



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

MATEUS PESSOA CAMINHA

**CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

MOSSORÓ

2022

MATEUS PESSOA CAMINHA

**CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho

MOSSORÓ

2022

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C(183 Caminha, Mateus Pessoa.
)c Classificação de qualidade da água para
irrigação em microbacia hidrográfica em condições
semiáridas / Mateus Pessoa Caminha. - 2022.
44 f. : il.

Orientador: Luis César de Aquino Lemos Filho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2022.

1. Irrigação. 2. Salinidade. 3. Estatística
multivariada. I. Lemos Filho, Luis César de
Aquino, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

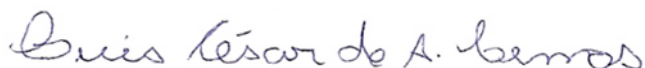
MATEUS PESSOA CAMINHA

**CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 18/06/2022.

BANCA EXAMINADORA



Luis César de Aquino Lemos Filho, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Raimundo Fernandes de Oliveira Júnior, Dr. (ECOSAFETY)
Membro Examinador



Larissa Luana Nicodemos Ferreira, Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

*À minha família, em especial aos meus pais Solerne
Caminha Costa e Cristine Pessoa Caminha e meu
irmão Vitor Pessoa Caminha por todo o apoio dado
durante essa caminhada*

(presntes)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar toda essa caminhada durante o período da graduação e por ter me dado bastante força para o desenvolvimento deste presente trabalho.

Agradeço a toda minha família por me darem bastante conselhos e mostrar a importância do trabalho árduo e da dedicação para ter sucesso em nossas vidas.

Agradeço a todos os membros do grupo de pesquisa RENAS pelo trabalho de pesquisa em equipe durante esses anos e por me fazerem ter um conhecimento ainda mais amplo sobre o manejo de solo e água.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho por ter me dado a oportunidade de trabalhar em seu grupo de pesquisa durante esses anos e por transmitir apoio e conhecimentos que foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental pelos ensinamentos e dicas que serão muito importantes no futuro profissional.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semiárido pela formação acadêmica no curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

RESUMO

A qualidade da água é um dos fatores mais importantes a longo prazo para a agricultura irrigada. O uso de águas salinas para a irrigação é um risco para a produção agrícola, visto que os altos níveis de sais prejudicam o desenvolvimento das culturas e causam obstrução aos sistemas de irrigação. O objetivo deste trabalho é classificar a água da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica para irrigação através do índice de qualidade da água para irrigação (WQI) que considera a interação da salinidade e sodicidade do solo com a toxicidade, facilitando a avaliação e mitigação dos problemas causados ao solo e às plantas. As coletas de água foram realizadas em cinco pontos ao longo da microbacia hidrográfica estudada. Os pontos coletados foram: (N) corresponde à fonte de água da nascente (N) localizada no Portal Bica a 620 m de altitude; (B) localizado no trecho de água corrente, à jusante da nascente, logo após o banho da bica (B); (AC) localizado antes da Cachoeira do Pinga (AC); (C) localizado logo após a Cachoeira do Pinga (C), local onde há acúmulo de água formado pela queda d'água e presença diária de visitantes e (R) foi locado no curso inferior do Riacho da Bica (R). As coletas de água foram realizadas em 15 campanhas entre os anos de 2016 e 2018. Para a determinação do WQI foram avaliados 10 parâmetros: condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), sódio (Na^+), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), cloreto (Cl^-), bicarbonato (HCO_3^-), dureza e razão de adsorção de sódio (RAS). Para determinação do WQI, o estudo se dividiu em duas partes: primeiramente foi realizada a estatística multivariada e através da Análise Fatorial (AF) e Análise de Componentes Principais (ACP), foram encontrados os autovalores para cada fator e as cargas fatoriais de cada parâmetro. Logo após, foi determinado os valores de medição de qualidade (q_i) e pesos de agregação (w_i). Os valores de q_i foram estimados de acordo com os critérios estabelecidos pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia - UCCC e por Ayers e Westcot (1999). Os cálculos foram desenvolvidos através do modelo proposto por Meireles et al. (2010). Os resultados de WQI para os cinco pontos coletados mostra que a água dos referidos pontos não possuem restrição para utilização para fins de irrigação, pois possuem baixa probabilidade de causar salinização e sodificação dos solos, bem como não traz risco de toxicidade às plantas.

