



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA

AMANDA ARAGÃO MORAES GADELHA

JOYCE SHANTALA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL DO PERÍMETRO URBANO
DE RUSSAS: ESTUDO INVESTIGATIVO DO PONTO DE VISTA DA GEOLOGIA
MÉDICA**

FORTALEZA

2019

AMANDA ARAGÃO MORAES GADELHA
JOYCE SHANTALA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL DO PERÍMETRO URBANO DE
RUSSAS: ESTUDO INVESTIGATIVO DO PONTO DE VISTA DA GEOLOGIA MÉDICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Geologia.

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

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Biblioteca Central do Campus do Pici Prof. Francisco José de Abreu Matos

- G12c Gadelha, Amanda Aragão Moraes.
Caracterização geoquímica e ambiental do perímetro urbano de Russas: estudo investigativo do ponto de vista da geologia médica / Amanda Aragão Moraes Gadelha, Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa. – 2019
82 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro.
1. Russas. 2. Qualidade da água. 3. Saúde. I. Sousa, Joyce Shantala Fernandes de Oliveira.
II. Título.

AMANDA ARAGÃO MORAES GADELHA
JOYCE SHANTALA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL DO PERÍMETRO URBANO DE
RUSSAS: ESTUDO INVESTIGATIVO DO PONTO DE VISTA DA GEOLOGIA MÉDICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Geologia.

Aprovada em: 05/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

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

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

MSc.^a Karen Vendramini de Araújo
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades.

A toda a comunidade acadêmica da Universidade Federal do Ceará, a todos os professores da graduação de Geologia, pela contribuição na nossa formação.

A nossa orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Rita Salgueiro, pela sabedoria, paciência e companheirismo com que nos guiou nesta jornada. Ao professor Itabaraci Cavalcante, por todas as contribuições ao trabalho.

Ao nosso colega Cláudio Ângelo do laboratório de Geoprocessamento pelos ensinamentos.

A nossa colega Luzia Suerlange pela colaboração na pesquisa.

Aos nossos pais e familiares, por todo o incentivo e confiança depositado, sem o alicerce deles seria mais difícil vencer esse desafio.

Aos nossos amigos, que sempre nos apoiaram e incentivaram e a todos os que por algum motivo, fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

A água é uma fonte fundamental para o desenvolvimento econômico e principalmente para a existência da vida, contudo, a ocupação desordenada junto ao aumento populacional e serviços de esgotamento sanitário precário têm sido alguns dos problemas enfrentados em áreas urbanizadas por contribuir no aumento da vulnerabilidade dos mananciais hídricos devido a contaminação, de modo a inviabilizar seu uso. Em cidades no interior do Ceará, por exemplo, as águas subterrâneas são fontes preciosas de abastecimento hídrico, principalmente, as provindas de aluviões devido à boa qualidade de suas águas. Porém, devido a sua textura arenosa que favorece a infiltração e a percolação de fluidos, esse domínio hidrogeológico pode ser contaminado caso haja fontes poluentes presentes. O conhecimento desses problemas por parte da população ainda é efêmero, e por vezes leva ao consumo de água contaminada conduzindo o aparecimento de algumas doenças. Neste contexto, o trabalho realizou uma pesquisa voltada a Geologia Médica no município de Russas, que com o decorrer dos anos teve crescimento demográfico considerável, bem como aumento no índice de uso e cobertura do solo, gerando possíveis impactos negativos sobre a região do aquífero, a fim de estudar a qualidade de água subterrâneas, as possíveis fontes poluentes na zona urbana, e avaliar os possíveis riscos para saúde humana. Com base no que foi observado em campo foi definido os pontos os quais passaram por coleta de água. Ao todo 43 pontos foram levantados dentre os quais incluem tanto as situações dos poços e as possíveis fontes poluidoras. As amostras foram coletadas em 18 pontos do total mencionado de maneira bem distribuída dentro da área, sendo realizadas em poços tubulares, cacimbas e poços à trado manual. A classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química em sua maioria são Sódicas Cloretadas, e para águas destinadas ao consumo humano são de boa potabilidade para os parâmetros inorgânicos, além disso, o risco de salinidade elevado nas águas exige cuidados ao solo para cultivo na região. Dois pontos tiveram destaque com relação a potabilidade da água no que diz respeito ao cloreto e nitrato em que foram enquadradas como medíocres, e podem ser potenciais contaminantes antrópicos próximos a essas águas e, conseqüentemente, condicionar problemas comuns a saúde humana, tais como diarreia e hipertensão. Sendo assim, é de suma importância a continuidade em pesquisas voltadas a área de Geologia Médica para obtenção de melhores resultados.

Palavras-chave: Russas. Qualidade da água. Saúde.

ABSTRACT

Water is a key source for economic development and especially for life. However, disorderly occupation due population growth and precarious sewage services has been some of the problems faced in urbanized areas for contribute in the increase vulnerability of water sources due to contamination, to make their use unfeasible. In cities in the interior of Ceará, for example, groundwater is a precious source of water supply, mainly from alluvium due to the good quality of its water. However, due to its sandy texture, that favors fluid infiltration and percolation, this hydrogeological domain can be contaminated if pollutant sources are present. Knowledge of these problems for part of the population is still ephemeral, and sometimes leads to the consumption of contaminated water, causing the occurrence of some diseases. In this context, the work carried out in this research focused on Medical Geology in the municipality of Russas, which over the years had considerable population growth as well as increased anthropogenic land use and occupation, generating possible negative effects on groundwater, an aim to study its quality as well as possible pollutant sources in the urban area and assess possible risks to human health. The points of water collection were defined based on what was observed in the field. A total of 43 points were flagged among which include both well and possible polluting sources. The samples were collected in 18 points of the total mentioned well distributed within the area, in tubular wells, dug wells and manual wells. The classification of groundwater according to chemical composition is mostly Sodium Chloride, and for drinking water good potability for inorganic parameters, in addition, the risk of high salinity in the water requires soil care for cultivation in the region. Two points were highlighted regarding water potability about chloride and nitrate in which they were classified as mediocre and may be related to potential anthropogenic contaminants near these waters, consequently, may condition common health problems as like diarrhea and hypertension. Therefore, it is extremely important to continue research in Medical Geology's field in order to obtain better results.

Keywords: Russas. Water Quality. Health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Lotes de plantação situados ao norte do Tabuleiro de Russas (Coord. UTM-24S: 608609 E / 9454596 N)	26
Figura 2	– Mapas de câncer de estômago e mama mais frequentes no CE, em 2015	28
Figura 3	– Representação espacial da média de mortalidade segundo a categoria CID-10	30
Figura 4	– Mapa Geológico do município de Russas	32
Figura 5	– Hidroquímica dos mananciais subterrâneos do município de Russas	36
Figura 6	– Localização da área estudada no município de Russas (CE)	37
Figura 7	– Bandas propostas do sensor Sentinel-2, em comparação com os sensores operacionais da Landsat 8, Landsat 7, ASTER e MODIS. A transmitância atmosférica é plotada no eixo Y	40
Figura 8	– Obras de abastecimento: (A) poço tubular e (B) cacimba localizados no centro da cidade de Russas; (C) chafariz na localidade de Ingá	41
Figura 9	– Equipamentos utilizados em campo: (A) pHmetro; (B) medidor de pH/condutividade	43
Figura 10	– Etapa obtenção e informações em campo (A) e coleta de água (B)	43
Figura 11	– Amostras em processo de análise no LQA	44
Figura 12	– Produtos com composição colorida RGB em cima do recorte da área para agricultura (A), área urbana (B), vegetação (C)	45
Figura 13	– Poço de um antigo alojamento em situação de abandono em Sítio Córrego dos Estácio (Ponto 28, Coord. UTM-24S: 616980 E/ 9456537 N)	47
Figura 14	– Poço em situação de abandono próximo ao Perímetro Irrigado (Ponto 29, Coord. UTM-24S: 607558 E / 9449000 N)	47
Figura 15	– (A) e (B) ilustram o Canal do DNOCS que vem do Castanhão para irrigação de cultivos, abastecimento doméstico e plantio de capim e pastagem	48

Figura 16	– Poços comunitários (A) comunidade Alto do São João (Ponto 14, Coord. UTM-24S: 611290 E / 9453689 N); (B) próximo a localidade de Vila Ramalho (Ponto 21, Coord. UTM-24S: 613897 E / 9455275 N)	49
Figura 17	– Mapa de uso e cobertura do solo do município de Russas	50
Figura 18	– Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo	52
Figura 19	– Mapa de uso e cobertura do solo após a reclassificação	53
Figura 20	– Indústrias de cerâmicas indicada pelas setas (Ponto 22, Coord. UTM-24S: 615737 E / 9456349 N)	54
Figura 21	– Diagrama de Piper de classificação das águas nos pontos estudados	55
Figura 22	– Diagrama de Schoeller e Berkaloff para águas destinadas ao consumo humano	57
Figura 23	– Classificação das Águas para Irrigação	60
Figura 24	– Poço comunitário em Alto do São João (Ponto 14, Coord. UTM-24S: 611290 E / 9453689 N)	64
Figura 25	– Esgoto a céu aberto das residências na localidade de Alto do São João	65
Figura 26	– Lixão da cidade com presença dos animais no fundo (Ponto 15, Coord. UTM-24S: 610894 E / 9453776 N)	65
Figura 27	– Mapa da distribuição espacial de nitrato nos poços visitados	66
Figura 28	– Cacimba antiga no centro da cidade (A) abastecendo caminhões pipa (B) (Ponto 32, Coord. UTM-24S: 613389 E / 9453315 N)	67
Figura 29	– Mapa da distribuição espacial de cloreto nos poços visitados	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Produção de cultivos em tonelada para os anos de 2010 a 2016	26
Gráfico 2	– Balanço hídrico de Russas para o ano de 2018	31
Gráfico 3	– Situação dos poços visitados em campo	46
Gráfico 4	– Quantificação percentual das áreas por classes de uso da terra em Russas	51
Gráfico 5	– Classificação em relação aso Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	62
Gráfico 6	– Condutividade elétrica para as águas da área estudada	62
Gráfico 7	– Potenciais fontes poluentes observadas em campo	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Número de empregos formais durante os anos de 2010 a 2016	25
Tabela 2	– Óbitos por residência por município segundo Categoria CID-10	29
Tabela 3	– Vértices da poligonal que foi mapeada, de acordo com o Sistema de Coordenadas UTM, Zona 24S, e tomando como base de referência geodésica do Datum WGS84	37
Tabela 4	– Modelo de ficha de campo	42
Tabela 5	– Parâmetros físico-químicos cadastrados no SIAGAS para o município de Russas	56
Tabela 6	– Parâmetros físico-químicos dos poços utilizados para consumo humano	58
Tabela 7	– Parâmetros analisados para Irrigação	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGECE	Companhia de Água do Estado do Ceará
CID	Classificação Internacional de Doenças
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SUS	Sistema Único de Saúde
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviços Geológicos dos Estados Unidos da América)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação	15
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	17
2	ENQUADRAMENTO TEÓRICO	18
2.1	Qualidade das águas subterrâneas	18
2.2	Principais parâmetros físicos no contexto da qualidade da água	19
2.2.1	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	19
2.2.2	<i>Temperatura</i>	19
2.2.3	<i>Sólidos totais dissolvidos</i>	20
2.2.4	<i>Condutividade elétrica</i>	20
2.3	Análise do uso e cobertura do Solo	21
2.4	Geologia Médica	22
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.1	Situação econômica em Russas	25
3.2	Situação de saúde em Russas	27
3.3	Aspectos fisiográficos	31
3.4	Contexto geológico	32
3.4.1	<i>Embasamento cristalino</i>	32
3.4.2	<i>Depósitos Cenozoicos</i>	33
3.5	Recursos hídricos	35
3.6	Localização e acesso da área de pesquisa	36
4	METODOLOGIA	38
4.1	Atividade de escritório	38
4.1.1	<i>Levantamento bibliográfico</i>	38
4.1.2	<i>Aquisição de dados</i>	38
4.1.3	<i>Mapa pré-campo</i>	40
4.2	Atividade de campo	40
4.2.1	<i>Etapa de reconhecimento</i>	41
4.2.2	<i>Etapa de coleta</i>	41
4.3	Etapa pós campo	43

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Situação dos poços em Russas	46
5.2	Análise do uso e cobertura do solo	49
5.3	Parâmetros físico-químicos	54
5.4	Possíveis fonte poluentes	63
5.5	Efeito das águas sob a saúde da população	69
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
7	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE A – MAPA PRÉ-CAMPO	79
	APÊNDICE B – TABELA DE PONTOS LEVANTADOS EM CAMPO	80
	APÊNDICE C – RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS ANALISADOS	81
	APÊNDICE D – MAPA DE PONTOS LEVANTADOS EM CAMPO	82

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado tem por finalidade sintetizar os dados obtidos na realização de coleta de água e mapeamento de fontes poluentes, em escala de 1:100.000, realizado em uma área de aproximadamente 194 km². Este trabalho em questão traduz toda uma sequência de estudos e pesquisas realizadas previamente de Geologia Médica na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe.

1.1 Apresentação

Desde tempos remotos, a água tem sido um recurso determinante na concentração e crescimento populacional, bem como o desenvolvimento econômico. A água é um recurso natural e renovável importantíssimo para os seres vivos, sugerindo que ela é uma fonte inesgotável, no entanto a má gestão dos recursos hídricos, conflitos pela água a nível internacional e o aumento da demanda pelo recurso, propiciou pensamentos mais críticos desse conceito, visando direcionar investimentos e melhorar o aproveitamento dos recursos.

O Nordeste brasileiro é reconhecido como uma das regiões mais áridas do país, e é no interior dos estados que o compõem que ocorrem as maiores necessidades hídricas. Segundo Quesado (2008) “estima-se que mais de 1,5 milhão de pessoas em núcleos urbanos e uma grande parcela da população rural tenham suas necessidades supridas pelo manancial subterrâneo”. No Ceará, especificamente, no interior do Estado, as águas subterrâneas são consideradas fontes preciosas de abastecimento hídrico, principalmente, as provindas de aluviões que, por estarem inseridas dentro de um contexto geológico basicamente cristalino, as áreas sedimentares e aluvionares localizadas ao longo de rios e/ou nos limites litorâneos do Estado são as principais fontes de exploração hídrica devido à boa qualidade de suas águas e constituem as unidades mais importantes em termos hidrogeológicos, sendo que poços localizados em áreas cristalinas, geralmente, captam águas salobras (GOMES, 2005).

Dentro dessas condições, recorrentemente os pequenos mananciais superficiais geralmente secam e os grandes chegam a atingir níveis críticos, provocando muitas vezes colapso no abastecimento de água. Nesse contexto, torna-se importante a captação de águas subterrâneas por meio de poços possibilitando o aumento na oferta de água e minimizando a dificuldade que a população vem enfrentando com a seca. Essa medida é materializada hoje por mais de 300 mil poços cadastrados de acordo com o banco de dados do SIAGAS até o atual ano

dessa pesquisa (2019), no entanto ainda existem poços desativados ou abandonados por motivos diversos, e que poderiam voltar a funcionar, na medida em que sofressem pequenas ações corretivas (CPRM, 1998).

O crescimento populacional associado à falta de saneamento básico tem contribuído para degradação dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos. A água subterrânea é utilizada indevidamente, tanto em virtude de poços mal construídos, alguns até localizados perto de fossas, como também pela ausência de uma análise abalizada e de um tratamento adequado (INESP, 2008).

Algumas cidades dispõem de água bruta de baixa qualidade que, devido a um tratamento inadequado, não é considerada apropriada para o consumo pela população. Diante disso, há um aumento no consumo de água envasada, cuja qualidade em alguns casos nem sempre é garantida diante das dificuldades do controle pelos órgãos fiscalizadores. Em outras situações, embora exista tratamento da água por parte dos sistemas maiores, os hábitos da população e suas condições educacionais e culturais, provocam a contaminação da água por acondicionamento e manuseio inadequados (INESP, 2008).

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, hepáticos são enfermidades com pesquisas relacionadas a poluentes na água (CENTENO *et al.*, 2013). A falta de manutenção e monitoramento da água fornecida para a população afeta diretamente na saúde, e a precariedade de infraestruturas colabora para que muitas pessoas consumam água mesmo sem passar por nenhum tipo de tratamento.

A necessidade de uma avaliação ambiental e da saúde pública vem sendo abordado dentro da área da Geologia Médica. Essa ciência está tomando destaque ao longo dos anos de modo a entender cada vez mais as interações do meio geológico e as atividades antrópicas para com a saúde dos seres vivos. Embora os estudos aumentem, existem contratempos no que diz respeito à obtenção de informações que contemplem esse ramo, tais como a falta de dados disponíveis em anos anteriores ou mesmo a veracidade das informações (SILVA; FIGUEIREDO; CAPITANI, 2006).

1.2 Justificativa

A execução deste trabalho baseia-se nos resultados obtidos em dois trabalhos, os quais realizaram pesquisas investigativas na área de Geologia Médica no Estado do Ceará. Sousa *et al.* (2018), apresentou uma visão geral da distribuição dos cinco tipos de câncer mais frequentes (brônquios e pulmões, colo do útero, estômago, mama e próstata) no Estado, em que constatou, 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. Os municípios de Aracati, Russas e Limoeiro do Norte apresentam correlações positivas entre os dados geoquímicos de elementos em água, sedimento e solo com os valores de cânceres e doenças e as possíveis fontes poluentes (SOUSA *et al.*, 2019). Tais evidências constituíram a justificativa para o desenvolvimento deste projeto.

1.3 Objetivos

Neste contexto, o trabalho desenvolvido teve como objetivo caracterizar a geoquímica das águas subterrâneas do perímetro urbano do município de Russas ao longo dos anos para avaliar o risco ambiental para saúde humana no perímetro urbano do município de Russas e investigar as possíveis fontes de contribuições antropogênicas que porventura venham a contaminar o aquífero. O estudo se apresenta como ferramenta fundamental de apoio para futuras pesquisas e fornecer os dados obtidos para órgãos ambientais. Como objetivos secundários tem-se:

- a) Reunir dados de poços tubulares do município de Russas, levando em consideração a qualidade de água;
- b) Identificar e avaliar as principais fontes potenciais de contaminação na área;
- c) Coletar amostras de água dos poços tubulares pré-selecionados;
- d) Avaliar a qualidade de água para consumo humano e irrigação por meio de análises químicas de Cloreto, Cálcio, Ferro total, Nitratos, Nitritos, Amônia, Sulfatos, Sódio, Magnésio, Potássio, Bicarbonatos e análises físicas, pH a 25°C, sólidos totais dissolvidos e Condutividade a 25°C.
- e) Integrar os pontos de coleta em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para confecção de mapas.
- f) Indicar e discutir áreas com potencial risco de saúde pública;

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Qualidade das águas subterrâneas

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 (AYERS; WESTCOT, 1999; BARRETO *et al.*, 2004). A qualidade da água pode ser definida levando em consideração seus parâmetros físicos, químicos e biológicos (FEITOSA *et al.*, 1988).

Manter as características inerentes da água limitados por certos valores depende de critérios e padrões estabelecidos. No Brasil, o Ministério da Saúde (MS), através da sua Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, é a legislação vigente que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade e padrão de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

Um dos motivos pelos quais se estabelecem esses padrões diz respeito ao impacto negativo na qualidade das águas, principalmente os 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; TUNDISI, 2002). Essa situação pode contribuir para que as comunidades rurais e urbanas buscassem por fontes alternativas como as águas subterrâneas (CAPUCCI *et al.*, 2001).

A região do nordeste brasileiro, por exemplo, está exposta a escassez de água devido a baixas precipitações pluviométricas que ocorrem de forma irregular durante os anos e geralmente é de curta duração. Essa situação enquadra a região nordestina no chamado Polígono das Secas, em que é responsável por secas periódicas que podem surtir efeitos catastróficos. O Estado do Ceará está predominantemente nesse polígono. Portanto, a necessidade de gestão hídrica e política de decisões mais consistentes e contínuas torna-se essencial para lidar com essa realidade (CPRM, 2002).

No que diz respeito a qualidade de água subterrânea, a resolução do CONAMA nº 396/2008 estabelece uma classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências (BRASIL, 2008). Tais padrões foram determinados devido à contaminação de água cuja ocorrência pode ser de inúmeros fatores: as fontes potenciais de poluição provenientes de atividades humanas e a exploração intensiva ou

descontrolada de água (CEARÁ, 2018). Sabendo-se que a água subterrânea tem potencial de transmissão de doenças causadas por microrganismos patogênicos provenientes de fezes de humanos e animais, ou por meio de substâncias químicas em concentração fora dos padrões permitidos pela Portaria nº 2914/2011 MS, faz-se necessária a verificação e o acompanhamento de sua potabilidade (COSTA *et al.*, 2012).

2.2 Principais parâmetros físicos no contexto da qualidade da água

2.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial Hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio H^+ . O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, contribui para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e define o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais) (GASPAROTTO, 2011). O intervalo de pH para águas de abastecimento é estabelecido pela Portaria MS n.º 2914/2011 entre 6,5 e 9,5. Este parâmetro objetiva minimizar os problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição (BRASIL, 2014).

Na questão sanitária, somente águas extremamente ácidas ou básicas, poderiam causar algum tipo de irritação na pele e nos olhos (SPERLING, 2005). O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, e é uma das mais difíceis de se interpretar. Tal complexidade é resultante dos inúmeros fatores que podem influenciá-lo, podendo estar relacionado a fontes de poluição difusa ou pontual (ESTEVES, 1998; GASPAROTTO, 2011).

2.2.2 Temperatura

A temperatura é a medida da intensidade de calor expresso em uma determinada escala. Uma das escalas mais usadas é grau centígrado ou grau Celsius ($^{\circ}C$). A temperatura pode ser medida por diferentes dispositivos, como, por exemplo, termômetro ou sensor (FERREIRA PINTO, 2007).

Elevações da temperatura aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade de gases (ex.: oxigênio dissolvido) e também aumentam a taxa de transferência de gases (o que pode gerar mau cheiro, no caso da libertação de gases com odores desagradáveis) (SPERLING, 2005).

Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, vazão e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2009).

Em termos de corpos d'água, a temperatura pode ser analisada junto com outros parâmetros, tais como oxigênio dissolvido que, quando saturados em meio aquático são volatilizados para a atmosfera, e podem influenciar as reações desse meio.

2.2.3 Sólidos totais dissolvidos

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão) (CETESB, 2009). Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos). Nas águas naturais os sólidos dissolvidos estão constituídos principalmente por carbonatos, bicarbonatos, cloreto, sulfatos, fosfatos, nitratos de cálcio, magnésio e potássio (GASPAROTTO, 2011).

2.2.5 Condutividade elétrica

Condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração

total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon (FERREIRA PINTO, 2007). A condutividade elétrica pode ser expressa por diferentes unidades e, principalmente, por seus múltiplos. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), é reportada como Siemens por metro (S/m). Entretanto, em medições realizadas em amostras de água, utiliza-se preferencialmente microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm). Para reportar dados de condutividade elétrica em unidades S.I., segue-se a relação $1\mu\text{S}/\text{cm} = 10^{-3} \text{ mS}/\text{cm}$.

A condutividade depende expressivamente da temperatura. Devido a isso, os dados de condutividade elétrica devem ser acompanhados da temperatura na qual foi medida. Para propósitos comparativos de dados de condutividade elétrica, deve ser definida uma das temperaturas de referência (20 °C ou 25 °C) (FERREIRA PINTO, 2007).

