, 'Sulphate contamination in groundwater and its remediation: an overview', *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 74, pp. 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-8051-6>
- Silva, C.R., Figueiredo, B.R. & De Capitani, E.M. 2006, 'Geologia Médica no Brasil' in C.R. Silva, B.R. Figueiredo, E.M. de Capitani & F.G. Cunha (eds), *Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente*, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, FAPERJ, Rio de Janeiro, pp. 6-14. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1211>
- Stein, P., Diniz Filho, J.B., Lucena, L.R.F., Cabral, N.M.T. 2012, 'Qualidade das águas do aquífero Barreiras no setor sul de Natal e norte de Pamamirim, Rio Grande do Norte, Brasil', *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 42, no. 1, pp. 226-37. <http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000500018>
- Valente, M.D.S. 2013, *Practical manual on water analysis*, 4th edn, Fundação Nacional de Saúde, Brasília.
- World Health Organization 2017, 'Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum', WHO, Switzerland. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/254637>
- WHO – see World Health Organization.

Received: 16 April 2021

Accepted: 23 July 2021

How to cite:

Sousa, J.S.F.O., Gadelha, A.A.M., Mendes, L.S.A.S., Silva Neto, C.A., Salgueiro, A.R. & Cavalcante, I.N., 2021, 'Anthropic influences on the quality of underground waters for human consumption in Russas, Ceará, northeastern Brazil', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 43166. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_43166