Palavras-chave: irrigação; salinidade; estatística multivariada.

ABSTRACT

Water quality is one of the most important long-term factors for irrigated agriculture. The use of saline water for irrigation is a risk to agricultural production, as high levels of salts impair crop development and obstruct irrigation systems. The objective of this work is to classify the water of the Riacho da Bica watershed for irrigation through the irrigation water quality index (WQI), which considers the interaction of soil salinity and sodicity with toxicity, facilitating the assessment and mitigation of problems caused to soil and plants. Water collections were carried out at five points along the watershed studied. The points collected were: (N) corresponds to the spring water source (N) located in Portal Bica at 620 m height; (B) located in the stream of running water, downstream from the spring, right after the spout bath (B); (AC) located before Cachoeira do Pinga (AC); (C) located just after Cachoeira do Pinga (C), where there is accumulation of water formed by the waterfall and the daily presence of visitors and (R) was located in the lower course of the Riacho da Bica (R). Water collections were carried out in 15 campaigns between 2016 and 2018. To determine the WQI, 10 parameters were evaluated: electrical conductivity (EC), hydrogenic potential (pH), sodium (Na^+), potassium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), carbonate (CO_3^{2-}), chloride (Cl^-), bicarbonate (HCO_3^-), hardness and sodium adsorption ratio (RAS). To determine the WQI, the study was divided into two parts: first, multivariate statistics were performed and, through Factor Analysis (FA) and Principal Component Analysis (PCA), the eigenvalues for each factor and the factor loadings of each parameter were found. Soon after, the quality measurement values (q_i) and aggregation weights (w_i) were determined. The q_i values were estimated according to the criteria established by the Committee of Consultants of the University of California - UCCC and by Ayers and Westcot (1999). The calculations were developed using the model proposed by Meireles et al. (2010). The WQI results for the five points collected show that the water from these points has no restriction for use for irrigation purposes, as it has a low probability of causing salinization and sodification of the soils, as well as it does not pose a risk of toxicity to plants.

Keywords: irrigation; salinity; multivariate statistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa de reconhecimento dos solos do município de Portalegre-RN (Mapa de solos adaptado para a classificação de solos da EMBRAPA 2013)	16
Figura 2	–	Mapa de reconhecimento dos solos do município de Viçosa-RN (Mapa de solos adaptado para a classificação de solos da EMBRAPA 2013)	17
Figura 3	–	Localização e hidrografia da microbacia do Riacho da Bica	23
Figura 4	–	Mapa de localização das nascentes dos municípios de Portalegre e Martins.....	24
Figura 5	–	Curvas de nível e mapeamento hidrogeodinâmico da microbacia hidrográfica	25
Figura 6	–	Distribuição dos pontos amostrais	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Média de precipitação entre os anos de 2005 e 2018 para o município de Portalegre-RN	20
Tabela 2	– Média de precipitação entre os anos de 2005 e 2018 para o município de Viçosa-RN.	20
Tabela 3	– Valores limite de parâmetros para cálculo de medição de qualidade (qi)	29
Tabela 4	– Valores médio, mínimo e máximo dos indicadores de qualidade de água para irrigação de cada ponto de coleta.	29
Tabela 5	– Matriz de correlação entre as variáveis dos indicadores de qualidade de água para irrigação na nascente e riacho da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica em Portalegre/RN	33
Tabela 6	– Eixos fatoriais extraídos para qualidade de água para irrigação e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada	34
Tabela 7	– Valores de qi para cada parâmetro em cada ponto de coleta	36
Tabela 8	– Valores de wi para cada parâmetro em cada ponto de coleta	36
Tabela 9	– Valores de WQI calculados para cada ponto de coleta.	37
Tabela 10	– Classes de WQI e recomendações para utilização da água para irrigação	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1	Escassez de água no semiárido	14
3.2	Caracterização da bacia hidrográfica	15
3.2.1	Geologia e Geomorfologia	15
3.2.2	Solos	15
3.2.3	Vegetação	18
3.2.4	Clima	19
3.2.5	Indicadores de qualidade da água para irrigação	21
3.3	Análise estatística multivariada aplicada a qualidade de água.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	Modelo de Estudo	23
4.2	Área de Estudo	23
4.3	Distribuição dos pontos amostrais	25
4.4	Procedimentos de coleta e análise da água	26
4.5	Procedimentos para determinação do WQI	28
4.6	Estatística multivariada	30
4.6.1	Análise de componentes principais	31
4.6.2	Análise Fatorial	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (ACP/AF)	32
5.2	Aplicação do Índice de Qualidade da Água – WQI	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está incluído entre os países de maior reserva de água doce, com 13,8% do deflúvio médio mundial e uma disponibilidade hídrica per capita variando de 1.835 m³/hab./ano, na bacia hidrográfica do Atlântico Leste, a 628.938 m³/hab./ano, na bacia Amazônica (BRITO; SILVA; PORTO, 2007).