Na legislação do Brasil não existe um limite superior deste parâmetro tido como aceitável. Porém, deve-se notar que oscilações na condutividade da água, ainda que não causem dano imediato ao ser humano, podem indicar tanto uma contaminação do meio aquático por efluentes industriais como o assoreamento acelerado de rios por destruição da mata ciliar (LÔNDERO; GARCIA, 2010).

2.3 Análise do uso e cobertura do solo

A ocupação humana nas bacias hidrográficas, de forma cada vez mais desordenada, por meio de atividades de desmatamentos, práticas agrícolas perniciosas, atividades extrativistas agressivas, ocupações urbanas generalizadas, lançamento de esgotos industriais e domésticos nos rios e lagos, tem promovido uma deterioração da qualidade das águas naturais, com riscos de propagação de doenças de veiculação hídrica ao próprio ser humano (BORGES, 2002).

Em contato direto com a realidade, a complexidade das questões ambientais dificulta a visualização e a interpretação das interações dos atores sociais com a natureza. Cada localidade tem suas peculiaridades. Reforça-se, então, a importância das representações cartográficas na visualização e interpretação dos aspectos necessários ao planejamento ambiental. As representações cartográficas mostram a realidade sintetizada de um modo visual (SEBUSIANI; BETTINE, 2011).

O mapeamento das informações é um recurso muito utilizado para tornar mais evidentes os padrões de uso e cobertura dos espaços. A visualização dos fatos no espaço, melhora a compreensão das interações existentes e aponta as ações necessárias. A interpretação torna-se melhor quando focado em um local pré-definido, sendo que as atividades podem variar de acordo com o contexto e objetivo da identificação. Para uma sub-bacia de captação espera-se que estejam sendo desenvolvidas, por exemplo, agricultura, pastagem, urbanização. A análise de alguns parâmetros aliadas com o uso e cobertura do solo podem apontar incompatibilidade de resultados.

Nos estudos de (MOURA; BOAVENTURA; PINELLI, 2010) os resultados demonstraram que toda alteração na ocupação de uma bacia é refletida na qualidade de água dos corpos hídricos que drenam a área. Os autores conseguiram associar as informações da análise físico-química de água com a ocupação do solo, visíveis nas pesquisas em campo e imagens de satélite.

Para a elaboração integrada de projetos e para a obtenção de dados mais precisos e de forma rápida, uma das soluções é o uso de sistemas computacionais capazes de organizar em bancos de dados às informações previamente georreferenciadas. Desse modo, o geoprocessamento torna-se um conjunto de ferramentas capaz de reunir a cartografia, o armazenamento de dados, permitindo que se faça o tratamento e a análise dessas informações, tudo isso de forma integrada, através de programas computacionais relacionados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (SEBUSIANI e BETTINE, 2011).

2.4 Geologia Médica

A área da Geologia Médica é um importante instrumento de avaliação ambiental e da saúde pública. Seu destaque ao longo dos anos vem sendo cada vez maior em função da necessidade de entender as interações do meio geológico e as atividades antrópicas para com a saúde dos seres vivos. Embora os estudos aumentem, existem contratempos no que diz respeito à obtenção de informações que contemplem esse ramo, tais como a falta de dados disponíveis em anos anteriores ou mesmo a veracidade das informações (SILVA; FIGUEIREDO; CAPITANI, 2006).

O planeta Terra é um sistema que abrange interações geológicas e biológicas, entre outras. Essa interação envolve os elementos químicos formadores das rochas e dos solos que eventualmente podem representar riscos à saúde dos homens, dos vegetais e dos animais.

Alguns elementos que ocorrem naturalmente na crosta terrestre são essenciais para manutenção da nossa saúde, porém outros são tóxicos em virtude da dosagem e tempo dentro do organismo humano (SELINUS *et al.*, 2005).

Os elementos que ocorrem naturalmente não são distribuídos igualmente na superfície terrestre e os problemas podem surgir quando as concentrações dos elementos são muito baixas (deficiência) ou muito elevadas (toxicidade). A incapacidade de o ambiente prover o balanço químico dos elementos pode levar a sérios problemas de saúde. As interações entre o ambiente e a saúde são particularmente importantes para a sobrevivência das populações que são altamente dependentes do ambiente local para suprir sua alimentação (SELINUS *et al.*, 2005).

Os seres vivos necessitam, para sua sobrevivência, de determinados elementos químicos, os quais são ingeridos, principalmente, pela água e pelos alimentos. Para os humanos, são essenciais os macronutrientes (Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S, O, H, S) e micronutrientes (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, F, I, Si). A carência e/ou o excesso desses elementos acarreta prejuízo à saúde. Os elementos Al, Cd, Hg, Tl, Pb, Sn, As, Sb e radioativos são considerados tóxicos. Os demais carecem de estudos mais aprofundados (SILVA; FIGUEIREDO; CAPITANI, 2006).

Exemplos de contaminação humana gerada por fatores ambientais são encontrados em vários países. No Brasil, podem ser destacadas as pesquisas desenvolvidas por: Carvalho *et al.*, (1984), em Santo Amaro da Purificação (Bahia), para os elementos chumbo e cádmio; Matschullat *et al.* (2000), no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais), para arsênio; Paoliello (2002), Cunha (2003) e Figueiredo (2005), no Vale do Ribeira (São Paulo/Paraná), para chumbo; Licht (2001) no municípios de Itambaracá (Paraná).

Outro assunto preocupante diz respeito à manutenção da qualidade da água de mananciais de superfície e subterrâneos visando sua utilização para consumo humano e para o equilíbrio ecológico. Em locais no mundo onde a escassez de recursos hídricos de superfície é uma realidade, o uso de águas subterrâneas para o consumo humano tem ganhado mais importância devido à qualidade das águas, controle de oferta, potencial quantitativo, pela proximidade da fonte hídrica ao local de demanda, além de ser a alternativa durante períodos de seca na região. Neste contexto, a ocupação humana desordenada vem trazendo certas problemáticas que comprometem a qualidade dos aquíferos. O descarte inadequado de carga contaminante gerada pela atividade antrópica provoca a contaminação de águas subterrâneas,

em que certos componentes excedem a capacidade de atenuação das camadas do solo (FOSTER *et al.*, 2002).

Paralelo a esta problemática, tem-se o surgimento de 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 que nem sempre são de fácil diagnóstico. Doenças como câncer, problemas neurológicos, intestinais, renais, hepáticos são enfermidades com pesquisas relacionadas a poluentes na água (CENTENO *et al.*, 2013). Aproximadamente 34.000 pessoas falecem no mundo todos os dias de doenças que se relacionam com a água, tais como diarreia. No Brasil, 65% das internações hospitalares são por causa das doenças difundidas pela água (AMARAL, 2007).

Segundo IBGE (2002), apenas cerca de 470 dos 760 distritos em que é dividido o território cearense contam com rede de abastecimento de água, sendo que em 154 deles não há qualquer tratamento. Frizzo (2006) indica que o tratamento da água e sua distribuição pública na quase totalidade das sedes municipais do estado é realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Porém, os tratamentos de rotina da água, tipo cloração, embora diminuam concentrações de Fe e Mn, e em certos casos de Cu e Zn, revelam-se ineficazes na remoção de As, Ba e Cd, além de Cr hexavalente, Pb, cianetos, Se, Ag e fenóis, além de outros componentes dissolvidos e particulados que nela podem ocorrer.

Uma significativa interferência no meio físico é a falta de saneamento básico, diretamente relacionado à saúde pública. Informações obtidas pelo Censo 2010 (IBGE, 2010) sobre a qualidade do saneamento básico dos municípios cearenses ilustram que 60% do total de municípios apresentaram mais de 30% de saneamento básico inadequado. Alguns problemas de saúde pública podem estar diretamente relacionados à qualidade das águas de consumo. Entre elas, as doenças infecciosas e parasitárias que respondem com 13,6% da taxa de mortalidade do estado (DATASUS, 2010).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Situação econômica em Russas

A atividade econômica em Russas é diversificada, os dados fornecidos pelo ministério do Trabalho (MTb) a plataforma Dataviva revela que o setor de fabricação e calçados abrange mais de 60% de um total de 3,51 mil empregos, porém a fabricação de produtos cerâmicos não refratários conta com mais estabelecimentos em 2017. Ainda segundo o MTb para o mesmo ano o número total de empregos para indústria de transformação de Fabricação de calçados de couro era de 62,8%, no entanto o número de estabelecimentos para fabricação de produtos cerâmicos não-refratários corresponde a 51,9% do total de estabelecimentos no mesmo ano contribuindo com 16,5% de empregos (DATAVIVA, 2017).

Nota-se que as demais atividades, comércio varejista, administração pública e agricultura também contribuem com a quantidade de empregos (Tabela 1).

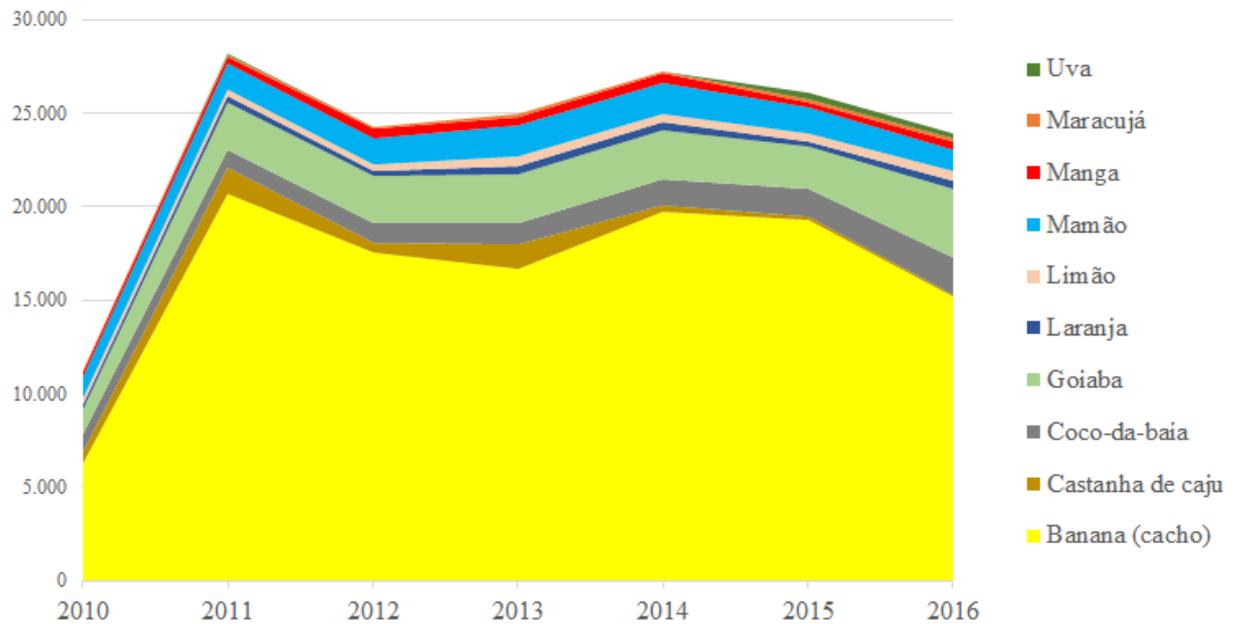
Tabela 1 – Número de empregos formais durante os anos de 2010 a 2016.

Discriminação							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Total das Atividades	11.668	11.412	12.007	12.063	12.273	11.022	9.728
Extrativa Mineral	1	7	11	44	38	69	62
Indústria de Transformação	5.696	5.788	4.960	4.868	4.954	4.359	3.810
Serviços Industriais de Utilidade Pública	74	86	77	94	77	79	120
Construção Civil	339	294	407	393	239	216	151
Comércio	1.669	1.675	1.895	1.994	2.119	2.103	2.036
Serviços	826	932	992	1.258	1.542	1.680	1.576
Administração Pública	2.241	1.695	2.729	1.960	1.470	1.510	1.196
Agropecuária	822	935	936	1.452	1.834	1.006	777

Fonte: Ministério do Trabalho (MTb) – RAIS (2017).

O setor agrícola do município foi um dos grandes fatores que impulsionou o crescimento econômico na área, o qual conta com o Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas que atraiu indústrias agrícolas e estimulou a produção de cultivos, em especial banana e goiaba, e consequentemente, a geração de empregos neste município (Gráfico 1; Figura 1) (COELHO *et al*, 2017; IPECE, 2017).

Gráfico 1 – Produção de cultivos em tonelada para os anos de 2010 a 2016.



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de dados do IPECE (2017).

Figura 1 – Lotes de plantação situados ao norte do Tabuleiro de Russas (Coord. UTM-24S: 608609 E / 9454596 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Para além dessas atividades econômicas, a pecuária extensiva destaca-se com a

criação de ovinos, aves, caprinos e bovinos. O extrativismo vegetal sobressai com atividades envolvendo emprego de materiais obtidos da carnaúba. Na área de mineração, a região destaca-se na extração de pedra, areia e argila para fabricação de telhas e tijolos. (IPECE, 2017).

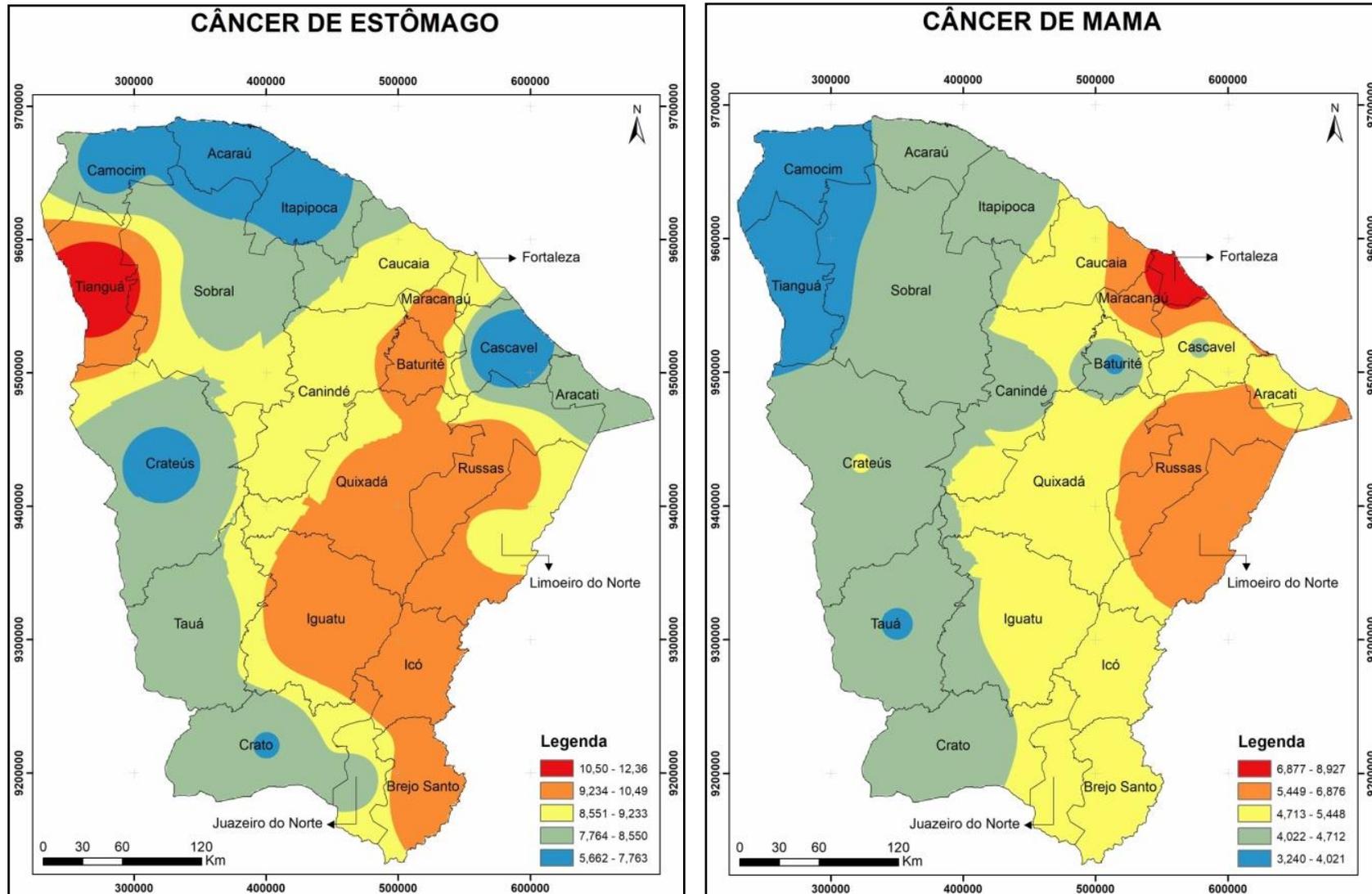
3.2 Situação de saúde em Russas

O Sistema de Saúde em Russas abrange, conforme o cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES, um total de 204 unidades de saúde, em que 141 estabelecimentos são unidades de saúde pública, sendo que 1 não são unidades do SUS, apresenta um total de 63 unidades privadas, sendo que destas 6 são complementares, atendendo pacientes do SUS. Em todo o Estado do Ceará, o aumento de casos por doenças crônicas demanda ações de maior abrangência por parte do Sistema de Saúde, assim, Redes de Atenção às Condições Crônicas estão sendo criadas a fim de promover o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas efetivas, integradas, sustentáveis e baseadas em evidências para a prevenção e o cuidado das DCNT (doenças cardiovasculares, doenças respiratórias crônicas, diabetes mellitus e neoplasias) e seus fatores de risco, como também a prevenção e o controle do câncer (CEARÁ, 2016).

Segundo Sousa *et al.* (2018), dentre as Regionais de Saúde do Estado do Ceará, a região de Russas mostrou valores de taxas de mortalidade para vários cânceres variando de médio a alto, enfatizando a importância de um estudo mais aprofundado das possíveis causas dentro do contexto de Geologia Médica, vide exemplo para os cânceres de estômago e mama na Figura 2.

Os municípios que compõe a Região de Saúde de Russas em sua maioria fazem parte da Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe. Foi constatado, a partir dos dados de óbitos por residência segundo a Classificação Internacional das Doenças em sua 10ª revisão (CID-10) obtidos no DATASUS, em 2016, que Limoeiro do Norte, Russas e Aracati, apresentaram o maior número de casos de óbito por Neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões (Tabela 2) (SOUSA *et al.*, 2019).

Figura 2 – Mapas de câncer de estômago e mama mais frequentes no CE, em 2015.



Fonte: Fornecido por Sousa *et al.* (2018).

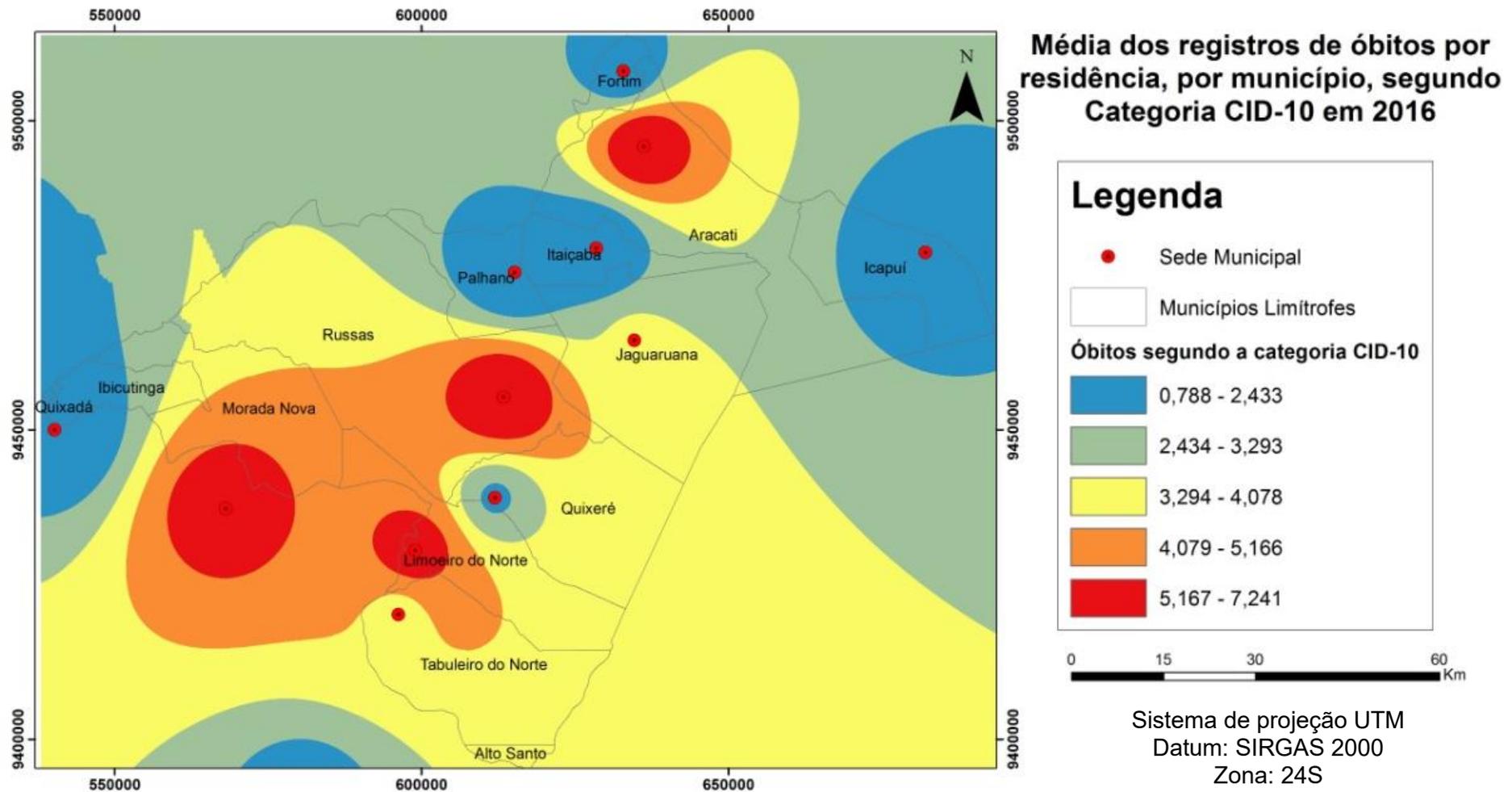
Tabela 2 - Óbitos por residência por município segundo Categoria CID-10.

Município	A09 Diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível	C16 Neoplasia maligna do estômago	C34 Neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões	E14 Diabetes mellitus NE	
Alto Santo	0	2	2	1	
Aracati	2	6	6	33	
Fortim	2	0	3	1	
Ibaretama	1	1	0	1	
Ibicuitinga	1	1	1	0	
Icapui	0	0	8	3	
Itaiçaba	0	0	0	2	
Jaguaruana	0	5	10	9	
Limoeiro do Norte	2	5	14	9	
Morada Nova	2	6	8	11	
Palhano	0	2	1	3	
Quixadá	5	8	9	21	
Quixeré	1	3	4	2	
Russas	3	10	12	18	
Tabuleiro do Norte	1	3	7	1	
Continuação					
Município	G30 Doença de Alzheimer	I10 Hipertensão essencial	I21 Infarto agudo do miocárdio	I64 AVC NE como hemorrag isquêmico	J18 Pneumonia p/microorg NE
Alto Santo	3	2	13	1	2
Aracati	4	15	20	23	32
Fortim	0	2	10	7	4
Ibaretama	0	1	4	2	6
Ibicuitinga	2	1	8	5	1
Icapui	1	4	9	5	6
Itaiçaba	0	0	5	3	6
Jaguaruana	1	15	12	8	16
Limoeiro do Norte	3	14	27	29	27
Morada Nova	9	3	64	25	14
Palhano	0	2	4	2	0
Quixadá	6	9	29	16	32
Quixeré	3	2	11	2	13
Russas	2	20	27	20	40
Tabuleiro do Norte	0	25	13	11	21

Fonte: Fornecido por Sousa *et al.* (2019).

No mais, Aracati, Morada Nova, Limoeiro do Norte e Russas têm destaque em relação à média de ocorrência de óbitos conforme mostra a Figura 3. Apesar de a mortalidade por diarreia ser relativamente baixa para o município de Russas, conforme a tabela 2, internações devido a diarreias são de 7.2 para cada 1.000 habitantes em Russas. Comparado com todos os municípios do estado, fica nas posições 53 de 184 e 7 de 184, respectivamente. Quando comparado a cidades do Brasil todo, essas posições são de 1478 de 5570 e 434 de 5570, respectivamente (IBGE, 2018).

Figura 3 – Representação espacial da média de mortalidade segundo a categoria CID-10.

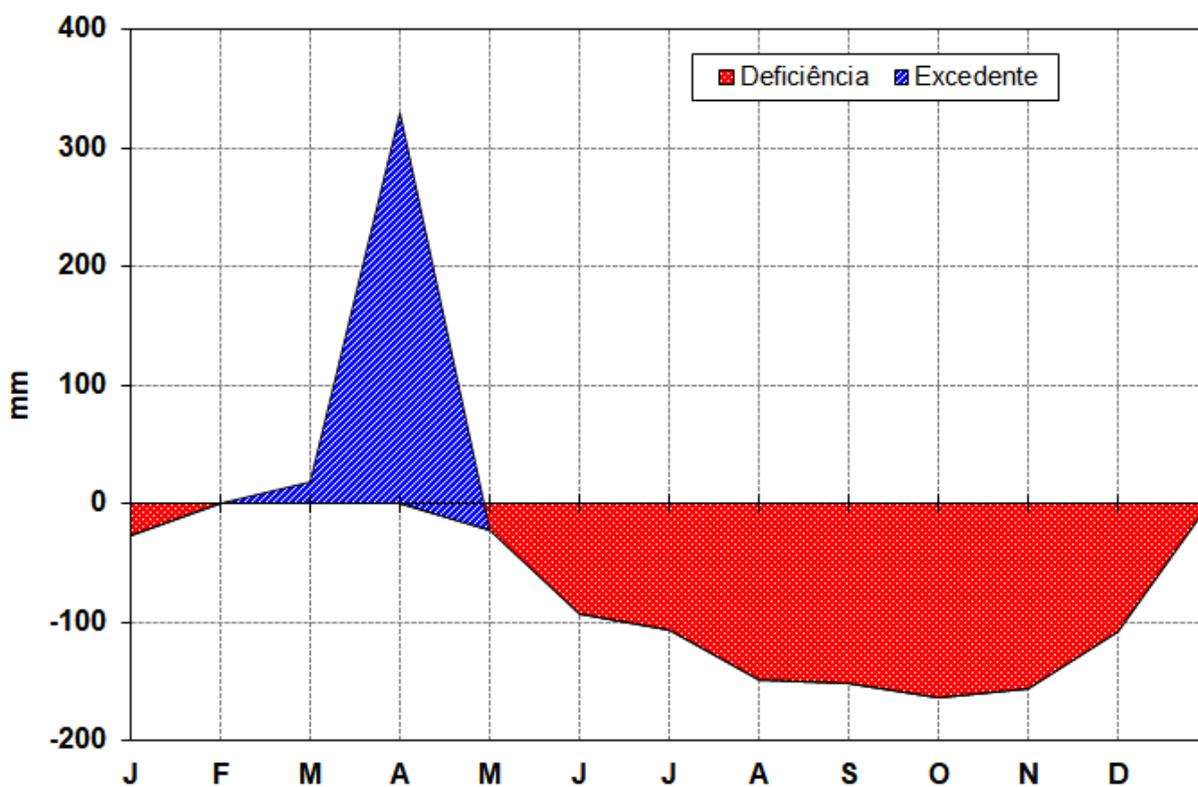


Fonte: Fornecido por Sousa *et al.* (2019).

3.3 Aspectos fisiográficos

Segundo o perfil municipal de Russas IPECE (2017), a região é caracterizada por um clima Tropical Quente Semiárido, com temperatura varia entre 26°C a 28°C, período chuvoso de janeiro a abril (Gráfico 2) e por precipitação pluviométrica média anual em torno de 857,7 mm (FUNCEME, 2019).

Gráfico 2 – Balanço hídrico de Russas para o ano de 2018.



Fonte: Balanço Hídrico Sequencial por Thornthwaite; Mather (1955).

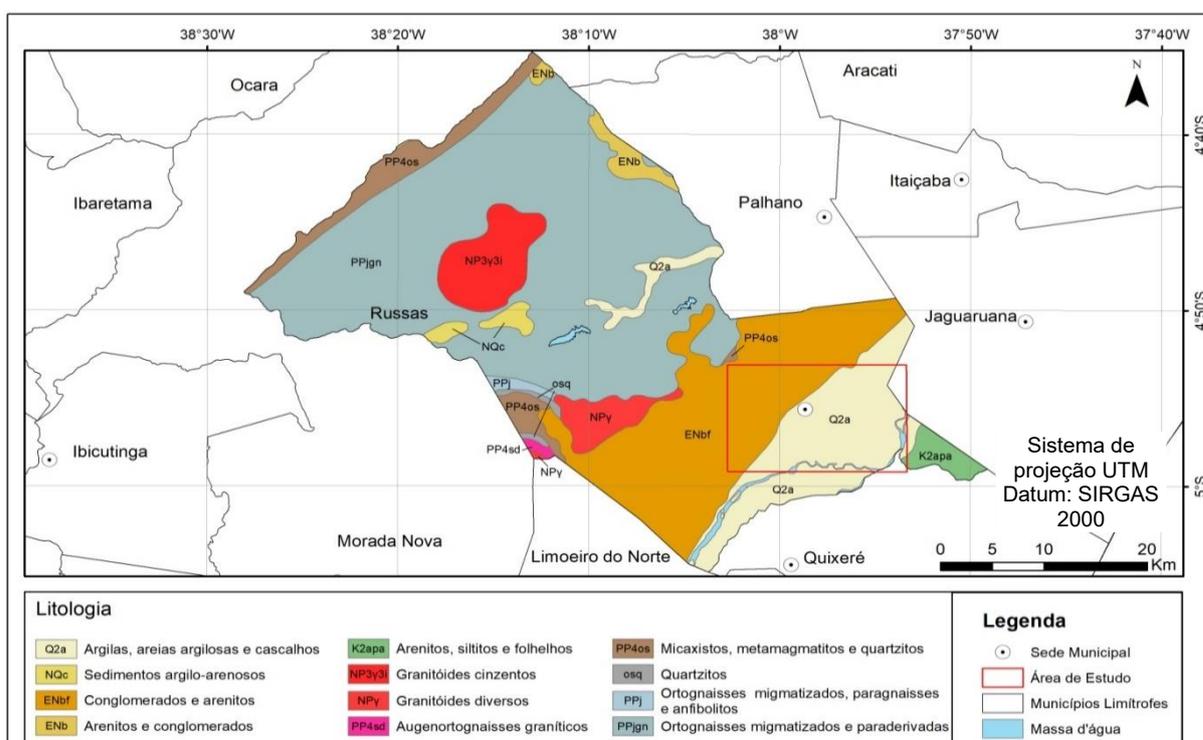
Na paisagem regional predomina a superfície ondulada, com fraco dessecamento, da Depressão Sertaneja, e, a leste do território observa-se a planície aluvial do rio Jaguaribe, as altitudes dessas formas são inferiores a 200 m.

No mais, a região possui predominantemente planossolos, solos podzólicos e solos aluviais, mostrando uma cobertura vegetal mista, com espécies próprias, da mata serrana e da caatinga, na faixa dos tabuleiros; caatinga arbustiva densa e aberta e manchas de mata ciliar (floresta mista dicótilo-palmácea), ao longo da drenagem.

3.4 Contexto Geológico

O município de Russas está inserido, geologicamente, no denominado Domínio Tectônico Setentrional da Província Borborema, entre as unidades cratônicas do São Francisco-Congo e São Luís-Oeste África. Os arranjos estruturais, metamorfismo e magmatismo granitoide têm sido relacionados a eventos geotectônicos do Neoproterozoico e relacionados ao Ciclo Brasileiro/Pan-Americano (CAVALCANTE, 1999). O município de Russas possui três tipos de formações geológicas predominantes, embasamento cristalino, coberturas sedimentares e depósitos aluvionares (Figura 4).

Figura 4 – Mapa Geológico do município de Russas.



Fonte: Adaptado do mapa geológico do Ceará em 1:500.000 – Cavalcante *et al.* (2003).

3.4.1 Embasamento cristalino

O embasamento cristalino é caracterizado pela presença de uma extensa variedade de rochas no complexo nordestino, constituindo-se de migmatitos homogêneos e heterogêneos, gnaisses, além de zonas com dominância de intensa migmatização, com núcleos granitoides, quartzitos, xistos e calcários cristalinos. Ocorrem ainda anfibolitos, metabasitos e calcossilicáticas, cuja vocação hidrogeológica é fraca, no limite de média. Nas coberturas

sedimentares, as formações mais representativas são Formação Barreiras, Formação Açú, e outras coberturas (BRASIL, 1981).

No cristalino, foram reunidos basicamente, granitoides, gnaisses, granulitos, migmatitos, básicas e ultrabásicas, que constituem o domínio tipicamente como aquífero fissural. Como quase não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por faturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentre desse contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água em função da falta de circulação e do tipo de rocha (entre outras razões), é na maior parte das vezes salinizada. Como a maioria destes litotipos ocorre geralmente sob a forma de grandes e extensos corpos maciços, existe uma tendência de que este domínio seja o que apresente menor possibilidade ao acúmulo de água subterrânea dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais (CPRM, 2007).

3.4.2 Depósitos Cenozoicos

A área de estudo compõe-se de três tipos de depósitos sedimentares cenozoicos resultantes de deposição fluvial: Formação Barreiras, Formação Faceira e Depósitos Aluvionares.

A formação Barreiras constitui-se de sedimentos areno-argilosos mal consolidados de origem continental, dispondo-se em camadas areno-siltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos, recobrando de maneira discordante as formações litoestratigráficas que compõe o Grupo Paraíba (ARAUJO, 1993). Os sedimentos dessa formação 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).

Os Depósitos Tipo Barreiras apresentam uma média a alta favorabilidade hidrogeológica, litologicamente são representados por uma alternância de sedimentos arenosos, argilosos e arenoconglomeráticos, com bruscas variações laterais de fácies. Espessuras bastante variáveis, sendo que localmente ultrapassam os 70 metros. A favorabilidade da ocorrência de água aumenta com a espessura e razão areia/argila. Água normalmente de boa qualidade química (CPRM, 2007).

A Formação Faceira, constituída de conglomerados e arenitos, possui idade atribuída ao Pliopleistoceno. A ocorrência destes depósitos está situada na margem esquerda do

rio Jaguaribe, depositada em discordância sobre o embasamento cristalino (BRASIL, 1981; CPRM, 1996; 2003; CEARÁ, 2009; DNPM, 2013).

Os Depósitos Aluvionares compõem de areias, com granulação variando de fina a grossa, seixos, calhaus, siltes, argilas e matéria orgânica cujos materiais são inconsolidado. A sua espessura é meio variada, de local a local, mas de uma maneira geral vai aumentando, com a proximidade do litoral (BRASIL, 1981). Estes se propagam em toda a área de planície, com largura considerável no município de Russas (CPRM, 1996; DNPM, 2013).

As Formações Cenozoicas, são definidas como pacotes de rochas sedimentares de naturezas e espessuras diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, tem um comportamento de aquífero poroso, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade. A depender da espessura e da razão areia/argila dessas unidades, podem ser produzidas vazões significativas nos poços tubulares perfurados, sendo, contudo, bastante comum que os poços localizados neste domínio, captem água dos aquíferos subjacentes. Este domínio está representado por depósitos relacionados temporalmente ao Quaternário e Terciário (aluviões, colúvios, depósitos eólicos, areias litorâneas, depósitos fluvio lagunares, arenitos de praia, depósitos de leques aluviais, depósitos de pântanos e mangues, coberturas detríticas e detríticas-lateríticas diversas e coberturas residuais) (CPRM, 2007).

Os Aluviões, que possuem uma favorabilidade hidrogeológica variável, e caracteriza-se por aluviões recentes e antigas, no geral estreitas e/ou de pequena espessura. Litologicamente são representadas por areias, cascalhos e argilas com matéria orgânica. No geral é prevista uma favorabilidade hidrogeológica baixa. Ao longo de rios de primeira ordem, existem locais onde podem adquirir grande possança, com larguras superiores a 6-8 km, e espessura que superam 40 metros, e onde se espera uma favorabilidade média a alta. As águas são predominantes de boa qualidade (CPRM, 2007).

Na Bacia Potiguar varia de alta a média favorabilidade hidrogeológica, abrange sedimentos da Formação Açú, que incluem arenitos com boa porosidade de granulometria variável: grosseiros a conglomeráticos na base e finos com níveis argiloso, no topo (CPRM, 2007).

3.5 Recursos hídricos

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (SRH, 2018), 153 açudes públicos são gerenciados pela COGERH, entre estaduais e federais (em convênio com o DNOCS), para o atendimento aos múltiplos usos, com capacidade de 18.788.315.131 m³ de água. Além dos açudes, a COGERH gerencia ainda 21 estações de bombeamento de água bruta; 429 km de eixos de transferências; 171 km de adutoras de distribuição de água bruta; perenização de 2.500 km de rios, ao longo das 12 regiões hidrográficas existentes no Ceará (CEARÁ, 2018). Russas pertence a sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe cuja principal drenagem superficial é o rio Jaguaribe, além disso, possui os riachos da Lagoa Grande, da Bananeira e Riachinho.

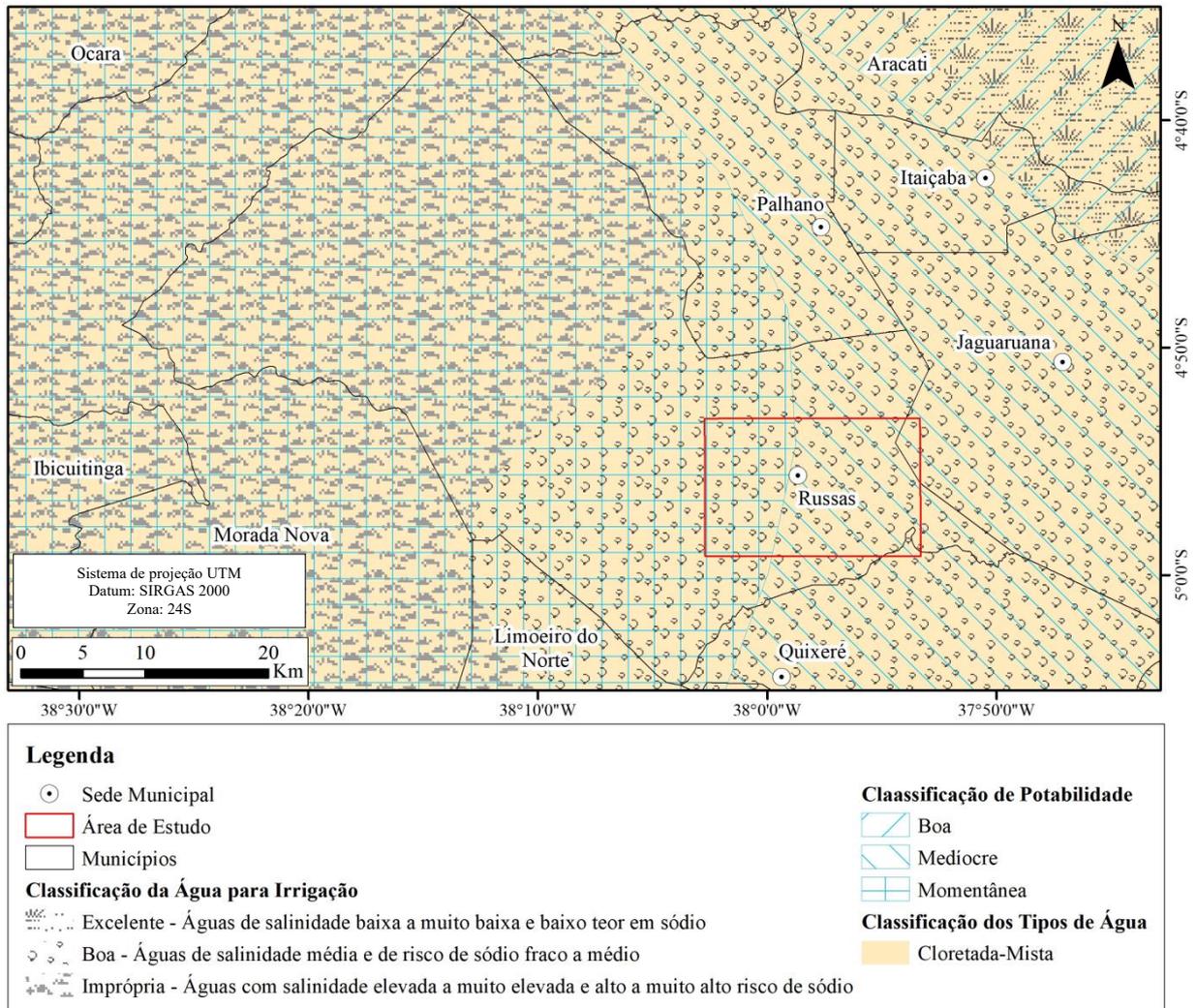
A região contempla três domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas, coberturas sedimentares Tércio-quadernárias e depósitos aluvionares. Mais da metade do município é composta por rochas cristalinas que representa o aquífero fissural (CPRM, 1998). Esses aquíferos possuem baixo potencial hídrico em função da mínima permeabilidade das rochas, portanto, o armazenamento de água ocorrer através de fraturas das rochas, por vezes em quantidades não relevantes (CEARÁ, 2018). Em geral, as vazões produzidas por poços nesses aquíferos são pequenas, além disso, devido à falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido, a água apresenta-se salinizada (Figura 5). No entanto, tais condições não diminuem a sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (CPRM, 1998).

O Mapa de Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste do Brasil resultou da união de 10.478 análises físico-químicas em poços tubulares de modo a delimitar domínios quimicamente homogêneos com relação à potabilidade, aos fácies químicos e à adequabilidade das águas para uso na irrigação (IBGE, 2013b).

Na porção sudeste do município, as coberturas sedimentares ocupam áreas de dimensões consideráveis, caracterizadas por sedimentos detríticos, com composição variando desde conglomerática a arenoargilosa, que muitas vezes apresentam espessuras relativamente reduzidas, de modo que o aquífero tenha pouca expressão como manancial para captação de água subterrânea. Portanto, uma boa alternativa como manancial encontra-se em depósitos aluvionares, uma vez que apresentam alta permeabilidade devido aos sedimentos areno-argilosos recentes cujas espessuras são compensadas com produção de vazões significativas. Os depósitos margeiam as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região e tem uma

importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas (CPRM, 1998).

Figura 5 – Hidroquímica dos mananciais subterrâneos do município de Russas.



Fonte: Adaptado do mapa Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos Região Nordeste em 1:2.500.000 – IBGE (2013b).

3.6 Localização e acesso da área de pesquisa

Russas é um município do estado do Ceará e abrange uma área de 1.590,257 km². Está situado na região do Baixo Jaguaribe, limita-se com os municípios de Quixeré, Limoeiro do Norte, Quixeré, Morada Nova, Palhano, Jaguaruana e Beberibe (CPRM, 1998; IBGE, 2018). O acesso ao município pode ser feito, a partir de Fortaleza, através da BR-116 com sentido sudeste.

A área de pesquisa proposta compreende a sede municipal de Russas, localizada no

extremo leste do estado do Ceará, distante aproximadamente de 160 km da sua capital, Fortaleza (Figura 6). A poligonal estudada é limitada aproximadamente pelas coordenadas 605843E/9459949N e 623221E/9448753N, conforme o quadro da Tabela 3.

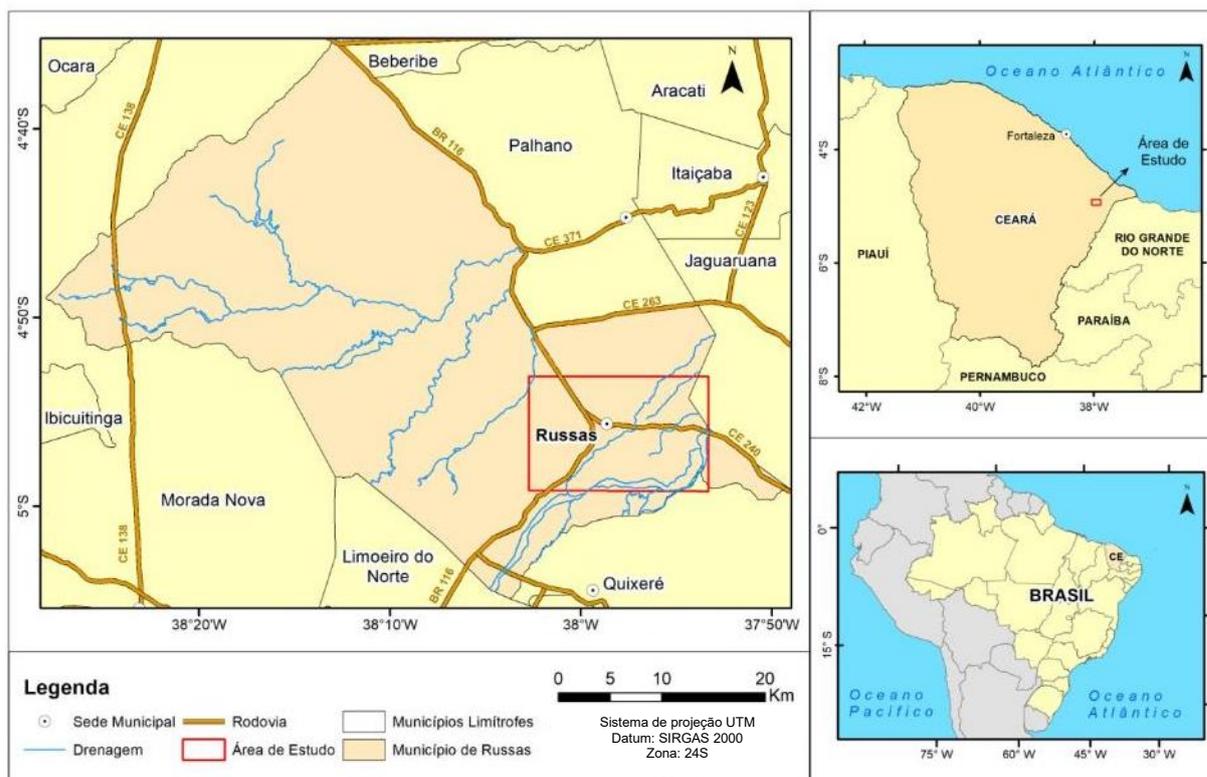
Tabela 3 – Vértices da poligonal que foi mapeada, de acordo com o Sistema de Coordenadas UTM, Zona 24S, e tomando como base de referência geodésica do Datum WGS84.

VÉRTICES DA POLIGONAL ESTUDADA

Vértice	Coordenada E	Coordenada N
1	605842,887	9459949,55
2	623174,136	9459948,051
3	623221,177	9448753,152
4	605838,658	9448807,607

Fonte: Elaborada pelas autoras (2019).