A disponibilidade de água é de fato extremamente desigual, opondo a região Norte, a melhor dotada, ao Nordeste, cujo interior é marcado por um clima semiárido, ao qual se agrega o solo permeável, que provoca a frequente intermitência dos rios. A presença de grandes aquíferos subterrâneos atenua esse déficit, mas apenas parcialmente (THÉRY; DE MELLO-THÉRY, 2015). Assunção e Bursztyn (apud Botelho et al., 2007, p. 59) identificaram que 68,5% da água disponível no Brasil situa-se na Amazônia e 15,7% no Centro-Oeste, as regiões menos povoadas, enquanto nas três regiões mais povoadas, o Sul tem apenas 6,5%, o Sudeste 6% e o Nordeste 3,3 % dos recursos hídricos.

Os processos hidrológicos são fortemente afetados pelo estado do clima local e pelas limitações hídricas; longos períodos de seca fazem com que rios e córregos perenes mudem para sazonais. Além disso, a capacidade de absorção de água do solo no Semiárido é baixa devido ao relevo variado e solos rasos e pedregosos. A presença de solos cristalinos limita o acesso às águas dos aquíferos subterrâneos, que ficam armazenados em fraturas de rochas, mas apresentam, no entanto, baixa qualidade (RIBEIRO; OLIVEIRA, 2019).

A baixa disponibilidade de água superficial no Semiárido Nordestino faz com que muitos produtores rurais utilizem água dos aquíferos subterrâneos e estas são consideradas salinas, sendo que sua utilização inadequada juntamente com a expansão das áreas agrícolas pode ocasionar a salinização e sodificação dos solos.

A agricultura irrigada depende da quantidade e qualidade da água. A qualidade da água é um dos fatores mais importantes a longo prazo, e o uso de águas salinas para irrigação pode ser um risco para a produção agrícola (AYERS; WESTCOT, 1999). Altos níveis de sal na água de irrigação são prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e causam obstruções aos sistemas de irrigação (GARCIA et al., 2008).

A qualidade da água para fins agrícolas é classificada com base na concentração de alguns íons, como sódio, potássio, cloretos e sulfatos, e outros parâmetros, como sólidos dissolvidos e condutividade elétrica, considerando os riscos de salinização do solo, sodificação, alcalinização e toxicidade risco às plantas (BARROSO et al., 2011).

De acordo com Almeida (2010), os atributos mais comuns utilizados para análise de qualidade de água utilizada para irrigação (QWI) são: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e sais totais dissolvidos, incluindo os íons sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^+), magnésio (Mg^+), cloreto (Cl^-), sulfatos (SO_4^+), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3).