Figura 6 – Localização da área estudada no município de Russas (CE).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho teve seu desenvolvimento a partir de embasamentos teóricos presentes na literatura e observações de campo na área de estudo com auxílio de materiais, equipamentos e métodos que possibilitaram a execução do trabalho. O estudo foi dividido em três etapas: atividade de escritório, atividade de campo e etapa pós campo, dando ênfase na qualidade de água subterrânea, identificação das possíveis fontes poluidoras e a influência disso na saúde humana.

4.1 Atividade de Escritório

Nessa fase, foram realizados estudos preliminares tais como consulta a mapas geológicos, cartográficos e hidrográficos da área com o intuito de identificar feições geomorfológicas, condições geológicas e hidrogeológicas relacionado aos corpos hídricos. Foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre trabalhos realizados na área bem como a cadastros de poços existentes, pois tais informações auxiliam bastante na determinação da área-alvo para fase posterior do estudo. Foi confeccionado no laboratório o mapa pré-campo vetorizando estradas, corpos hídricos, possíveis fontes poluidoras e poços tubulares catalogados dentro do município de Russas.

4.1.1 Levantamento Bibliográfico

A pesquisa bibliográfica ocorreu durante todo o desenvolvimento do trabalho, tornando-se fundamental para o planejamento e execução das atividades. Envolveu uma série de artigos, livros e trabalhos referentes a temas que englobam a Geologia Médica, tais como, contexto geológico, hidrogeologia, atividades econômicas, perfis de poços e saúde humana no município de Russas.

4.1.2 Aquisição de Dados

De modo a contemplar o estudo de Geologia Médica em Russas, buscou-se para cada temática mencionada, dados secundários, seja forma de tabelas ou em arquivos vetoriais nas mais diversas fontes, como apresentado nos parágrafos seguintes. A coleta visa compor

bases de dados para elaborar gráficos e tabelas, até mesmo georreferenciá-las de modo a gerar mapas temáticos.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) fornece pesquisas realizadas pelo próprio instituto, tais como infográficos e mapas, além disso pode comparar os indicadores entre municípios e estados. Estão disponibilizados dados com temas diversos, tais com trabalho, educação, gênero, saúde, bem como arquivos vetoriais e mapas temáticos. Nessa plataforma, foram consultados mapas hidroquímicos dos mananciais superficiais e subterrâneos do nordeste brasileiro.

O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) responde pela geração de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas e geográficas que permitem a avaliação de programas e a elaboração de estratégias e políticas públicas para o desenvolvimento do Estado do Ceará. O IPECE tem atribuições ligadas às geociências e estatísticas sociais, demográficas e econômicas.

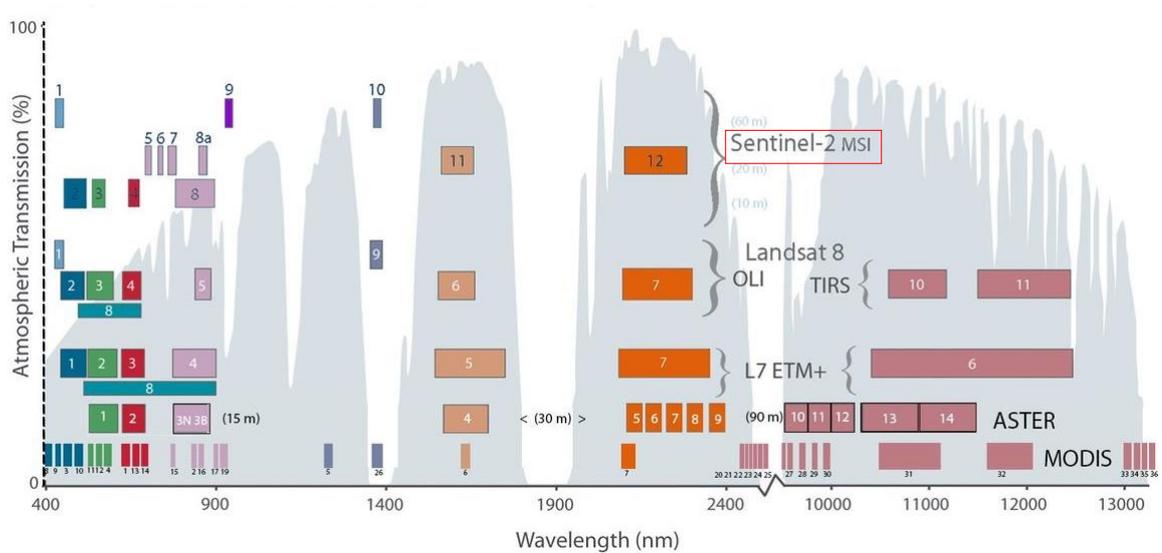
As informações epidemiológicas e morbidade são disponíveis pelo Departamento de informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), além de acesso a serviços e estatísticas vitais, em que esta última possui dados de mortalidade por diversas doenças segundo a Categoria CID-10, em especial por câncer.

Foram realizadas consultas em duas plataformas do Serviço Geológico do Brasil, o Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (GeoSGB) e o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). O primeiro é uma plataforma online que disponibiliza diversos dados acerca da geologia do Brasil, tanto em arquivos vetoriais como em mapas, relatórios e imagens. Obteve-se, portanto, a geologia regional e o mapa hidrogeológico do Brasil com recorte para o município de Russas, além de arquivos vetoriais do Brasil e do Estado do Ceará para fins de localização. O segundo permite realizar consulta, pesquisa, extração e geração relatórios hidrogeológicos. Os dados de poços obtidos apresentam descrições quanto a localidades, características do material e perfuração das obras, descrição geológica, tipo de aquífero, e análise química de diversos parâmetros, incluindo os elementos contidos na água.

O *EarthExplorer* é uma plataforma de pesquisa que permite os usuários pesquisar, baixar e solicitar dados mantidos em arquivos do Serviço Geológico dos Estados Unidos (sigla em inglês, USGS) através de muitas opções de consulta. Nesta interface, foi obtido imagens da Sentinel-2 para processamento. A missão Sentinel-2 é uma resolução espacial média, um instrumento superespectral com um grande campo de visão (290 km), alta capacidade de revisitação (5 dias com dois satélites), alta resolução (10 m, 20 m e 60 m) e um conjunto

moderadamente grande de bandas (13 bandas espectrais) com o objetivo de fornecer cobertura global de terra (Figura 7). A missão assegura a continuidade das missões SPOT e Landsat e fornece produtos operacionais como mapas de cobertura da terra, mapas de detecção de mudança de terra e variáveis geoquímicas / físicas (DRUSCH *et al.*, 2012).

Figura 7 – Bandas propostas do sensor Sentinel-2, em comparação com os sensores operacionais da Landsat 8, Landsat 7, ASTER e MODIS. A transmitância atmosférica é plotada no eixo Y.



Fonte: El Atillah; El Morjani; Souhassou (2019).

4.1.3 Mapa Pré-Campo

A elaboração do mapa pré-campo é fundamental para o planejamento de ida ao campo (Apêndice A). A partir dele é possível estabelecer as melhores rotas para o caminhamento e marcações de pontos de coleta de água próximos a fontes potenciais de contaminação ambiental. Logo, a construção do mapa teve origem com vetorização, no *software* ArcGIS 10.6.1, das vias de acesso e drenagens, as quais foram interpretadas na imagem do Google Earth, seguindo do registro das toponímias no mapa, bem como as possíveis fontes poluentes, tais como indústrias de cerâmica, cemitério, lixão.

4.2 Atividade de campo

O campo foi realizado em setembro de 2019 dentro da área pré-estabelecida. O caminhamento foi planejado com base nos acessos aos poços identificados e cartografados na

área de estudo com auxílio de navegadores GPS, da marca Garmim, mod. III Plus, usando Datum WGS84 para marcação das coordenadas geográficas e o mapa pré campo.

Todos os equipamentos utilizados neste trabalho são vinculados ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. O GPS de navegação e os medidores de pH, condutividade e nível foram solicitados junto ao Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) e ao Laboratório de Hidrogeologia.

4.2.1 Etapa de reconhecimento

Nos primeiros dias de campo foram realizadas visitas técnicas de reconhecimento e levantamentos com o intuito de confirmar as informações levantadas e as principais áreas identificadas na fase preliminar do estudo. O caminhamento se deu em função da situação a qual se encontravam, a serventia e principalmente a identificação de possíveis fontes poluentes.

Com base no que foi observado em campo foi definido os pontos os quais passaram por coleta de água. Ao todo 43 pontos foram levantados dentre os quais incluem poços e potenciais fontes poluidoras (Apêndice B). As amostras foram coletadas em 18 pontos do total mencionado, sendo realizadas em poços tubulares, cacimbas e poços à trado manual (Figura 8).

Figura 8 – Obras de abastecimento: (A) poço tubular e (B) cacimba localizados no centro da cidade de Russas; (C) chafariz na localidade de Ingá.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

4.2.2 Etapa de coleta

O registro das informações foi preenchido em uma ficha elaborada em escritório para o desenvolvimento do estudo, a qual consta as características hidrodinâmicas e parâmetros físico-químicos, situação do poço, descrição local, e observações que porventura são relatados pelos seus proprietários ou responsáveis (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelo de ficha de campo.

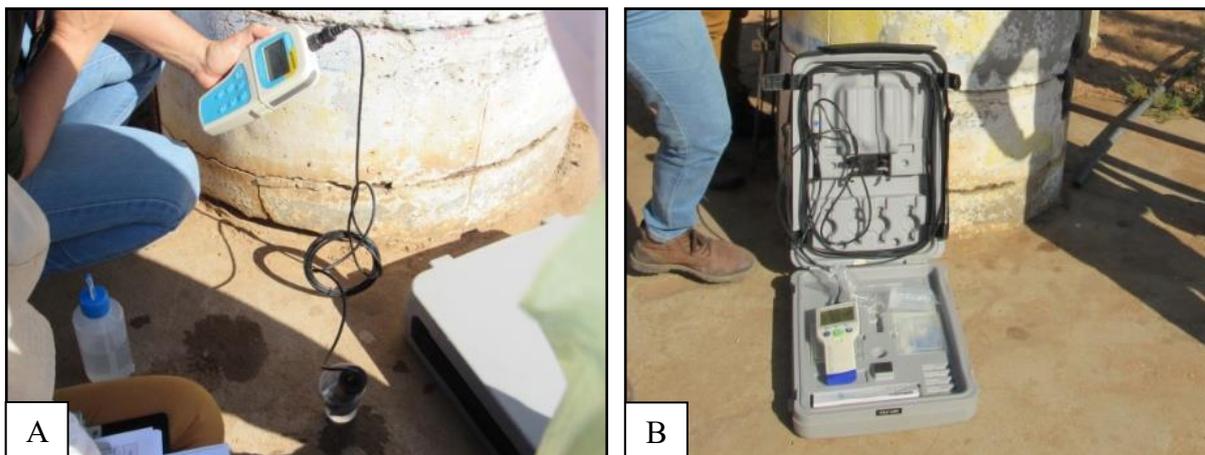
Data de Coleta	11/09/2019	Nº	
		Nome	
Município	Russas - CE	Data da Instalação	
Sub-Bacia Hidrográfica	Baixo Jaguaribe	Proprietário	
COORDENADA		UTM (E)	
		UTM (N)	
		Cota (m)	
Natureza do Ponto			
Situação			
Localidade			
Uso da Água			
Prof. Final do Poço			
Nível Estático			
Nível Dinâmico			
pH			
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)			
Resistividade ($\Omega.\text{cm}$)			
Salinidade (ppt)			
STD (mg/L)			
Temperatura (Cº)			
Observações			

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Os equipamentos utilizados para as medições foram o medidor de pH/conductividade (WD-35630 Medidor pH/CON 10 OAKTON®) modelo *waterproof* para registro do pH. Para obter os demais parâmetros utilizou-se o medidor portátil *Mettler Toledo* modelo *Seven Go Duo* (Figura 9).

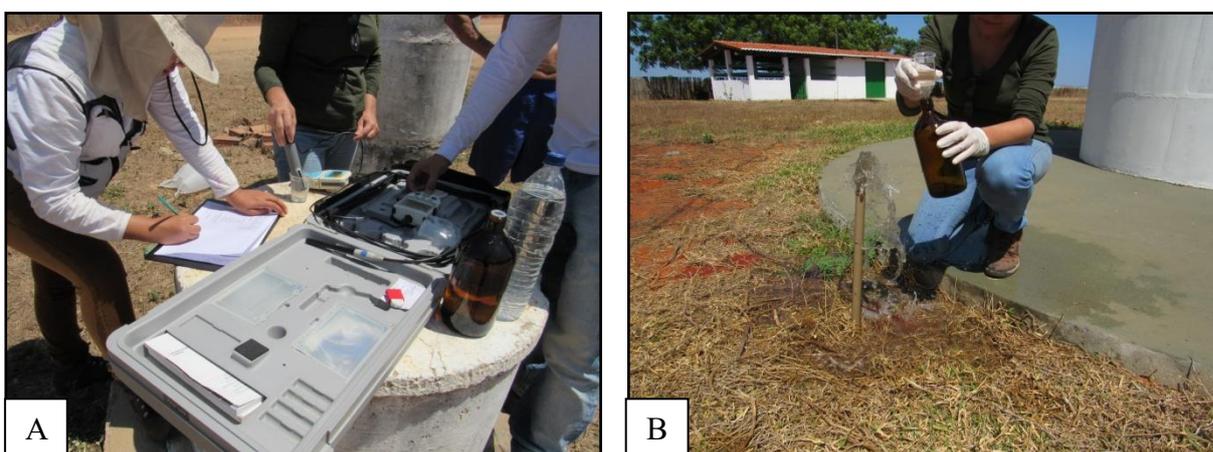
As amostragens foram preparadas por meio de recipientes devidamente descontaminados e rotulados visando maior controle e agilidade no trabalho. Antes de iniciar o processo de coleta efetuou-se a lavagem dos recipientes com a água da fonte de amostragem (Figura 10). Logo após, foram armazenadas em caixas de isopor com gelo até serem levadas ao laboratório, as quais foram destinadas à análise físico-químicas cujos parâmetros são: pH, condutividade elétrica, íons maiores, compostos nitrogenados, brometo e cloreto.

Figura 9 – Equipamentos utilizados em campo: (A) pHmetro; (B) medidor de pH/conductividade.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Figura 10 – Etapa obtenção e informações em campo (A) e coleta de água (B).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

4.3 Etapa pós campo

Realizou-se a compilação de todos os dados gerados na pesquisa culminando com a elaboração desta etapa. Portanto, houve o refinamento dos dados obtidos nas atividades de campo à luz das referências bibliográficas utilizadas na etapa preliminar. Para interpretação e análise dos resultados foram realizados em diversos programas, conforme apresentados nos parágrafos seguintes.

Durante a pesquisa de escritório, os dados obtidos foram integrados em tabelas para geração de gráficos no programa Excel de modo a ilustrar a caracterização do município como apresentado no capítulo três desse trabalho. Além disso, nessa mesma etapa foram aproveitados os dados de análise química em poços já cadastrados pelo SIAGAS e plotados em tabela no

software Qualigraf 2018 (MOBUS, 2003), disponível gratuitamente no site da FUNCEME.

Com a aquisição do material coletado no campo, os dados obtidos foram integrados em um banco de dados georreferenciados para cada ponto de coleta e os parâmetros físico-químicos obtidos na análise. Em seguida, o banco foi empregado em ambiente SIG a fim de confeccionar o mapa de ponto.

Os parâmetros analisados foram realizados no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) – Fortaleza – Ceará (Figura 11). Em seguida a classificação do tipo de água das amostras foi realizada no software Qualigraf através do diagrama de Piper, em que se apresenta na forma de dois diagramas triangulares, um para ânions (no canto inferior direito) e uma para cátions (no canto inferior esquerdo), utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de água quanto aos íons dominantes.

Figura 11 – Amostras em processo de análise no LQA.

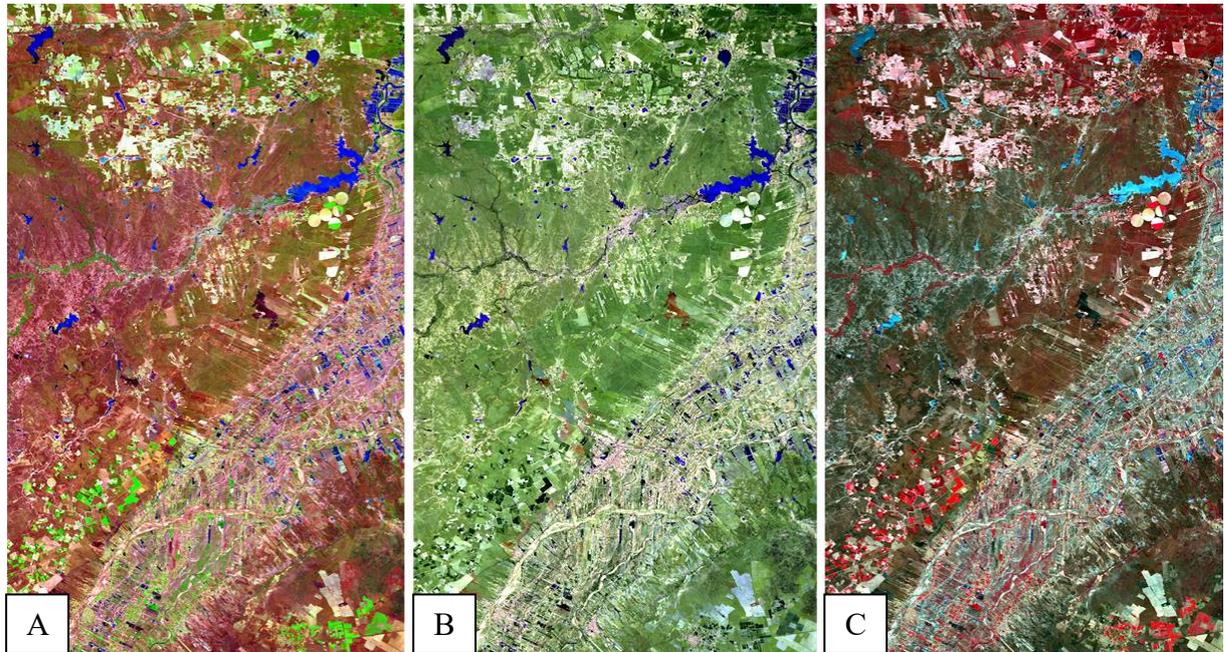


Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

De modo a complementar a pesquisa, foi feita a classificação supervisionada da área de estudo a partir das informações reconhecidas em campo e da interpretação em imagens satélite. Para tal, obteve-se 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. Com

base nas composições produzidas, fez-se a classificação do uso e cobertura do solo no mesmo programa (Figura 12).

Figura 12 – Produtos com composição colorida RGB em cima do recorte da área para agricultura (A), área urbana (B), vegetação (C).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Levou-se em consideração parâmetros baseados e adaptados com Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013a) para o mapeamento do uso e cobertura do solo. Tais parâmetros incluem, área antropizada, aquicultura e agricultura como fatores que, de maneira desordenada, causam degradação do meio ambiente incluindo assoreamento dos córregos e rios; vegetação como fator importante para preservação ambiental junto aos recursos hídricos evitando o assoreamento e mantendo a biota local; depósitos aluvionares e área descoberta.

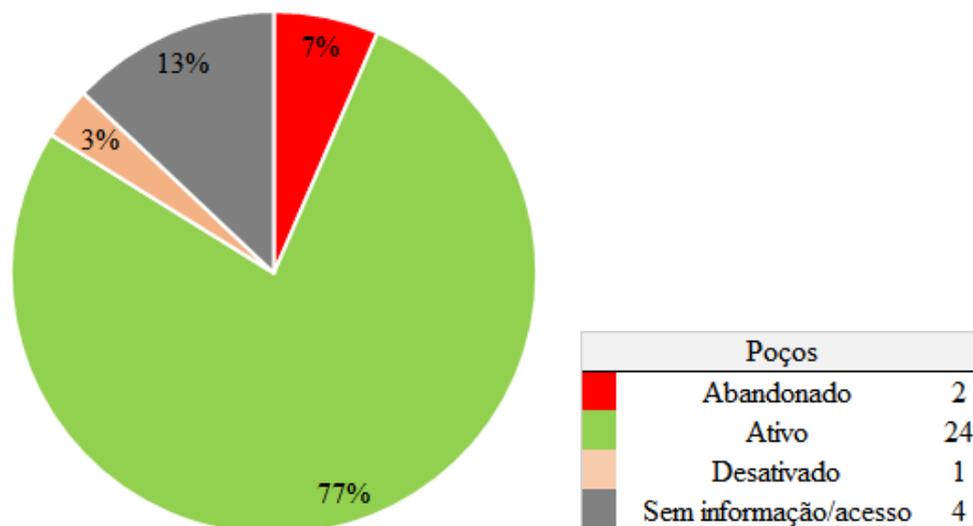
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Situação dos Poços em Russas

A demanda por águas subterrâneas vem sendo crescente ao longo dos anos. De acordo com o Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará de 2012 a maio de 2017, foram perfurados aproximadamente 4.730 poços pelo Governo do Estado, no entanto, esse valor não conta com chafarizes e dessalinizadores instalados (CEARÁ, 2018).

De acordo com os dados obtidos no SIAGAS para o município em estudo, existem 239 poços cadastrados. As observações em campo permitiram a visita em 31 poços na região, porém 2 deles se encontravam em situação de abandono, um estava desativado (Gráfico 3), principalmente na porção mais a leste do município. Além disso, dentro do caminhar planejado para visita dos poços, constatou-se que havia alguns poços perfurados que não estão registrados em bases de dados do SIAGAS, dificultando a determinação exata da quantidade de habitantes abastecidos pelos mananciais subterrâneos da região.

Gráfico 3 – Situação dos poços visitados em campo.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Na localidade mais próxima do Distrito de Irrigação do Perímetro Tabuleiro de Russas os poços que foram visitados foram encontrados em estado de abandono, provavelmente consequência da paralização de uma parte do canal construído para suprir as necessidades da região (Figuras 13 e 14). Outros motivos que desencadearam o abandono foram baixas vazões produzido pelos poços e altas concentrações de salinidade presentes na água.

Figura 13 – Poço de um antigo alojamento em situação de abandono em Sítio Córrego dos Estácio (Ponto 28, Coord. UTM-24S: 616980 E/ 9456537 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras 2019.

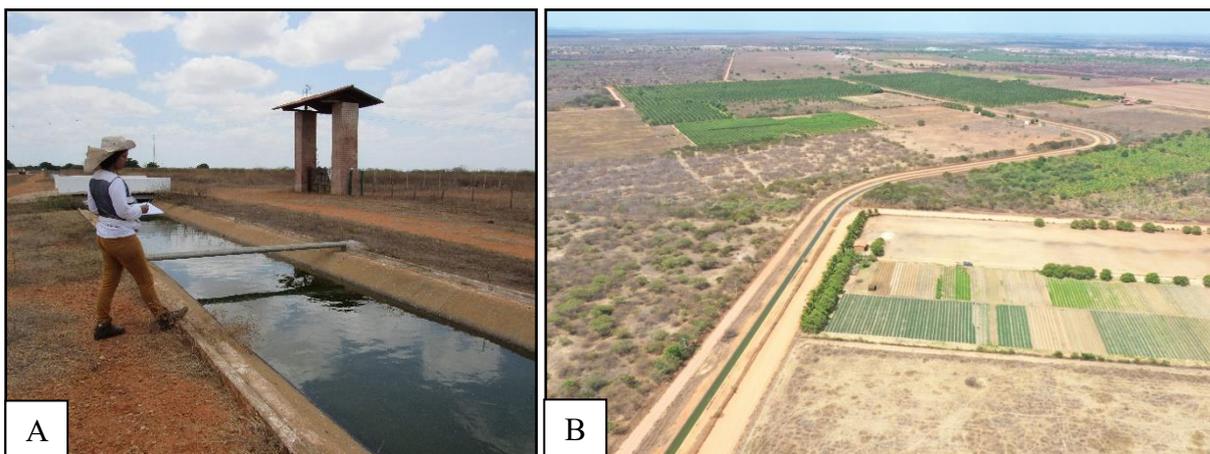
Figura 14 – Poço em situação de abandono próximo ao Perímetro Irrigado (Ponto 29, Coord. UTM-24S: 607558 E / 9449000 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Na parte mais a norte do tabuleiro, onde o canal de irrigação possui água, os proprietários o utilizam como fonte de abastecimento tanto para irrigação como para uso doméstico (Figura 15), vale ressaltar que algumas propriedades possuem poços tubulares, mas não estão sendo utilizados devido à alta concentração de sal.

Figura 15 – (A) e (B) ilustram o Canal do DNOCS que vem do Castanhão para irrigação de cultivos, abastecimento doméstico e plantio de capim e pastagem.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

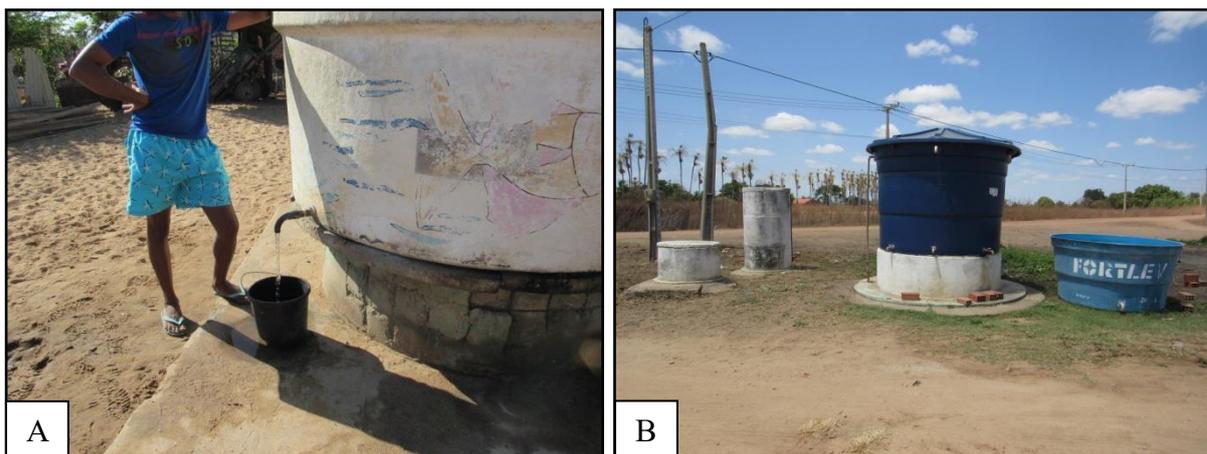
Dentro desse contexto, a pesquisa direcionou-se para a zona urbana do município onde se concentra maior quantidade de poços ativos, desde poços tubulares comunitários e particulares, cacimbas e chafarizes usados para abastecimento doméstico. O desenvolvimento do trabalho se deu, especialmente na realização de trabalhos de campo em comunidades, onde as pessoas relatavam a situação da manutenção dos poços e a saúde daqueles que consomem a água de poços.

Embora algumas famílias possuam rede pública de abastecimento de água pela CAGECE, alguns moradores das comunidades relatam que não dispõem de sistemas de abastecimento e tratamento, principalmente da zona rural. Portanto, optam por utilizar água de poços, cisternas, açudes, carros – pipa.

De modo geral, a utilização dos poços da região tem por finalidade o abastecimento doméstico, irrigação de capim e para os animais, enquanto o consumo humano, optam por uso das cisternas ou mesmo compram a água. Essa situação é devido a salinidade das águas subterrâneas na região, inviabilizando a sua ingestão. Por vezes, parte da população que carece de economia financeira consome a água dos poços, sem tratamento prévio. Esta situação foi observada na localidade Alto do São João e próximo à Vila do Ramalho, ambos são poços

comunitários que não possuem dessalinizadores, além disso, a própria comunidade faz a manutenção e limpeza da caixa d'água e do poço (Figura 16).

Figura 16 – Poços comunitários (A) comunidade Alto do São João (Ponto 14, Coord. UTM-24S: 611290 E / 9453689 N); (B) próximo a localidade de Vila Ramalho (Ponto 21, Coord. UTM-24S: 613897 E / 9455275 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

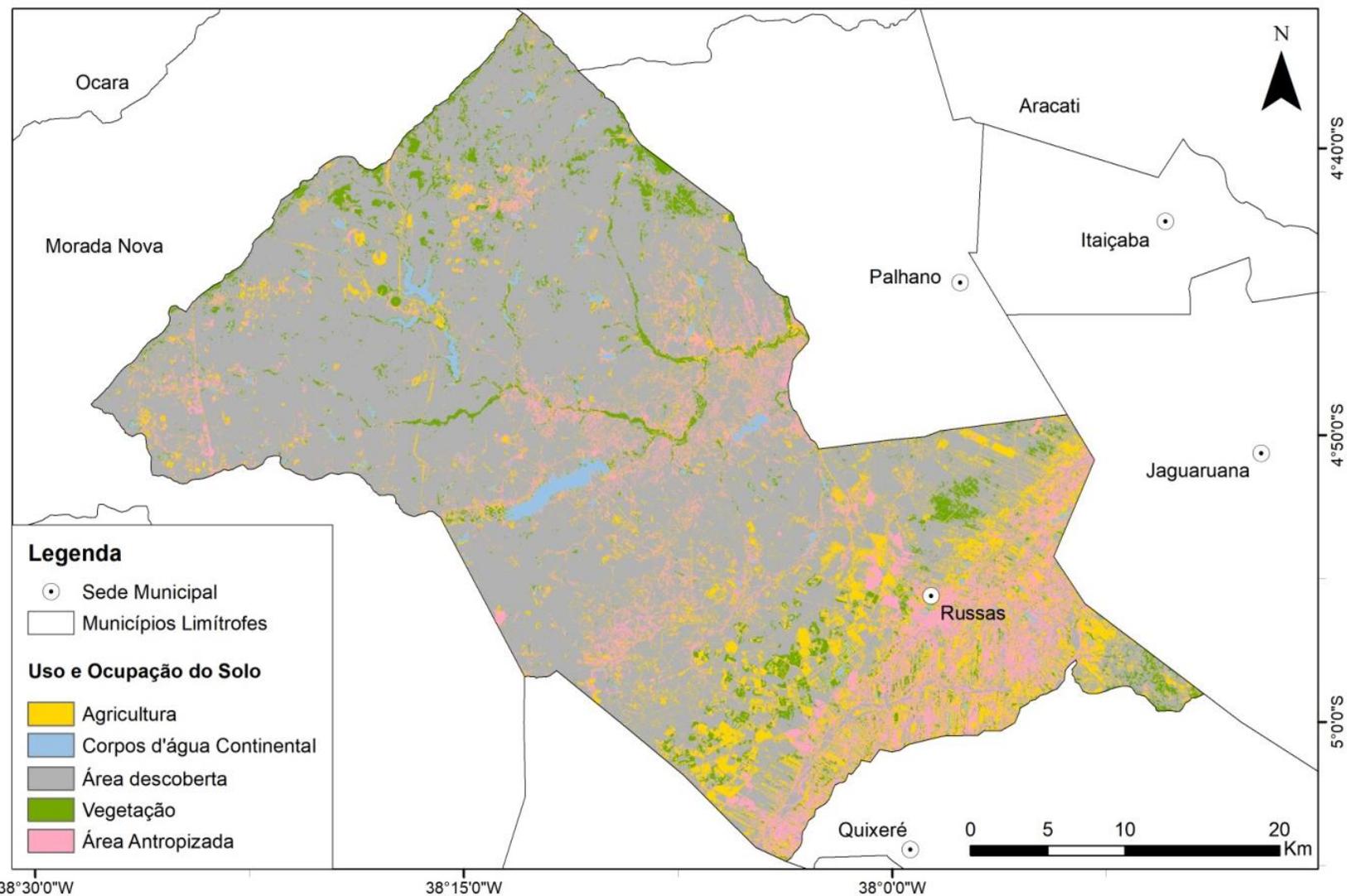
5.2 Análise do uso e cobertura do solo

A classificação pode apresentar-se em situações diferentes para as classes, isso ocorre devido à grande heterogeneidade de utilizações da terra e elementos formadores da paisagem na região estudada, bem como limitações na interpretação da imagem de satélite utilizada, devido à resolução espacial (KAUANO, 2008).

Em relação ao Uso da Terra para o município de Russas, foram definidas 5 classes de uso da terra: agricultura, corpos de água continental, área descoberta, vegetação e área antropizada. A partir da Figura 17 pode-se verificar e compreender a ocupação e paisagem do município. Percebe-se uma boa demarcação dos lotes do Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas a partir da classe de agricultura, bem como a concentração urbana próxima a cidade.

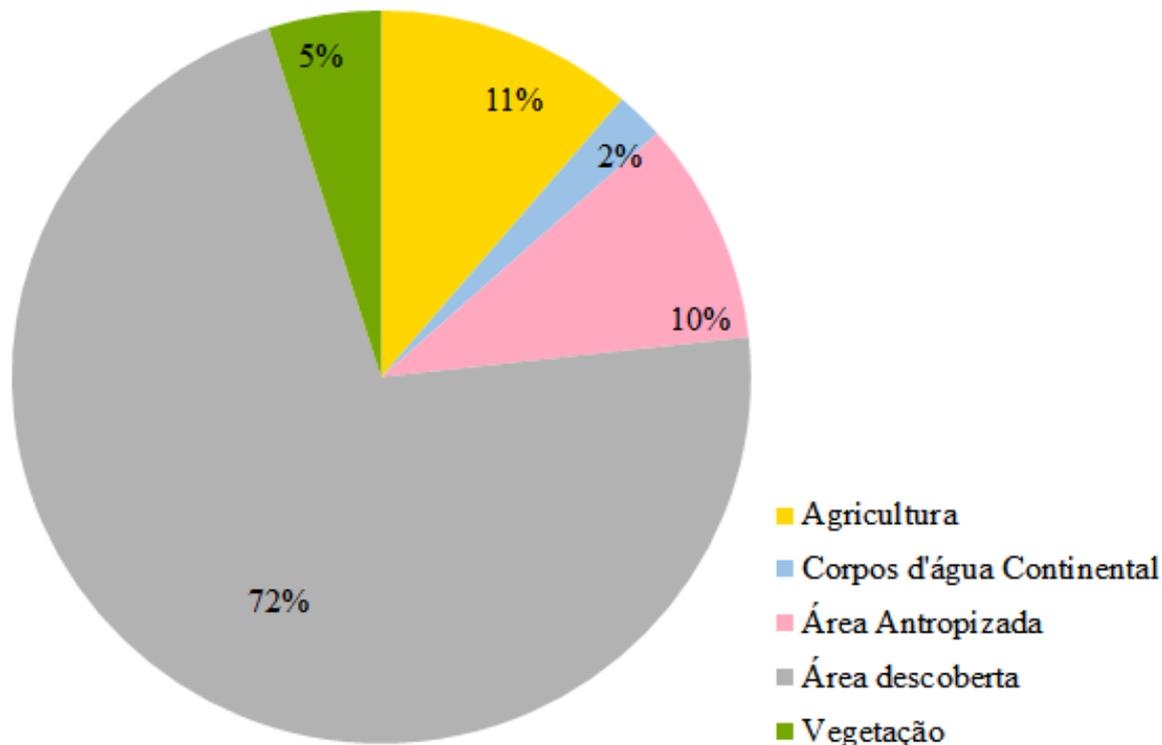
Nota-se que as áreas descobertas estão representadas em peso em relação à área total do município com mais de 70%, conforme é apresentado no gráfico 4. Tais áreas incluem extensões de depósitos aluvionares, solo exposto, áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal até mesmo áreas cobertas por rocha nua exposta (IBGE, 2013a).

Figura 17 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de Russas.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Gráfico 4 - Quantificação percentual das áreas por classes de uso da terra em Russas.



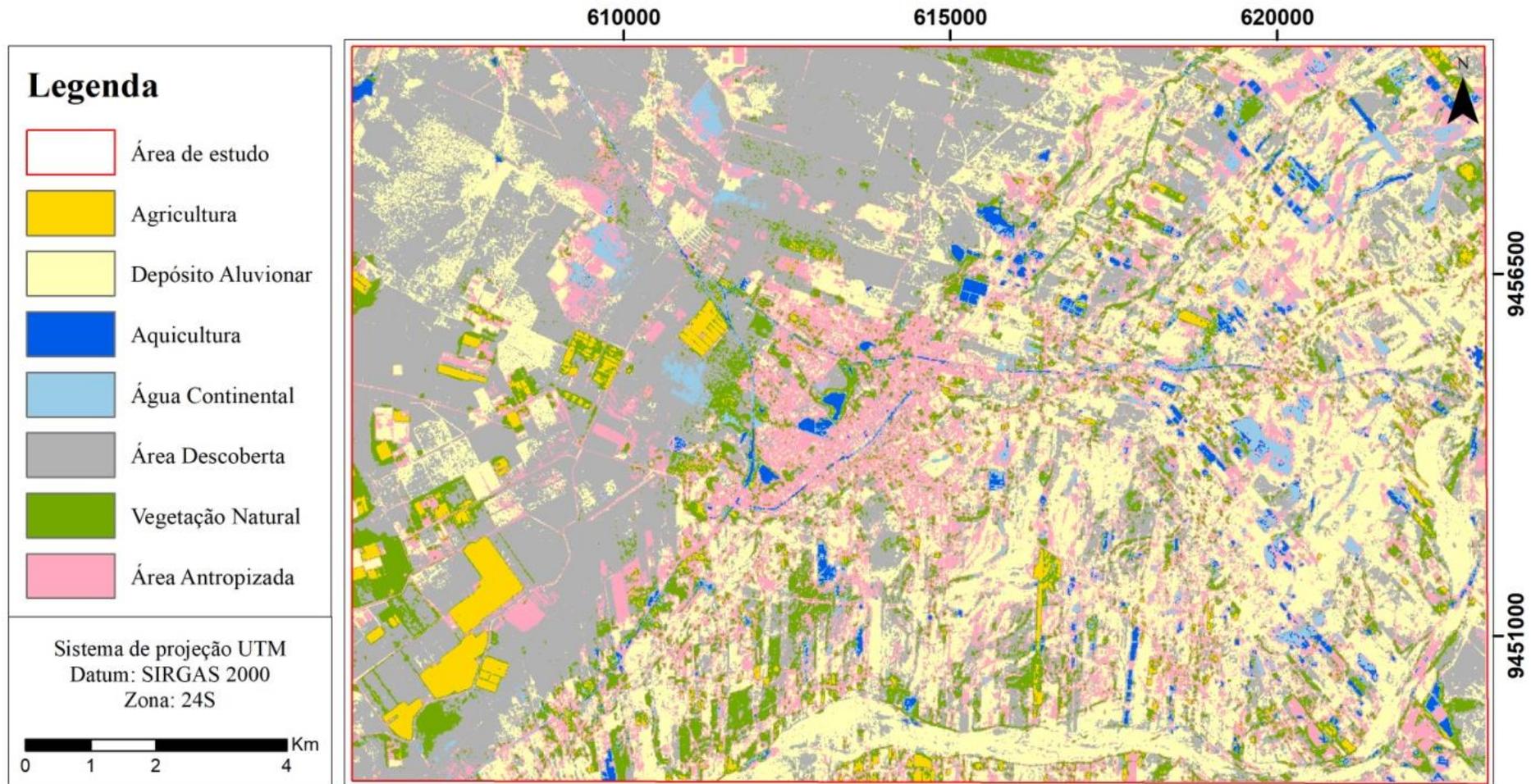
Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Da mesma forma em que foi feita a classificação para o município, foi elaborado um mapa de uso e cobertura do solo feita para área em estudo, em que se estabeleceu 7 classes de uso da terra, além das já mencionadas, foi incluído aquicultura e depósitos aluvionares (Figura 18).

Certas áreas cujas classificações não estavam de acordo com o que foi interpretado na imagem ou mesmo que foi identificado em campo, principalmente com relação aos depósitos aluvionares em locais onde houve retirada de material geológico ou mesmo áreas antropizadas, isso porque, segundo Stoner e Baumgardner (1981), áreas que apresentam solos com textura arenosa aumentam a refletância na medida que as proporções de areia fina a muito fina aumentam. Logo, o mapa foi corrigido e reclassificado para melhor representação (Figura 19).

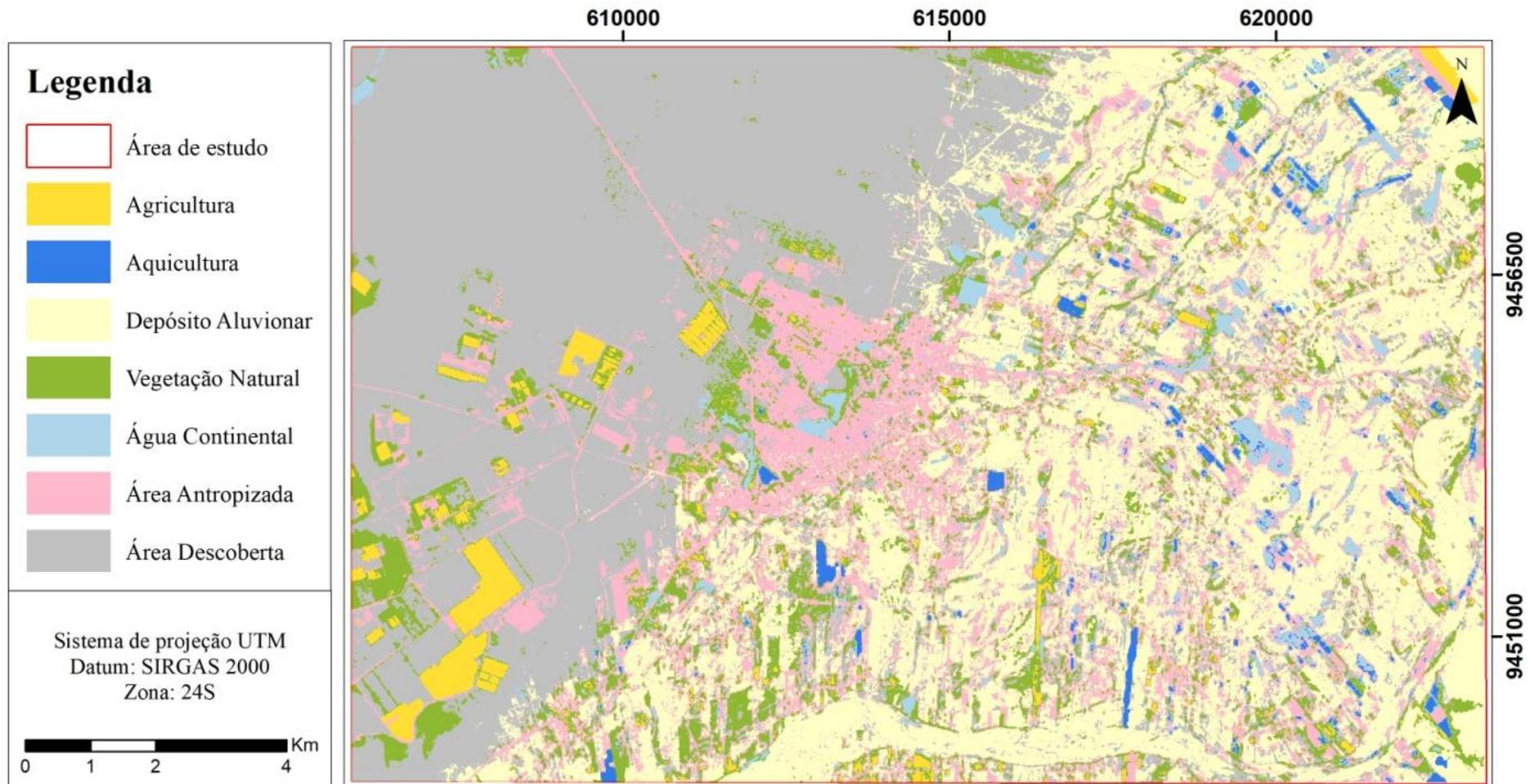
Para ambos os mapas, a classificação evidenciou o comportamento espectral distintos de materiais, que em função de sua composição, compõem as classes de áreas descobertas e depósitos aluvionares similar ao mapa geológico da região. Pode-se observar que a ocupação do território ocorre essencialmente próximo a planície de inundação do rio Jaguaribe, a qual se tornou o centro de muitas atividades sociais e econômicas, principalmente para extração de argila e areia e indústrias de cerâmica (Figura 20). Deste modo, a intervenção antrópica de maneira intensa e desordena é capaz de comprometer o estado do meio ambiente.

Figura 18 – Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Figura 19 – Mapa de uso e cobertura do solo após a reclassificação.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Figura 20 – Indústrias de cerâmicas indicada pelas setas (Ponto 22, Coord. UTM-24S: 615737 E / 9456349 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

5.3 Parâmetros físico-químicos

O estudo foi realizado a partir das 18 amostras coletadas para análise de potabilidade, estando presentes na área urbana, e alguns em zona rural. Nas visitas de reconhecimento foi verificado que a utilização das águas subterrâneas está direcionada principalmente ao uso doméstico e irrigação, no entanto para certas localidades os habitantes relatavam uso da água para o consumo humano após passar por dessalinizadores, embora tenha alguns poços que não os possuam.

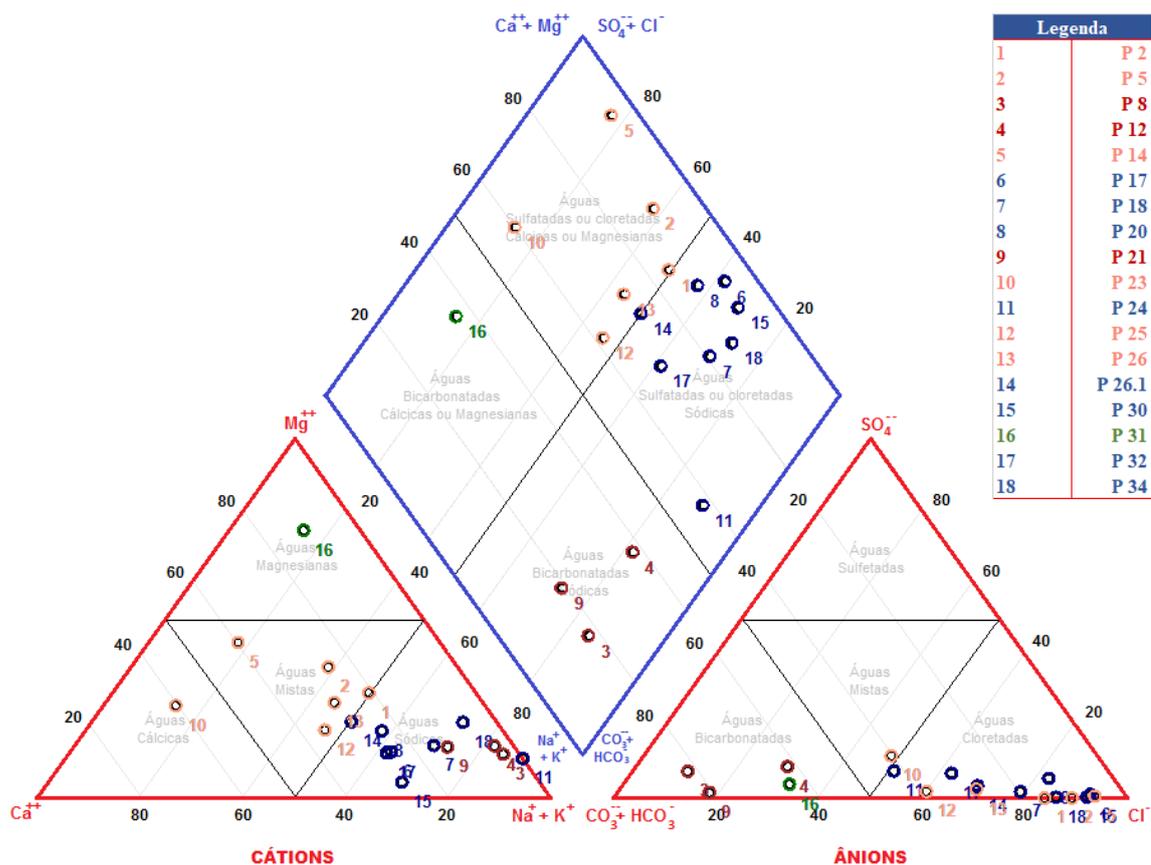
Os parâmetros determinados foram: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), bicarbonatos, nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), elementos majoritários: sódio, potássio, cálcio e magnésio (Mg), ferro (Fe), cujos resultados estão representados no Apêndice C.