O monitoramento da qualidade de água para irrigação é de grande importância para a agricultura, pois caso o manejo da irrigação seja feita de forma inadequada, pode ocasionar a redução do crescimento das plantas, pois o excesso de sais reduz o potencial osmótico, afetando a produtividade, e também pode acontecer impactos na estrutura dos solos devido a acumulação de altas taxas de sódio.

A análise estatística multivariada possibilita uma interpretação do processo de indicadores de qualidade da água com menor complexidade e auxilia na tomada de decisão, minimizando custos com análises laboratoriais e coletas de dados (GOMÉZ et al., 2013).

Parâmetros para avaliação de possível precipitação de sais, indução à salinidade e sodicidade devido às práticas de irrigação são utilizados para classificar a água para irrigação. No entanto, não está disponível uma classificação da qualidade da água que considere a interação tanto da salinidade quanto da sodicidade do solo com o risco de toxicidade. (MEIRELES et al., 2010).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Classificar a água da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica para irrigação através do índice de qualidade da água para irrigação (WQI) que considera a interação da salinidade e sodicidade do solo com a toxicidade, facilitando a avaliação e mitigação dos problemas causados ao solo e às plantas.

2.2 Objetivos específicos

1. Utilizar a estatística multivariada para descrever os parâmetros físicos e químicos que influenciam na qualidade da água da microbacia do Riacho da Bica;

2. Verificar às restrições da água quanto à sua utilização para irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Escassez hídrica no semiárido

O semiárido brasileiro possui médias pluviométricas entre 400 e 800 mm por ano, sendo distribuído de forma irregular durante o ano e as taxas de evaporação em "tanques Classe A", que variam entre 1.000 e 3.000 mm por ano, mostrando que não chove pouco, e sim que evapora muito, indicando que a necessidade de gestão dos recursos hídricos disponíveis é urgente, no sentido de atender todas as necessidades antrópicas (CAMPOS et al., 2008; MODARRES & SILVA, 2007; RUBIN et al., 2006).

O semiárido nordestino tem como característica a irregularidade e escassez de precipitações pluviométricas anuais, e isso é a principal causa das problemáticas regionais. A hidrologia é totalmente dependente do ritmo climático. As secas são caracterizadas tanto pela ausência e escassez quanto pela alta variabilidade espacial e temporal das chuvas. A limitação hídrica ocorre, anualmente, devido ao longo período seco que leva à desperenização dos rios e riachos endógenos (BRASIL, 2016).

Um outro ponto que agrava a escassez hídrica são o relevo alterado e os solos rasos e pedregosos, pois dificultam a absorção da água da chuva no solo. A presença de solos cristalinos limita o acesso à água existente nos aquíferos subterrâneos (RIBEIRO & OLIVEIRA, 2019).

Quando se tem acesso à água acumulada nesses aquíferos, por meio de poços de baixa profundidade, verifica-se uma qualidade inferior da água para consumo humano e animal e para irrigação da lavoura, devido à alta concentração de sais minerais (água salobra) originada das fissuras das rochas. Dessa forma, os diagnósticos apontam para a insuficiência da oferta hídrica no atendimento à demanda para abastecimento humano e atividades produtivas (ALVES, 2019).

Os problemas da escassez hídrica não pode ser analisada apenas por conta das limitações climáticas da região. Também deve-se levar em consideração a degradação das nascentes e dos reservatórios naturais, do desmatamento da caatinga, da poluição e assoreamento dos mananciais e pela evaporação da água nos grandes reservatórios. Da mesma forma, os solos rasos, ondulados e pedregosos também correm riscos de perda da fertilidade,

devido às erosões provocadas pelas enxurradas, pelo intenso uso de agrotóxicos, pelas técnicas não apropriadas de manejo do solo e pela retirada da vegetação natural (ALVES, 2019).