Os resultados dos pontos amostrados foram introduzidos no programa Qualigraf para elaboração do Diagrama de Piper, Diagrama de Schoeller e Berkloff e Diagrama USSL (*U.S. Salinity Laboratory*). Esses diagramas juntamente com os parâmetros propostos pela resolução do CONAMA nº 396/2008 possibilitaram classificar e estabelecer a

qualidade das águas subterrâneas, bem como indicar a sua potabilidade para o consumo humano e para a irrigação.

Nesse sentido, buscou-se comparar os dados analisados em campo com o Mapa de Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste do Brasil como alternativa a discussão da qualidade da água na região. Para a área de estudo o mapa mostra que a água é do tipo cloretada mista e sua potabilidade para o consumo humano é considerada como medíocre e momentânea (Figura 5). De modo geral, nos pontos amostrados nota-se presença significativa de íons Sódio e Cloreto, enquanto a concentração de Sulfatos é nula. Embora 5 amostras foram classificadas do tipo cloretada mista, 40% das amostras dos poços visitados sustenta o caráter sódico cloretado (Figura 21). Percebe-se uma variação quanto a classificada pelo IBGE de 2013b em função da escala de trabalho.

Figura 21 – Diagrama de Piper de classificação das águas nos pontos estudados.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Os dados de poços, inseridos na área de estudo, disponíveis pelo SIAGAS, apresentam análises químicas em diversos anos para poços distintos. Essa situação evidencia a falta e/ou perda de registros, até mesmo cadastro incorreto da informação que é uma das

dificuldades encontradas no estudo de Geologia Médica. No mais, a distribuição espacial e a quantidade de poços para cada ano não são tão significativas a ponto de determinar o tipo de água presente na área ao longo dos anos, a exemplo do ano de 2000, cujos poços estão todos localizados em Pedro Ribeiro sob a responsabilidade da CACEGE. Contudo, a classificação do tipo de água para esses poços também foi identificada no Diagrama de Piper, conforme mostra a tabela 5, cujo resultado mostra 32% das amostras possuem águas do tipo sódica cloretada, 16% cálcica cloretada, 11% magnésiana cloretada, 11% cloretada mista, bem como 5% sódica bicarbonatada e 5% bicarbonatada mista. Nota-se que os valores para o íon Cl^- estão muito acima do CONAMA na maioria dos poços, assim como nitrato, o que evidência coerência com os dados obtidos na campanha de campo.

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos cadastrados no SIAGAS para o município de Russas na área de estudo.

Poço	Data de Coleta	HCO ₃ mg/L	Ca mg/L	Cl mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Na mg/L
2300018438	03/12/1998	0,00	42,00	120,50	174,00	7,00	129,00
2300020416	25/09/1999	0,00	516,00	2498,00	112,40	372,00	742,00
2300020415	01/08/1999	0,00	42,00	1041,00	64,00	29,28	520,00
2300018658	06/06/1999	0,00	608,00	5911,00	9,40	391,20	2364,00
2300019478	28/04/2000	192,00	28,00	91,00	10,00	18,40	0,00
2300019479	18/04/2000	119,00	28,00	75,00	12,20	9,70	0,00
2300019483	22/11/2000	112,00	28,00	250,00	8,80	20,10	113,00
2300019484	28/11/2000	120,00	31,20	181,00	8,20	19,60	71,00
2300019486	10/11/2000	198,00	22,40	60,00	6,60	13,40	87,00
2300019482	25/08/2001	116,00	22,40	79,00	3,30	11,50	0,00
2300023168	21/01/2001	0,00	240,00	1300,00	63,30	132,00	504,00
2300021731	26/12/2006	69,4	56,40	367,30	8,80	33,90	0,00
2300022404	15/05/2009	37,4	100,00	863,60	10,00	103,30	0,00
2300022406	15/05/2009	131,9	158,00	921,70	10,10	111,80	0,00
2300022617	20/08/2009	86,55	79,97	512,86	8,69	45,04	0,00
Continuação							
Poço	NO ₃ mg/L	SO ₄ mg/L	STD	CE (µS/cm)	Turbidez (NTU)	pH	Classe
2300018438	15,60	14,00	359,00	553,00	0,00	6,77	Sódica Cloretada
2300020416	41,52	3,17	6192,00	11908,00	2,70	7,47	Mista Cloretada
2300020415	39,70	15,53	3494,00	6720,00	19,00	7,71	Sódica Cloretada
2300018658	1,47	42,10	0,00	21989,00	140,00	7,18	Sódica Cloretada
2300019478	5,80	5,30	0,00	682,00	7,40	7,70	Mista Bicarbonatada
2300019479	3,75	4,90	0,00	727,00	3,00	7,22	Cálcica Cloretada
2300019483	0,82	7,97	0,00	711,00	1,15	7,87	Sódica Cloretada
2300019484	1,78	5,27	0,00	804,00	2,86	7,93	Sódica Cloretada
2300019486	1,84	4,73	0,00	619,00	2,35	7,60	Sódica Bicarbonatada
2300019482	1,32	13,41	0,00	454,00	40,80	7,74	Cálcica Cloretada
2300023168	30,75	10,95	2927,00	5,62	0,95	7,21	Sódica Cloretada
2300021731	0,00	11,00	0,00	1170,00	0,00	6,57	Mista Cloretada
2300022404	14,50	2,80	1400,00	2482,00	13,00	6,54	Magnésiana Cloretada
2300022406	0,11	41,30	1647,00	2921,00	4,00	6,92	Magnésiana Cloretada
2300022617	0,00	15,00	0,00	1730,10	271,76	7,97	Cálcica Cloretada

Fonte: SIAGAS (2019), com adaptações.

O Diagrama de Schoeller e Berkaloff foi elaborado para amostras coletadas no âmbito deste trabalho e cujos poços eram usados para o consumo humano como relatado pelos moradores do local (Figura 22).

Figura 22 – Diagrama de Schoeller e Berkaloff para águas destinadas ao consumo humano.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Observa-se que todos os poços captam águas subterrâneas que passaram por dessalinizadores estão inseridas dentro do padrão de potabilidade, sendo classificadas com boas. As demais, estão enquadradas entre águas boas e passíveis, havendo duas exceções no que diz respeito ao cloreto e nitrato em que foram enquadradas como medíocres. Tal observação pode ser reforçada na tabela 6 ao analisar os resultados desses poços comparando a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (MS) e a Resolução nº 396/08 do CONAMA.

Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos dos poços utilizados para consumo humano.

Parâmetros	Am 8	Am 12	Am 14	Am 18	Am 21	Am 24	Am 25	Am 31	Am 32	Resolução nº 05/2017 - VMP ¹	Resolução nº 396/08 CONAMA
Cloretos mgCl/L	5,00	12,00	467,70	145,20	36,10	24,00	137,20	29,00	305,50	250,0	≥ 250,0
Dureza total mg CaCO ₃ /L	10,00	10,00	591,50	78,20	80,20	2,00	174,40	84,20	270,70	500,0	**
Cálcio mg/L	0,80	0,80	112,30	16,00	15,20	0,00	44,90	17,60	92,20	*	**
Ferro total mgFe/L	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	≥ 0,30
Nitratos mgNNO ³ /L	0,30	0,40	12,80	0,70	0,30	0,30	0,30	1,50	6,70	10,0	≥ 10,0
Nitritos mgNNO ² /L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,0	≥ 1,0
pH a 25°C	7,69	6,52	6,94	6,47	7,85	7,28	7,13	7,41	7,48	6,0 a 9,5	**
Amônia (mgNNH ₃ /L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1,50	**
Sulfatos mg (SO ₂ ⁻⁴ /L)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,40	5,00	47,50	250,0	≥ 250,0
Sódio (Na ⁺ /L)	23,80	19,40	54,10	80,50	94,70	27,70	67,10	19,90	192,70	200,0	≥ 200,0
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	104,60	83,20	779,60	322,20	455,10	90,70	428,20	187,70	918,10	1000,0	≥ 1000,0
Turbidez (NTU)	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	5,0	**
Condutividade (µS/cm) 25°C	186,00	148,00	1.386,00	573,00	809,00	161,00	761,00	334,00	1.632,00	*	**
Magnésio mg Mg ⁺² /L	1,90	1,90	75,50	9,30	10,20	1,90	15,10	73,10	21,90	*	**
Bicarbonatos mg HCO ⁻³ /L	68,10	43,80	51,10	63,30	287,20	34,10	150,90	99,80	260,40	*	**
Potássio mg K ⁺ /L	0,90	0,70	2,00	3,00	3,60	1,00	2,50	10,20	7,30	*	**

(1) - Valor Máximo Permitido.

* Valores não estabelecidos pela Resolução nº 05/2017 do Ministério da Saúde

** Valores não estabelecidos pela Resolução nº 396/2008 do CONAMA

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

No que é apresentado, a amostra 14 que representa o poço comunitário, cuja localidade é próxima ao lixão revela concentração de cloreto e nitrato acima do permitido pelo CONAMA para o consumo humano, bem como a cacimba que abastece a cidade de Russas apresenta concentrações de cloreto acima do permitido.

Para além do consumo humano, os poços têm por finalidade a irrigação de áreas

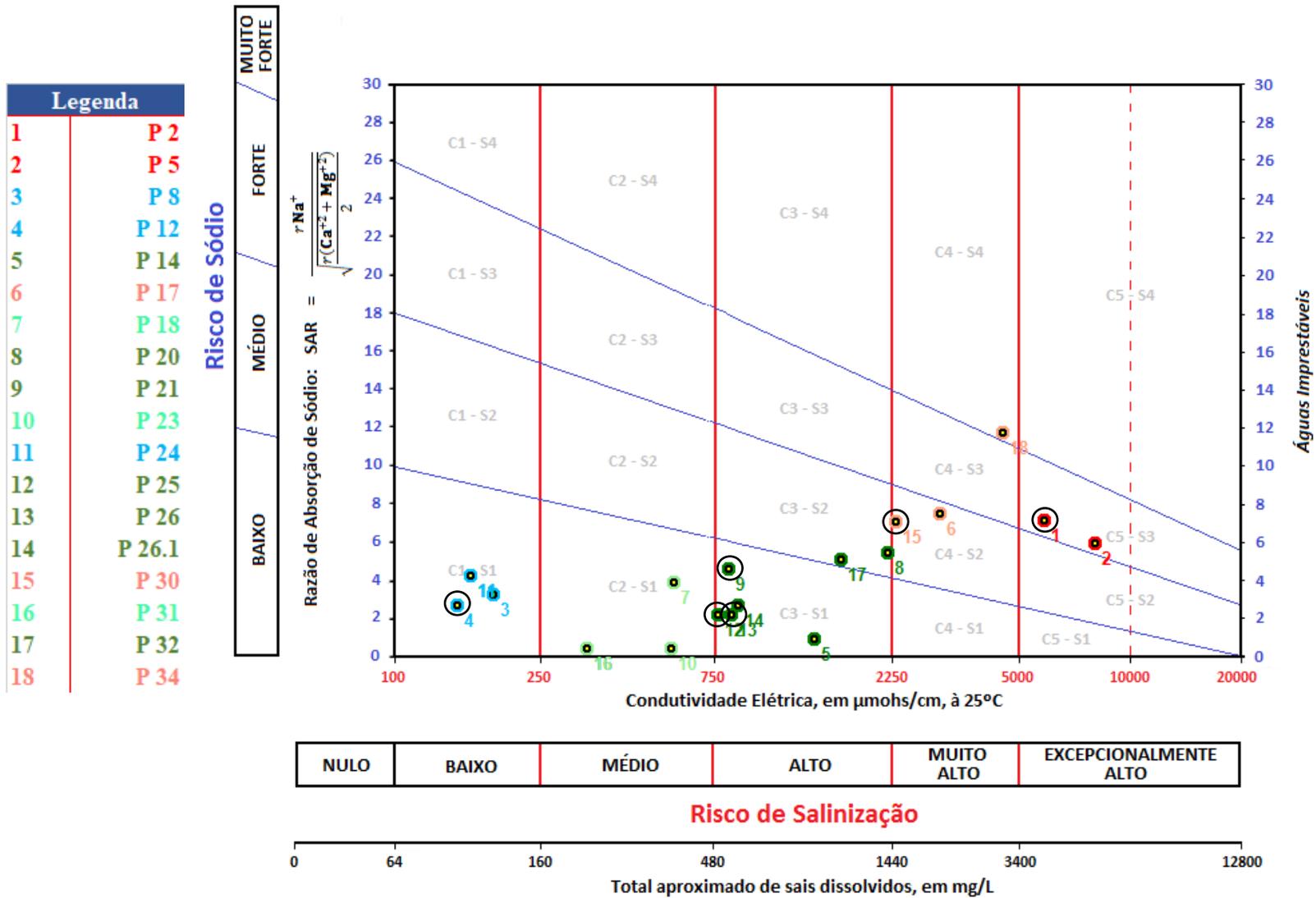
agrícolas tanto para venda como para subsidência, com exceção de um poço cuja água é muito salina para tal uso. Os padrões de qualidade da água utilizados na irrigação são considerados simples, uma vez que os parâmetros a serem analisados são menores. A água é determinada pela concentração de íons, como sódio, cloreto, potássio, sulfato e borato, e parâmetros como sais dissolvidos, condutividade elétrica, e concentração total de cátions, que influenciam no crescimento da espécie vegetal. (SANTOS, 2000).

Desse modo, foi elaborado o Diagrama USSL a fim de realizar a classificação das águas quanto aos riscos de sodificação e salinização. A classificação do risco de salinização no software é realizada dentro dos seguintes intervalos: C0 (nulo), C1 (baixo), C2 (médio), C3 (alto), C4 (muito alto) e C5 (excepcionalmente alto). Enquanto o risco de sódio são S1 (baixo), S2 (médio), S3 (forte) e S4 (muito forte).

As amostras analisadas para irrigação representadas na Figura 23, mostra que os pontos 2, 5, 17, 20, 30 e 34 apresenta de médio a alto risco de sódio e as demais apresentam-se fracamente sódicas, e risco de salinização muito elevada. Dos 6 poços destinados a irrigação (Tabela 7) que estão circulados no diagrama, apenas um possui baixo risco de salinização, e os demais apresentam risco de salinização de alta a excepcionalmente alto, sendo considerada imprópria para irrigação.

Segundo a resolução do CONAMA nº 396/08 para águas destinadas a irrigação, 2 poços apresentam cloreto acima do permitido para os íons de Cl⁻, os demais valores não são estabelecidos pelo CONAMA (Tabela 7). Portanto, apesar dos cuidados com solo, essencialmente os bem drenados, devem-se tomar precauções quanto a salinização, em que apenas vegetais de alta tolerância salina deve ser cultivada.

Figura 23 – Classificação das Águas para Irrigação.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Tabela 7 – Parâmetros analisados para Irrigação

Parâmetros	Am 2A	Am 12	Am21	Am 25	Am26	Am 30	Res.396/08
Cloretos mgCl/L	1.652,50	12,00	36,10	137,20	181,30	736,10	100,0-700,0
Dureza total mg CaCO ₃ /L	1.403,50	10,00	80,20	174,40	204,50	531,30	*
Cálcio mg/L	232,60	0,80	15,20	44,90	42,50	92,20	*
Ferro total mgFe/L	0,10	0,10	0,10	0,10	1,90	0,10	≤ 5,0
Nitratos mgNNO ³⁻ /L	9,90	0,40	0,30	0,30	0,50	7,90	*
Nitritos mgNNO ²⁻ /L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	≤ 1,0
pH a 25°C	7,16	6,52	7,85	7,13	7,12	7,04	*
Amônia (mgNNH ₃ /L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	*
Sulfatos mg (SO ₂ ⁻⁴ /L)	5,00	5,00	5,00	6,40	9,40	5,00	*
Sódio (Na ⁺ /L)	620,30	19,40	94,70	67,10	72,70	269,30	*
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	3.285,30	83,20	455,10	428,20	465,40	1.297,10	*
Turbidez (NTU)	0,10	0,10	0,10	0,10	18,70	0,50	*
Condutividade (µS/cm) 25°C	5.841,00	148,00	809,00	761,00	827,00	2.306,00	*
Magnésio mg Mg ⁺² /L	199,80	1,90	10,20	15,10	23,90	9,70	*
Bicarbonatos mg HCO ⁻³ /L	542,80	43,80	287,20	150,90	126,60	104,70	*
Potássio mg K ⁺ /L	23,40	0,70	3,60	2,50	2,70	0,80	*

* valores não estabelecidos pela Resolução nº 396/08 Conama

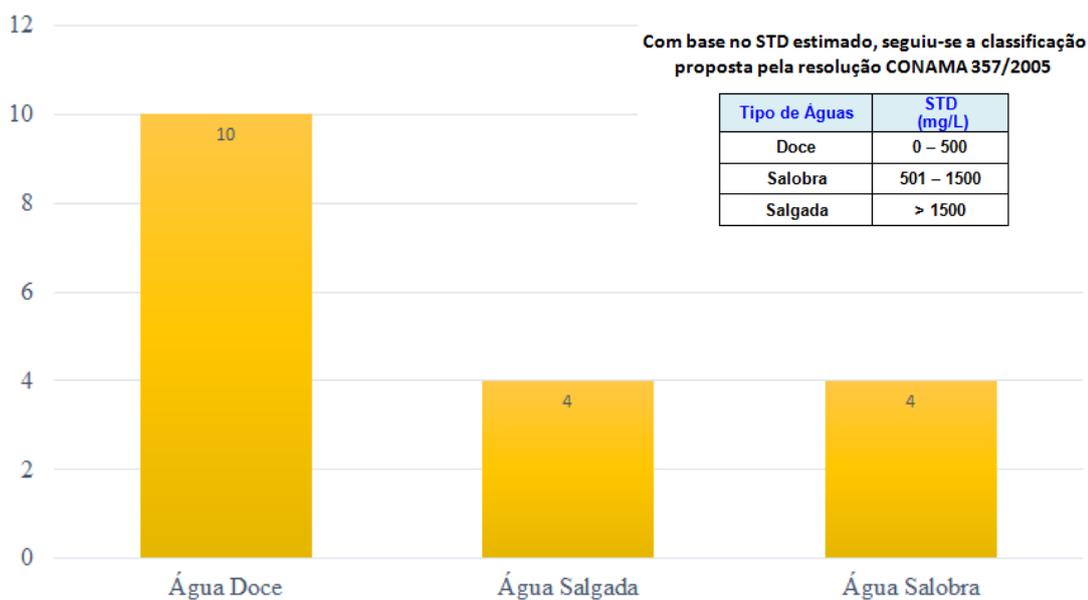
Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Para os parâmetros físicos das águas das amostras analisadas, os valores de pH a 25°C variam de 6,47 a 8,2, como mostrado na tabela 5 e em média é de 7,27, portanto são consideradas naturais, pois enquadram-se no grupo levemente alcalino, com variação de pH 7,0 e 8,5, cuja finalidade pode ser tanto para irrigação como para beber (TEXEIRA, Z. A. *et al.*, 2001). Foi efetuada a classificação de salinidade das águas com base nos valores de Sólidos Dissolvidos Estimados e seguindo a classificação proposta pela Resolução 357/2005 do CONAMA. Essa análise mostrou que os pontos 14, 20, 30 e 32 possuem águas salobras, sendo que o ponto 14 e 32 são destinados para consumo humano. Os pontos 2, 5, 17 e 34, dentre os quais o poço 2 é destinado a irrigação. Os demais poços foram classificados como tendo água doce (Gráfico 5).

O padrão de condutividade elétrica (CE) não é estabelecido na portaria do ministério da saúde, porém apresenta o valor máximo permitido de 1000 mg/L para os sólidos totais dissolvidos em água potável, portanto, água que apresentar valores menores de 200µS/cm na medição da condutividade elétrica, indica que pode ser potável e apresenta baixa concentração de sólidos dissolvidos. De acordo com Sperling (2005), as águas naturais

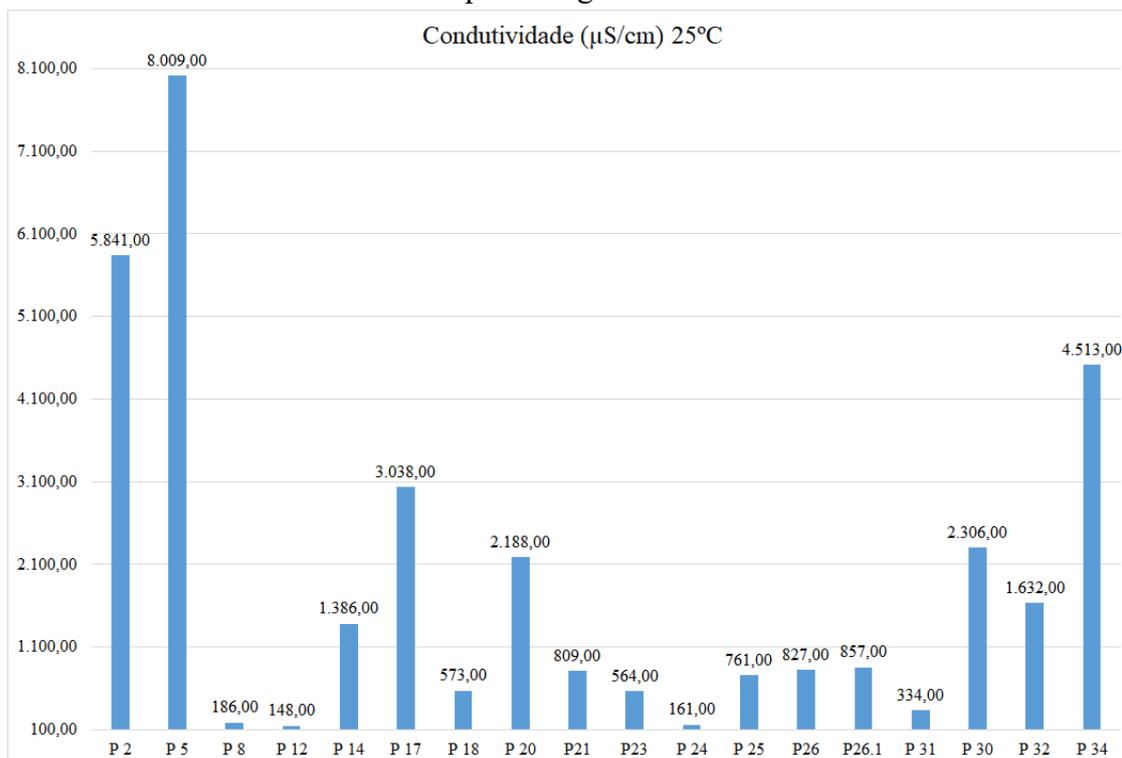
apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Dentro dos resultados obtidos para as 18 amostras, apenas 3 amostras estão dentro do aceitável (Gráfico 6).