3.2 Caracterização da bacia hidrográfica

3.2.1 Geologia e Geomorfologia

A área estudada está em uma região que possui altitudes entre 186 e 660 m, localizada na formação geológica da serra de Martins. Está situada na Depressão Sertaneja - terrenos baixos situados entre as partes altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi. O Planalto da Borborema é composto por terrenos antigos formados pelas rochas Pré-Cambrianas como o granito, onde se encontram as serras e os picos mais altos (CPRM, 2005).

A microbacia do Riacho da Bica está situada predominantemente sobre a Formação Serrana do Martins, de Idade Terciária Inferior, 60 milhões de anos, com arenitos, arenitos caulínicos, conglomerados e siltitos, que apresentam espessura em torno de 30 m. Estes sedimentos geomorfologicamente constituem uma superfície tabular erosiva que é caracterizada por relevo residual de topo plano testemunho de superfície de erosão, geralmente limitada por escarpas erosivas, com diferentes níveis altimétricos, na realidade, restos de uma cobertura sedimentar outrora muito mais extensa que foi quase completamente erodida. Nas cotas mais baixas, encontram-se os paragnaisses com biotita da Formação Jucurutu, com idade do Pré-cambriano médio (aproximadamente 1.000 milhões de anos), juntamente com suítes de augen gnaisses granitóides com biotita (CPRM, 2005).

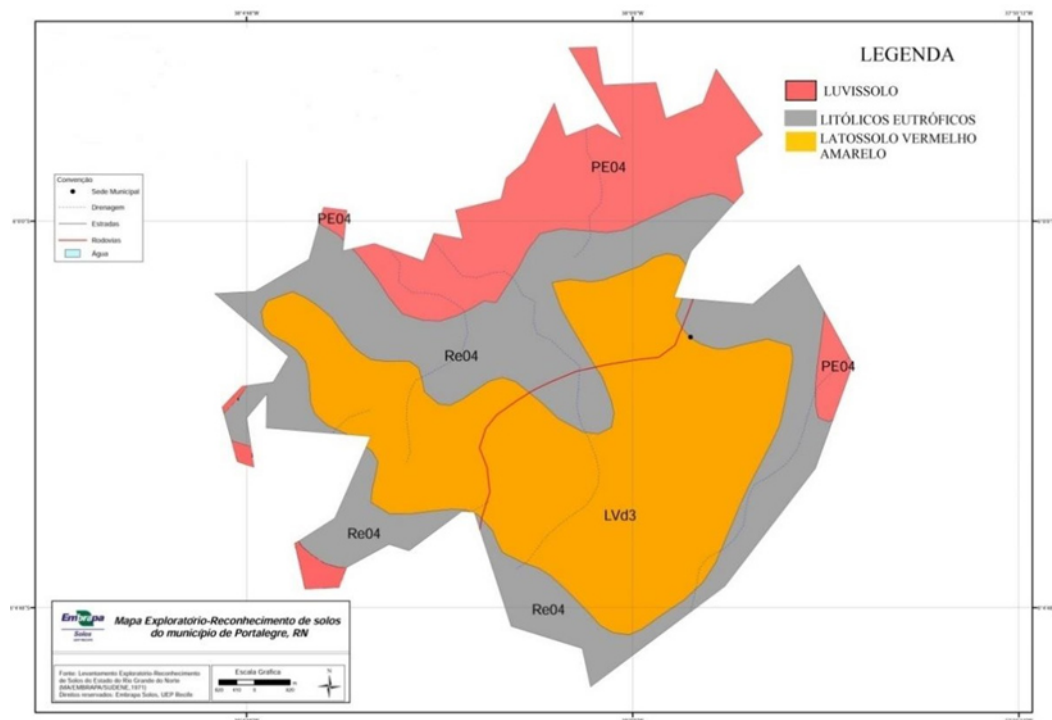
O município de Portalegre está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológico Fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares da Formação Serra dos Martins. O Domínio Fissural é composto por rochas do embasamento cristalino que englobam o subdomínio rochas metamórficas constituído do Complexo Jaguaretama e o subdomínio rochas ígneas da Suíte calcialcalina Itaporanga (CPRM, 2005).