Gráfico 5 – Classificação em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Gráfico 6 – Condutividade elétrica para as águas da área estudada.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

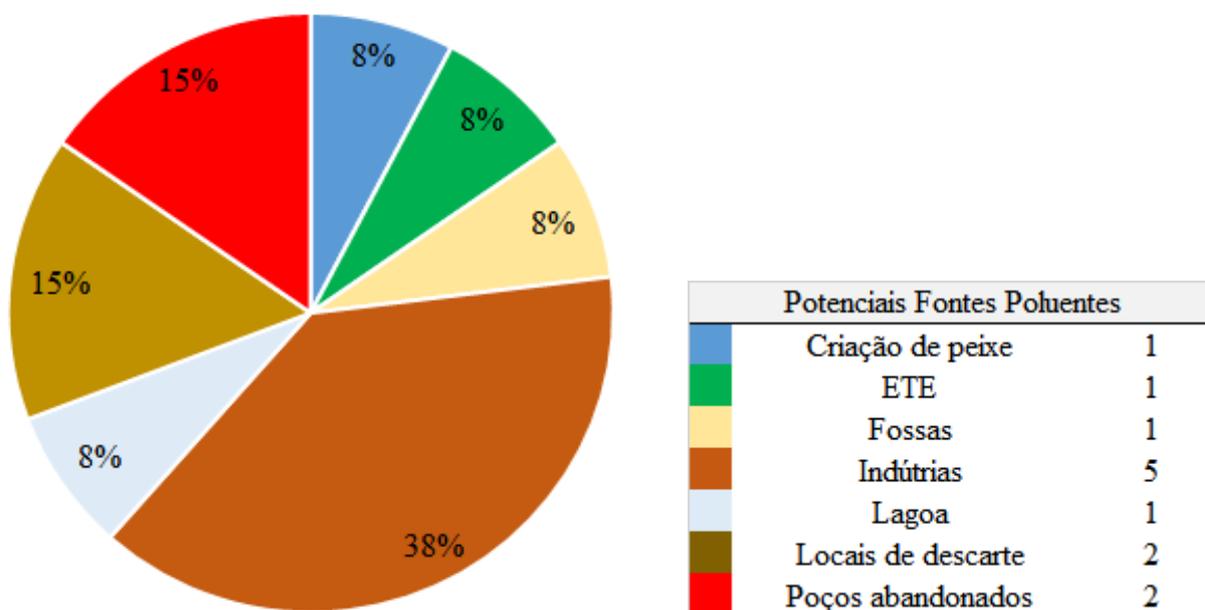
O maior valor está localizado no Lote pertencente ao perímetro irrigado do Tabuleiro de Russas na porção mais a norte, ponto 5, em que o bombeamento da água esteve parado até o dia da coleta por ser uma água bastante salobra e não a usarem, este fato pode estar a contribuir para a maior concentração de íons cátions encontrados nessa água.

5.4 Possíveis fonte poluentes

É notório o risco de contaminação em águas superficiais, no entanto, tal situação não isenta águas subterrâneas de terem o mesmo fim, embora sejam confinadas em subsuperfície. Os elementos presentes no solo são carreados pela lixiviação e à medida que a água infiltra pelos poros, estes são distribuídos por todo aquífero a ponto de contaminá-lo. As fontes poluentes geralmente estão associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros sanitários que contaminam os lençóis freáticos com microrganismos patogênicos e metais pesados. O processo de recuperação da água subterrânea requer tempo. Vale ressaltar que a construção fora dos padrões técnicos e a falta manutenção de poços tubulares acabam por influenciar na ocorrência de contaminação.

Dentro do caminhamento planejado em campo, foi possível observar diferentes tipos de potenciais fontes poluentes conforme mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7 – Potenciais fontes poluentes observadas em campo.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Nesse contexto e a partir dos resultados obtidos, o poço que mais se evidenciou está localizado em Alto do São João. Trata-se de um poço comunitário construído pela prefeitura há mais de 20 anos e não possui dessalinizador, sua finalidade segundo os moradores é principalmente o abastecimento doméstico. Embora a água destinada ao consumo humano seja recebida da CAGECE, em momentos de falta de água, a população utiliza a água do poço para beber (Figura 24).

Figura 24 – Poço comunitário em Alto do São João (Ponto 14, Coord. UTM-24S: 611290 E / 9453689 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Observou-se em campo que a comunidade apresenta um precário serviço de saneamento básico com descartes inadequados de esgotos domésticos (Figura 25). Próximo a comunidade existe o lixão da cidade que passa por processo de queima constantemente. O acesso ao lixão é aberto, onde há muitos porcos, urubus, galinhas, bem como pessoas que fazem coleta de material reciclável (Figura 26). Essas condições resultam no aumento da vulnerabilidade do aquífero local em função da infiltração de fossas negras, chorumes provenientes do lixão, fezes de animais acarretando na contaminação do aquífero.

Figura 25 – Esgoto a céu aberto das residências na localidade de Alto do São João.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Figura 26 – Lixão da cidade com presença dos animais no fundo (Ponto 15, Coord. UTM-24S: 610894 E / 9453776 N).



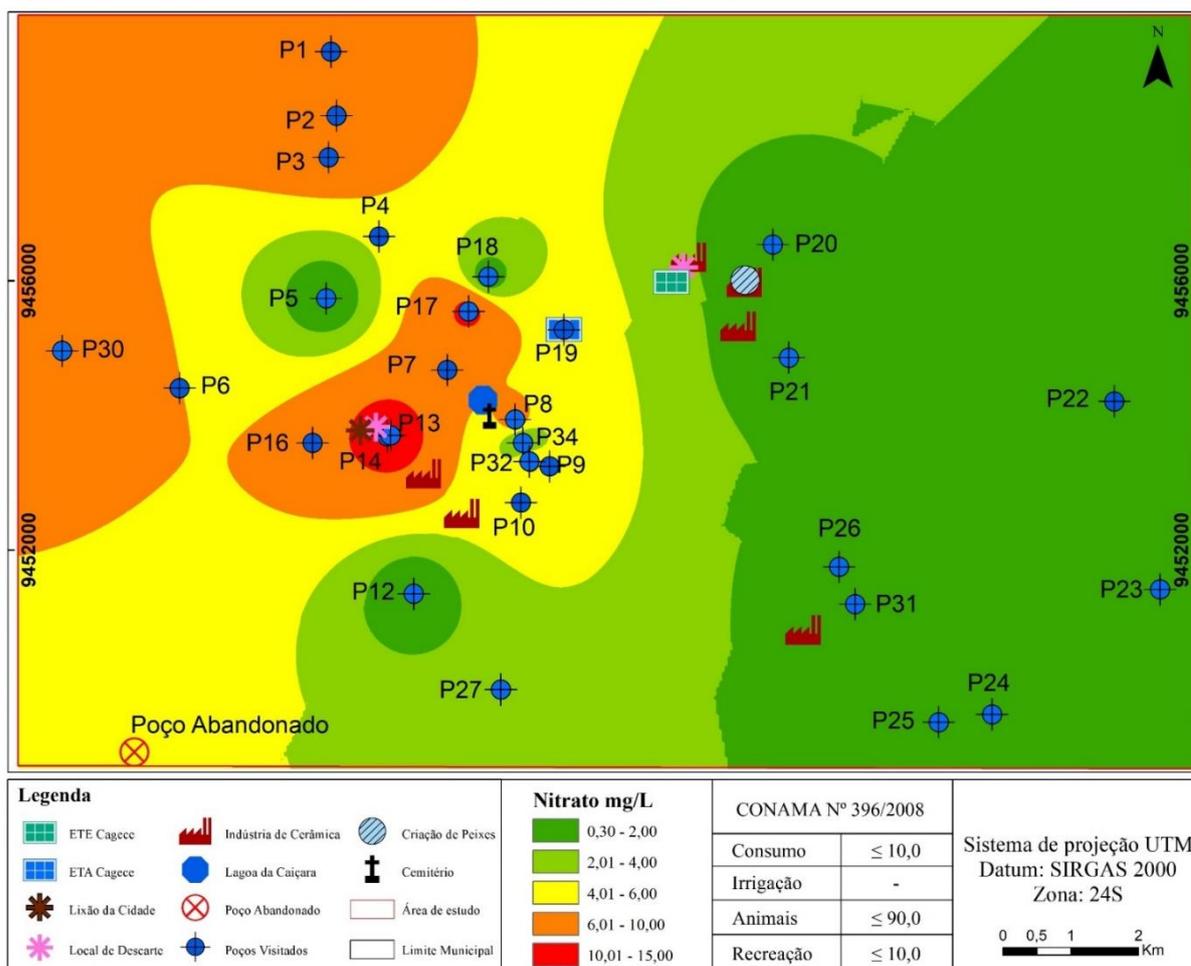
Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Como apresentado nos resultados do ponto 14 e observando o mapa na Figura 27, as águas apresentam concentrações nitrato acima do valor permitido pelo CONAMA (10 mg/L). O íon nitrato, NO_3^- , como poluente, pode ocorrer em aquíferos de zonas rurais e periferias urbanas. O surgimento de nitrato em águas subterrâneas pode ocorrer de forma natural quando ocorre a percolação da água nas rochas existentes que contém minerais que se dissolvem facilmente e na forma antrópica através de aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica, vale ressaltar que o nitrato é extremamente solúvel a

água, consequentemente podendo alcançar extensas áreas e permanecer durante décadas no ambiente (BAIRD *et al.*, 2011).

Tendo em conta a geologia presente na área de estudo, os valores de concentração de nitrato e respetiva distribuição espacial, a sua origem será de carácter antropogénico e não geogénico e, provavelmente, resulta de uma combinação das características já mencionadas.

Figura 27 – Mapa da distribuição espacial de nitrato nos poços visitados.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

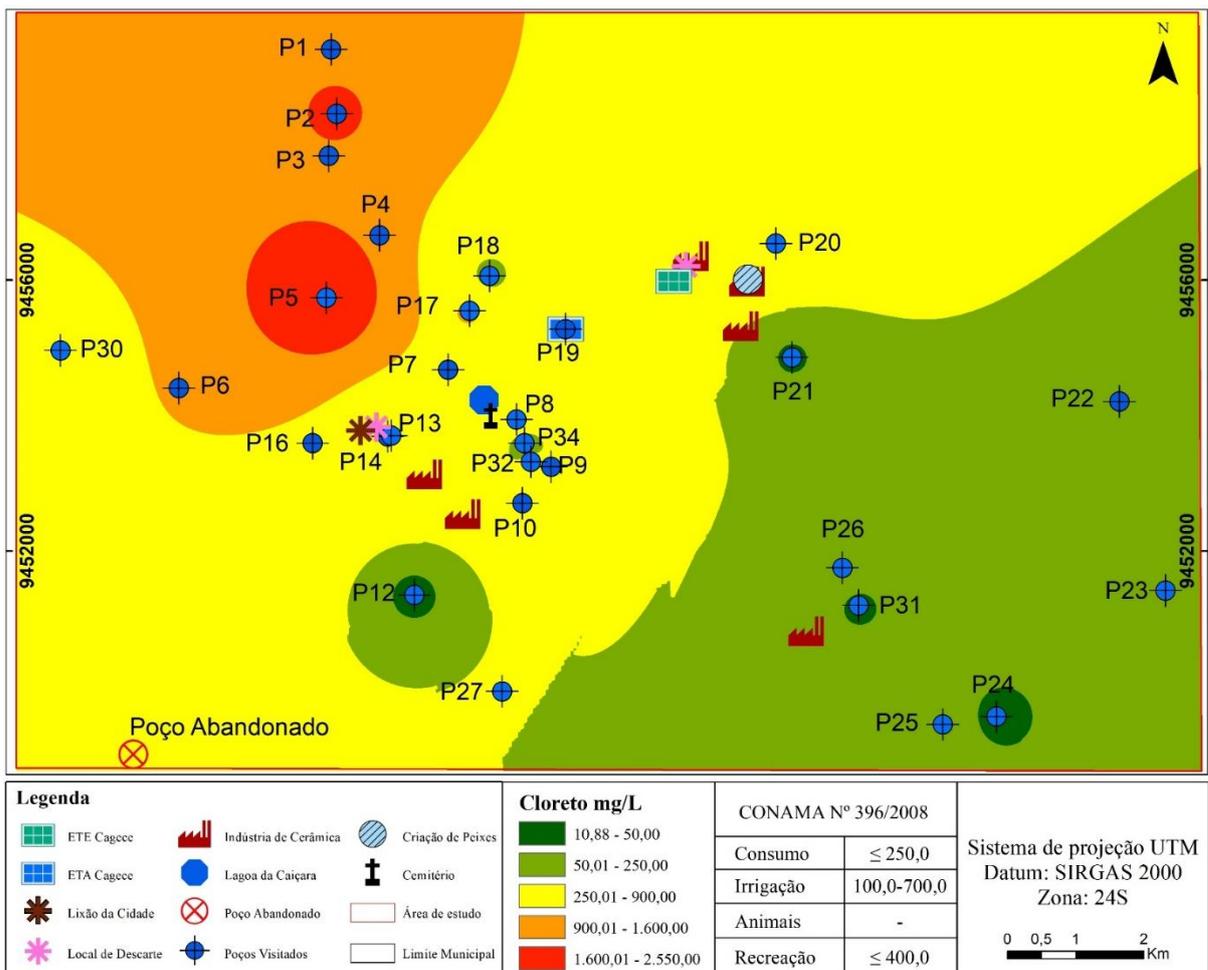
A distribuição de água à cidade de Russas é efetuada com o apoio de caminhões pipa (Figura 28). A coleta dessa água é efetuada numa cacimba da região (Ponto 32), cuja água é considerada potável para o efeito, apesar de apresentar níveis de cloreto para consumo humano acima do estabelecido pelo CONAMA (250 mg/L). Na área de estudo, apenas a cacimba e o poço comunitário de Alto do São João, apresentam concentrações de cloreto acima do estabelecido pelo CONAMA, tal como se pode constatar pela distribuição espacial (Figura 29).

Figura 28 – Cacimba antiga no centro da cidade (A) abastecendo caminhões pipa (B) (Ponto 32, Coord. UTM-24S: 613389 E / 9453315 N).



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Figura 29 – Mapa da distribuição espacial de cloreto nos poços visitados.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

De modo geral, os 18 poços que tiveram águas coletadas foram interpretados dentro dos valores permitidos na resolução do CONAMA nº 396/2008. Assim, pode-se perceber que para o consumo humano, existem 8 poços com valores acima do permitido para cloreto (Tabela 5 e Figura 29), porém, dentro do que foi constatado em campo, apenas dois deles são destinados para tal finalidade, poços 14 e 32.

A presença do cloreto em águas naturais pode ser um reflexo da dissolução de minerais, intrusão de água do mar ou pela mistura, recente ou remota, com águas residuárias de origem doméstica, industrial e/ou de irrigação (BRAGA *et al.*, 2005). A presença de cloreto pode indicar contaminação em aquífero por parte do descarte inadequado de esgotos domésticos e para mananciais próximos a aterros sanitários e lixões, como foi observado em campo. O aumento de cloro na água também pode estar relacionado aos processos de tratamento de água, como foi relatado no poço comunitário de Alto do São João. Outro fator que pode contribuir para o aumento do teor de cloreto é a pluviosidade, a região do semiárido sertanejo, o qual o município de Russas está integrado, possui pouca influência da chuva, o que não favorece o processo de lixiviação dos sais, implicando, dessa forma, maiores concentrações de cloreto.

No que diz respeito às águas destinadas a irrigação, segundo a resolução do CONAMA nº 396/08, cinco poços apresentados na tabela 5 apresentam cloreto acima do permitido, pontos 2, 5, 17, 30, 34. O ponto 34 está no centro da cidade de Russas, próximo a cemitério e a lagoa do Caiçaras que recebe efluentes de fossas, resíduos doméstico o que o torna poluído. Os pontos 5 e 30 com altas concentrações de cloreto estão mais próximos a áreas de cultivo da porção mais a norte do Tabuleiro de Russas, bem evidenciados no mapa de uso e cobertura do solo (Apêndice D). Apesar do ponto 17 não está próximo a fontes poluentes, ele está situado no estabelecimento da Perícia Forense de Russas, o qual usam a água para lavar os cadáveres, talvez o descarte da água no solo após a lavagem dos corpos influencie nessa concentração tanto para nitrato e como para cloreto, pois trata-se de uma anomalia pontual.

Geralmente a irrigação lança no solo uma quantidade de água maior do que a necessária para a evaporação e transpiração. Este excesso de água carrega materiais diversos do solo até os lençóis freáticos. Entre estes materiais estão os produtos utilizados na agricultura como fertilizantes e pesticidas (NETO, 1997). Há então, um conseqüente aumento da salinidade e contaminação do solo e da água.

A partir dos dados de análise química obtidos no SIAGAS, percebe-se que para o ano de 1999 os poços apresentavam teores muito elevados para cloreto, talvez possa estar relacionado ao crescimento da agricultura que teve seu início em 1998. Nos dias de hoje, a

atuação da agricultura vem sido reduzida devido à seca e a inviabilização de poços em função da alta salinidade, o que explica vários poços abandonados ao longo do perímetro irrigado. Enquanto os valores de nitrato para o mesmo ano são elevados e podem estar associados ao uso de fertilizantes. Atualmente, os responsáveis do Tabuleiro de Russas relataram a não utilização de componentes químicos na plantação, o que pode ter contribuído para diminuição de nitrato na água.

Ademais, os pontos 5, 20, 26 e 26.1 mostrou nas análises teores de ferro acima do permitido pelo CONAMA. Essa concentração pode estar associada as unidades do Grupo Barreiras por apresentarem nódulos ou concreções ferruginosas em sua litologia que favorece a produção de água com teores elevados de ferro. No entanto, outros fatores precisam ser considerados para uma melhor compreensão da origem do ferro, além de ter nota das características construtivas dos poços. Os últimos pontos são da mesma localidade, onde a água do poço que vai para caixa d'água passa por um cano de ferro (ponto 26.1). Apesar da água passar por um filtro, o processo de filtragem provavelmente não esteja ocorrendo de forma eficiente, o que pode contribuir com a concentração de ferro na água, como foi evidenciado em campo, em que a água que sai da torneira é mais turva com coloração mais avermelhada em relação a amostra bruta (ponto 26).

5.5 Efeito das águas sob a saúde da população

Em termos de resultados de elementos que possam causar danos à saúde pública, os valores encontrados em poços para abastecimento humano na cidade, apenas um apresentou valores acima do permitido pelo CONAMA para nitrato e dois apresentaram teores altos para cloreto, como já abordado neste trabalho.

A ingestão é a principal forma de exposição do nitrato para população seja através da água, alimentos, bebidas e/ou medicamentos que contêm nitrato e / ou nitrito naturalmente ou como conservante adicionado. Além disso, o nitrato pode ser absorvido pelas plantas, especialmente vegetais, como alface e espinafre e beterrabas, que representam cerca de 80% do nitrato em uma dieta humana típica (ATSDR, 2017). O consumo de água de poços com concentrações relativamente altas de nitrato, a exemplo do poço em Alto do São João, combinado com a ingestão de nitratos da dieta, pode resultar em superexposição ao nitrato em alguns indivíduos.

A toxicidade do nitrato está relacionada principalmente a sua conversão em nitrito que ocorre no organismo humano, assim o nitrito pode causar problemas na saúde Humana devido a sua capacidade de oxidar diretamente a hemoglobina consequentemente 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 metahemoglobina, comumente conhecida como “síndrome do bebê azul”, onde o bebê sofre interrupções na sua respiração e em adultos. 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 de rim, câncer de testículo e linfoma não-Hodgkin (ATSDR, 2017).

O cloreto, por sua vez, não é prejudicial aos seres humanos, mesmo em concentrações razoáveis. Porém, acima de 250 mg/L conferem 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 (VALENTE, 2006).

As informações de saúde coletadas neste trabalho não permitem estabelecer uma relação de causalidade entre os valores encontrados nas águas coletadas e as estatísticas apresentadas no capítulo 3.2 deste trabalho. Para tal, trabalhos mais aprofundados junto das comunidades abastecidas para além dos seus hábitos alimentares seriam de suma importância. No entanto, não seria totalmente despropositado aceitar uma potencial relação entre os valores encontrados nos pontos que maior número de habitantes abastece e casos de diarreia e até hipertensão mencionados pela população durante o trabalho de campo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os resultados obtidos são bastante conclusivos para o cumprimento do objetivo geral deste trabalho, pois as análises dos parâmetros físico-químicos permitiram a caracterização da qualidade das águas subterrâneas no município de Russas destinadas tanto ao consumo humano como a irrigação, além de uma avaliação temporal da geoquímica das águas e as possíveis fontes poluentes. Os pontos de coleta visaram uma melhor distribuição espacial possível de modo a indicar as fontes poluentes que influenciam na potabilidade da água. Sendo assim, pode-se concluir que:

- a) No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas da área de estudo em sua maioria são Cloretadas Sódicas segundo indicação do diagrama de Piper;
- b) No que concerne à avaliação das águas para irrigação verifica-se que as águas possuem risco de sódio que varia de baixo a médio, e salinidade elevada, o que implica em medidas cautelosas quanto ao uso do solo para cultivo;
- c) Sete amostras de poços destinados ao consumo humano apresentam potabilidade da água no município de Russas dentro do padrão determinado pela resolução do CONAMA, com exceção do poço comunitário de Alto do São João e a cacimba do centro da cidade, ambos apresentaram elevadas concentrações de cloreto;
- d) O parâmetro nitratos, o qual permite identificar agentes patogênicos causadores de doenças, mostrou-se elevado no poço de Alto do São João que pode estar relacionado a falta de saneamento básico e ao lixão próximo ao local;
- e) O parâmetro pH apresenta-se favoravelmente à potabilidade da água, com índices satisfatórios nos poços;

Como foi comprovado, existem poços abandonados que podem acabar contribuindo para a contaminação da água, seria necessária uma proteção para esses mesmos poços, vale ressaltar também a precariedade apresentada por alguns dos poços que estão em funcionamento, mas que mesmo assim não têm a necessária manutenção e atenção. Uma outra problemática é o chorume que infiltra no solo e pode atingir o aquífero, consequência do descarte inadequado de resíduos sólidos em lixões. Durante a execução do estudo percebeu-se que há uma lacuna de estudos sistemáticos sobre os aquíferos em um contexto regional e uma limitação a qualidade da água na região.

Embora seja fundamental as análises físico-químicas para caracterização das águas, é importante ressaltar que a avaliação dos efeitos da contaminação na saúde humana exige constantes pesquisas com maior número de medições e informações da situação ambiental e de saúde no município visando maior entendimento nos resultados o que não foi possível de ser realizado no presente estudo. Portanto, recomenda-se um estudo mais aprofundando, com análises de metais pesados para caracterização da qualidade da água da região, além de campanhas de coleta em períodos chuvosos e períodos de estiagem para fins comparativos. O cadastro dos poços, a construção dos perfis e suas respectivas profundidades são de suma importância para auxiliar no estudo, a escassez dos dados acaba dificultando a realização do desenvolvimento do diagnóstico, como exemplo, a ausência de um mapa de fluxo no estudo que poderia determinar a direção que a água subterrânea percorre se deve a esta problemática. Uma das estratégias para proteção da água subterrânea é o controle do uso e cobertura do solo, por meio da restrição e fiscalização das atividades antrópicas.

7 REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. L. P. 2007. **Microorganismos indicadores de qualidade de água**. 2007. Monografia (Pós-graduação em Microbiologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- ARAUJO, M. E. **Estudo Geomorfológico do extremo Sul do Litoral da Paraíba**. 142f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 1993.
- ATSDR, U. S. *Agency for toxic substances and disease registry*. **Toxic Substances Portal - Nitrate and Nitrite**. 2017. Disponível em < <https://www.atsdr.cdc.gov/>>. Acesso em 20 de nov de 2019.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos de irrigação e drenagem 29 Revisado 1. 2ª Ed. Campina Grande, UFPB. 1999. 153p.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na pequena empresa agrícola – impacto ambiental versus sustentabilidade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 418p.
- BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010. 84 p.
- BORGES, A. N. **Implicações ambientais na bacia hidrográfica do rio Pitimbú (RN) decorrentes das diversas formas de uso e ocupação do solo**. Natal: UFRN, 2002.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERWZA, J. C.; BARROS, M. T. L.; **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo, SP: Escrituras, 2005. 748 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.
- BRASIL. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. 2014.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia; geomorfologia; pedologia; vegetação e uso potencial da terra. Rio Janeiro, 1981.
- CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas - orientação aos usuários**. Rio de Janeiro:

SEMADS/SEINPE, 2001. ISBN 85-87206-11-7.

CARVALHO, F. M.; BARRETO, M.L.; SILVANY-NETO, A. M.; WALDRON, H. A.; TAVARES, T. M. *Multiple causes of anaemia amongst children living near a lead smelter in Brazil. Science of the Total Environment*, v. 35, n. 1, p. 71-84, 1984.

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, Natal, 183 p. 1999.

CAVALCANTE, J. C. et al. **Mapa geológico do estado do Ceará.** Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos.** Fortaleza: INESP, 104p, 2009.

CEARÁ. Plano Estadual de Saúde 2016-2019. **Secretaria da Saúde.** Fortaleza – CE, 2016.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará – PERH,** 2018.

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. *Environmental Pathology. In: SELINUS, O. Essentials of Medical Geology: Revised Edition, Springer Science: Business Media Dordrecht,* 2013. DOI: http://10.1007/978-94-007-4375-5_25

CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem.** Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 44. 2009.

COELHO, P.F.C. **Análises Socioeconômicas do Vale do Jaguaribe 2017.** Disponível em <<http://www.campusrussas.ufc.br/docs/An%C3%A1lisesValedoJagaribeeMunic%C3%ADpio.s.pdf>>. Acesso em: 07 de nov de 2019.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L., D., M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do Estado do Ceará, Brasil. **Semana: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180. 2012.

CPRM. **Atlas digital dos recursos hídricos subterrâneos do Estado do Ceará.** Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1988. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgi-lua.exe/sys/start.htm?sid=36;infol=588>>. Acesso em: 2 mai. 2015.

CPRM. **Avaliação das potencialidades hídrica e mineral do médio-baixo Jaguaribe – Ce.** Programa de gestão e administração territorial – GATE. Fortaleza, 1996.

CPRM. **Mapa do Domínio/Subdomínio Hidrogeológico do Brasil.** Coordenação Geral: Frederico Cláudio Peixinho e Luís Fernando C. Bomfim. CPRM. Alterado em: 09/08/2007.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil, Diretoria de Hidrogeologia, Gestão Territorial,

Programa de Água Subterrânea Para o Semiárido Brasileiro. Recife, 2002.

CUNHA, F. G. 2003. **Contaminação humana e ambiental por chumbo no vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil.** Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. Ministério da Saúde. 2010.

DATAVIVA. **Indústrias em Russas (2017).** Disponível em: <http://dataviva.info/pt/tree_map/rais/industry_class/jobs?count=establishment;id_ibge=2311801>. Acesso em: 07 nov 2019.

DNPM. **Projeto organização e formalização das atividades de extração de argila no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará.** Fortaleza, 2013.

DRUSCH, M. *et al.* Sentinel-2: *ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services.* **Remote sensing of Environment**, v. 120, p. 25-36, 2012.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnoquímica.** Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575p. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000400006>

EL ATILLAH, A.; EL MORJANI, Z. E. A.; SOUHASSOU, M. Use of the Sentinel-2A Multispectral Image for Litho-Structural and Alteration Mapping in Al Glo'a Map Sheet (1/50,000) (Bou Azzer–El Graara Inlier, Central Anti-Atlas, Morocco). **Artificial Satellites**, v. 54, n. 3, p. 73–96, 1 set. 2019.

FEITOSA, F. A. C.; VASCONCELOS, A. M. **Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará: Diagnóstico do Município de Russas.** Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1988.

FERREIRA PINTO, M. C. Manual medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. **CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>.** Acessado em, v. 30, n. 06, p. 2010, 2007.

FIGUEIREDO, B. R. A Contaminação ambiental e humana por chumbo no vale do Ribeira (SP-PR). **Revista Eletrônica Com Ciência SBPC/Labjor**, Campinas, v. 71, 2005.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'EDLIA, M.; PARIS, M.; **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies, The World Bank:** Washington, 2002.

FRIZZO, S. J. Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2006. **Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – PGAGEM.**

FUNCEME. **Calendário de chuvas no Ceará.** 2019. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/>>. Acesso em: 20 out 2019

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes**

urbanas no município de Piracicaba-SP. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GOMES, D.F. **Estudo hidroquímico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe.** Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará - UFC. 218p. 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010.** Estados, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 2013a. (Séries Manuais Técnicos em Geociências; n. 3).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste.** 2013b.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000.** IBGE, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama de Russas. **Área da Unidade Territorial.** IBGE, 2018. Disponível em: <
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/russas/panorama>>. Acesso em: 24 out 2019.

INESP – Instituto de Estudos e Pesquisas para o desenvolvimento do Estado do Ceará. **Cenário Atual dos Recursos Hídricos do Ceará.** Fortaleza, 2008. 174p.

IPECE. **Perfil básico municipal de Russas.** 2017.

KAUANO, E. E.; PASSOS, E. Análise do uso da terra em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio da gama, Tijucas do Sul, Paraná. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 181-190, 2008.

LICHT, O. B. 2001. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil.** Tese de Doutorado, Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LÔNDERO, E.; GARCIA, C. Sovergs. **Site Higienistas**, 2010. Disponível em: <
<http://www.sovergs.com.br/site/higienistas/trabalhos/10474.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2019.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R. P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B. F.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. *Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil.* **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 181-190, 2000

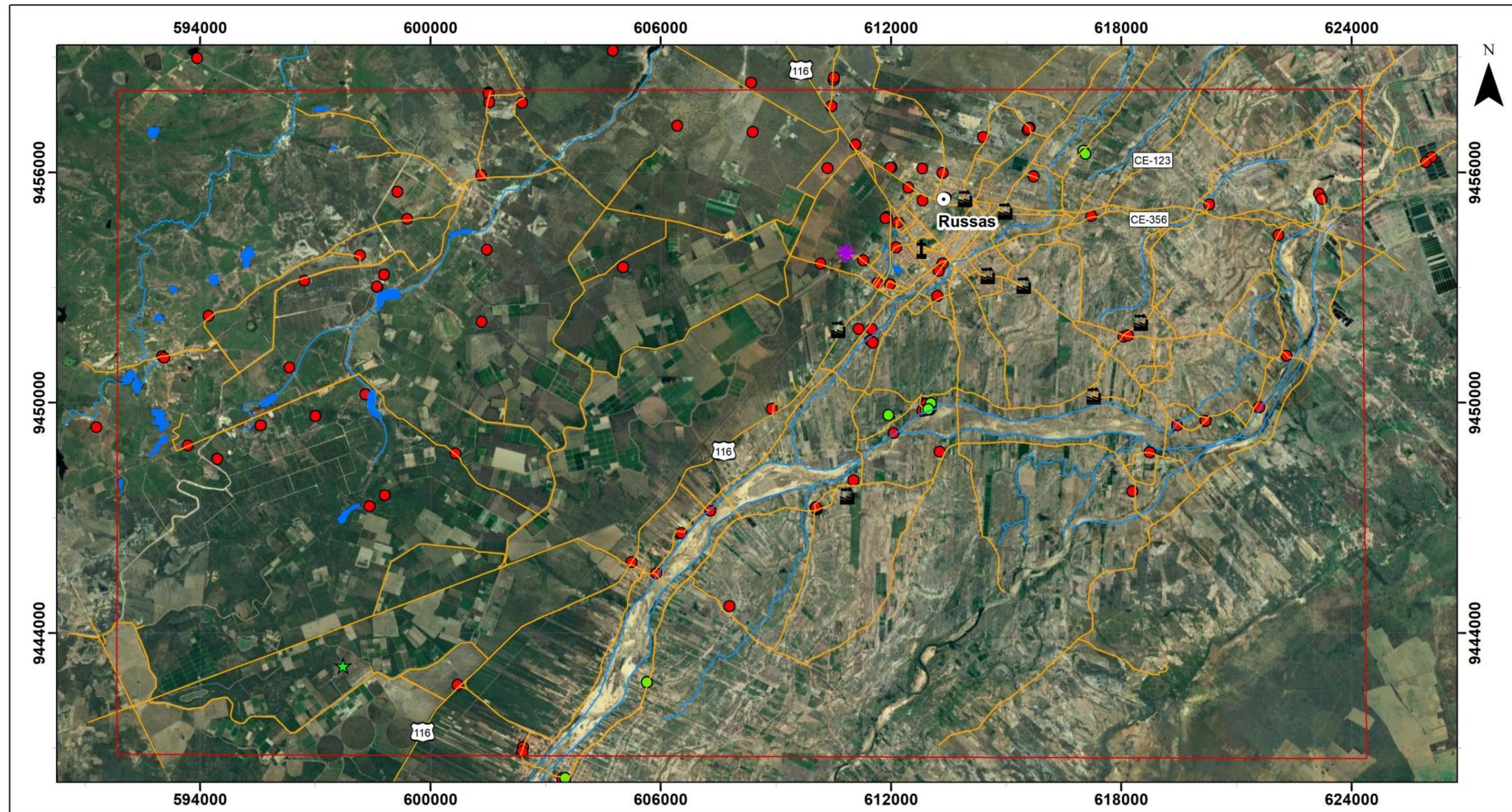
MOBUS, G. Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos–FUNCEME.** Fortaleza, 2003.

- MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama-Distrito Federal. **Química nova**, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.
- NETO, R. B. Bactérias do inferno, **Folha de São Paulo**, São Paulo, p.5-16, 9 de nov., 1997.
- OLIVEIRA, F. B. **Degradação do meio físico e implicações ambientais na Bacia do Rio Jaguaribe –João Pessoa –PB**. 2001. 93f. Dissertação (Mestrado) –Pós-Graduação em Geociências, CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001
- PAOLIELLO, M. M. B. 2002. **Exposição humana ao chumbo e cádmio em áreas de mineração, vale do Ribeira, Brasil**. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Médicas, UNICAMP, Campinas, 2002.
- QUESADO Jr., N. **Avaliação de parâmetros físicos e hidrodinâmicos dos aquíferos do município de Fortaleza, Estado do Ceará**. Monografia de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e de Infraestrutura Hidráulica. Universidade Federal do Ceará. p.62. 2008.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. B.; TUNDISI, José Galizia. **Água doce no mundo e no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. ISBN 8586303410.
- SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A.c.; FILHO, João Manoel (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. Fortaleza: Cprm, 2000. Cap. 15. p. 3-390.
- SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. D. C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em microbacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 256-285, abril 2011.
- SELINUS, O.; ALLOWAY, B.; CENTENO, J.A.; FINKELMAN, R.B.; FUGE, R.; LINDH, U.; SINGH, H.; SMEDLEY, P. **Essentials of Medical Geology**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.
- SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M. **Geologia médica no Brasil**. In: SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M.; CUNHA, F.G. Geologia médica no Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 2, p. 6-14, 2006.
- SOUSA, J.S.F.O; COSTA, C. D. M.; REBOUÇAS, I. S.; SALGUEIRO, A. R. Caracterização Preliminar das Regionais de Saúde do Ceará com Base na Geologia Médica. **Encontros Universitários da UFC**, v. 3, n. 1, p. 1103.
- SOUSA, J.S.F.O, GADELHA, A.A.M.; SALGUEIRO, A.R (2019). **Estudo Preliminar de Geologia Médica na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará**.
- SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 2005.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. *Characteristic Variations in Reflectance of Surface Soils 1*. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1161-1165, 1981.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

VALENTE, M. D. S. **Manual prático de análise de água**. 2. ed. Brasília: FUNASA, 2006.
VELASQUEZ, L. N. M.; FANTINEL, L. M.; FERREIRA, E. F.; CASTILLO, L. S.;
UHLEIN, A.; VARGAS, A. M. D.; ARANHA, P. R. A. **Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil**. *In*:
SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M.; CUNHA, F.G. Geologia médica no Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 17, p. 110-117, 2006.

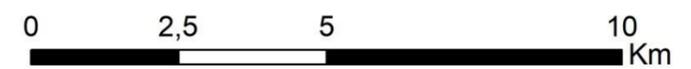
APÊNDICE A – MAPA PRÉ-CAMPO



Legenda

- | | | | | | | | |
|--|-------------------|--|-------------------------|--|------------------|--|----------------|
| | Cidade | | Indústrias de Cerâmicas | | Drenagem | | Corpos d'água |
| | Poços Cagece | | Tabuleiro de Russas | | Estradas | | Área de Estudo |
| | Poços Cadastrados | | Lixão | | Limite Municipal | | |

Autoras: Amanda Aragão Moraes Gadelha
Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa



Sistema de Coordenada Geográfica: WGS84
Sistema de Projeção: UTM
Zona: 24S

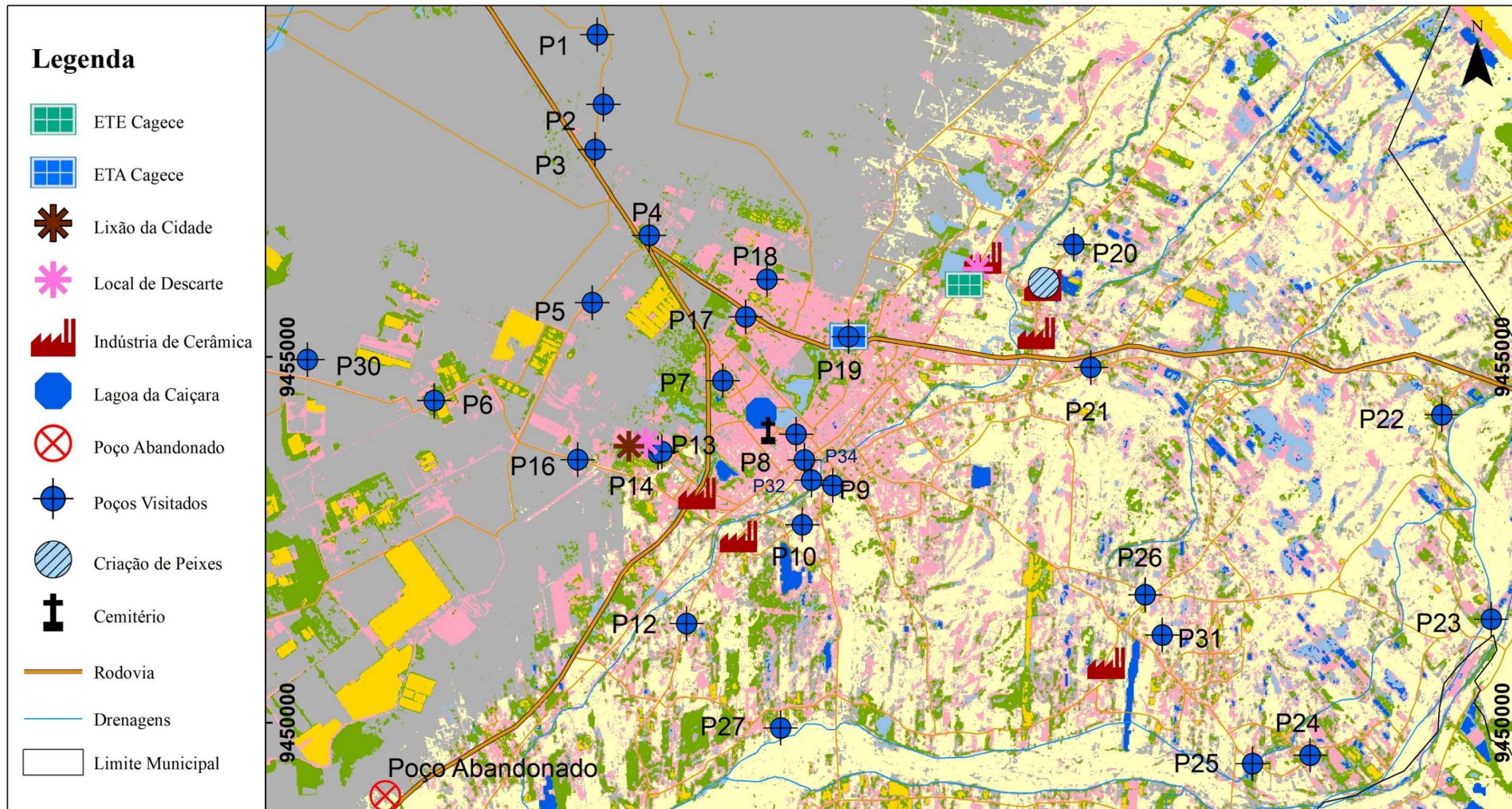
APÊNDICE B – TABELA DE PONTOS LEVANTADOS EM CAMPO

Ponto	Tipo	Localidade	UTM	
			East	North
1	Poço 1	Sítio Coaçu	610458,0517	9459403,987
2	Poço 2	Sítio Coaçu	610539,1377	9458450,441
3	Poço 3	Sítio Coaçu	610424,7792	9457831,06
4	Poço 4	Sítio Coaçu	611166,9646	9456657,847
5	Poço 5	Fazenda pertencente ao perímetro irrigado do Tabuleiro de Russas	610388,1778	9455739,525
6	Poço 6	Lote 344 - Tabuleiro de Russas - porção Norte	608224,8764	9454403,022
7	Poço 7		612176,3467	9454675,392
8	Poço 8	Cidade de Russas	613291,7171	9453590,02
9	Poço 9	UFC-Russas	613683,9227	9453241,496
10	Poço 10	Secretaria de Agricultura - Russas	613264,522	9452705,725
11	Indústria de cerâmica		612389,207	9452543,112
12	Poço 12	Pitombeira	611681,0942	9451352,623
13	Esgoto a céu aberto	Alto do São João	611669,9888	9453166,524
14	P13	Alto do São João	611290,0141	9453688,921
15	Poço 14	Alto do São João	611341,0446	9453705,538
16	Lixão da Cidade	Alto do São João	610894,0779	9453776,193
17	Poço 16	Comunidade Aeroporto	610188,1553	9453592,071
18	Poço 17	Perícia Florence de Russas	612487,2542	9455544,329
19	Poço 18	Tabuleiro do Catavento	612779,8876	9456059,958
20	ETA Cagece		613896,8487	9455275,511
21	Poço 19 - Desativado	Torão	613896,8487	9455275,511
22	Indústria de cerâmica		615736,6629	9456349,035
23	Entulho de cerâmicas		615663,0178	9456196,471
24	ETE Cagece		615478,056	9455980,953
25	Indústria de cerâmica	Bonsucesso	616468,5605	9455320,593
26	Indústria de cerâmica	Bonsucesso	616556,4213	9455979,374
27	Criação de Peixes		616569,5555	9456010,862
28	Poço 20	Bonsucesso	616979,7784	9456536,688
29	Poço 21		617214,9717	9454857,174
30	Poço 22		622016,9113	9454208,271
31	Poço 23	Canal do Rio Jaguaribe	622693,4231	9451413,211
32	Poço 24		620214,2916	9449555,841
33	Poço 25	Posto de Onça	619425,987	9449442,041
34	Poço 26	Ingá	617956,1401	9451748,556
35	Indústria de cerâmica		617424,5242	9450812,655
36	Poço 27	Pedro Ribeiro	612966,8553	9449926,032
37	Cultivo de Banana		602753,3551	9447036,627
38	Poço abandonado		607558,3306	9448999,659
39	Poço 30	Tabuleiro de Russas - Lote 361	606490,724	9454960,634
40	Poço 31	Ingá	618192,3149	9451197,046
41	P32 - Cacimba	Centro de Russas - Rua 25 de Agosto	613389,4247	9453315,249
42	Lagoa de Caiçara	Centro de Russas	612700,1422	9454229,055
43	Poço 34	Centro de Russas - Pousada Freire	613176,6076	9453941,876

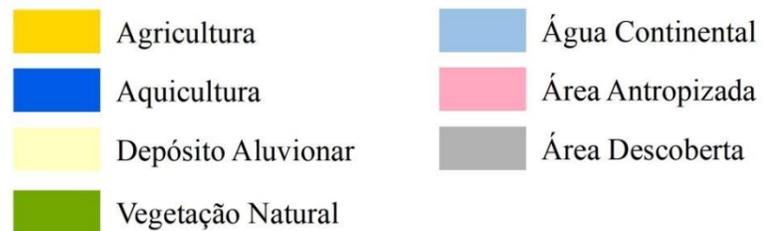
APÊNDICE C – RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS ANALISADOS

RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS ANALISADOS																		
Parâmetros	Am 2A	Am 5A	Am 8.2	Am 12	Am 14	Am 17	Am 18	Am 20	Am21	Am23	Am 24	Am 25	Am26	Am26.1	Am 30	Am 31	Am 32	Am 34
Cloretos mgCl ⁻ /L	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	1.403,50	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
Cálcio mg/L	232,60	401,00	0,80	0,80	112,30	144,40	16,00	96,20	15,20	57,70	0,00	44,90	42,50	42,50	92,20	17,60	72,20	52,10
Ferro total mgFe/L	0,10	0,60	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	2,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,90	2,60	0,10	0,10	0,10	0,10
Nitratos mgNNO ³⁻ /L	9,90	0,30	0,30	0,40	12,80	11,10	0,70	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50	7,90	1,50	6,70	7,40
Nitritos mgNNO ²⁻ /L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
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)	0,05	0,20	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sulfatos mg (SO ₄ ⁻² /L)	5,00	9,20	5,00	5,00	5,00	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)	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
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	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 (µS/cm) 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 ⁺² /L	199,80	355,70	1,90	1,90	75,50	46,30	9,30	46,70	10,20	15,10	1,90	15,10	23,90	19,60	9,70	73,10	21,90	102,30
Bicarbonatos mg HCO ⁻³ /L	542,80	516,00	68,10	43,80	51,10	116,80	63,30	155,80	287,20	116,80	34,10	150,90	126,60	126,60	104,70	99,80	260,40	259,40
Potássio mg K ⁺ /L	23,40	25,60	0,90	0,70	2,00	15,40	3,00	9,90	3,60	0,50	1,00	2,50	2,70	3,20	0,80	10,20	7,30	24,10

APÊNDICE D – MAPA DE PONTOS LEVANTADOS EM CAMPO



Uso e Ocupação do Solo



INSTITUIÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

ALUNAS

Amanda Aragão Moraes Gadelha
Joyce Shantala Fernandes de Oliveira Sousa

ESCALA



PROJEÇÃO E DATUM

UTM - ZONA 24S/ SIRGAS 2000