3.2.2 Solos

A área estudada possui solos advindos da Formação da Serra do Martins que são associados aos platôs residuais do Cenozóicos, ao qual tinha como embasamento os morros testemunhos de antigas superfícies de erosão (IDEMA, 2008).

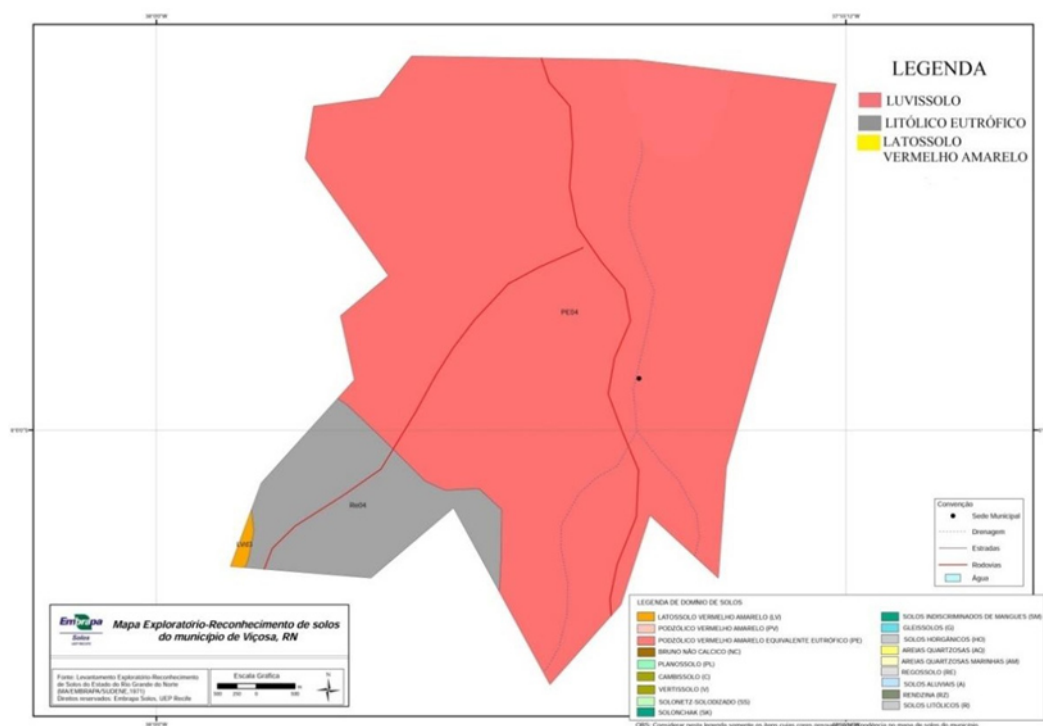
Segundo o mapa exploratório de reconhecimento de solos do município de Portalegre e Viçosa/RN da EMBRAPA SOLOS, os principais tipos de solo encontrados na região da micro- bacia hidrográfica são: Latossolo Vermelho Amarelo, Luvisolos e Litólicos Eutróficos, demonstrado nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1. Mapa de reconhecimento dos solos do município de Portalegre-RN (Mapa de solos adaptado para a classificação de solos da EMBRAPA 2013)



Fonte: Embrapa Solos UEP/Recife (2006).

Figura 2. Mapa de reconhecimento dos solos do município de Viçosa-RN (Mapa de solos adaptado para a classificação de solos da EMBRAPA 2013)



Fonte: Embrapa Solos UEP/Recife (2006).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade. São muito utilizados para agropecuária apresentando limitações de ordem química em profundidade ao desenvolvimento do sistema radicular se forem álicos, distróficos ou ácricos. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos, sendo indicada a adubação fosfatada. Outra limitação ao uso desta classe de solo é a baixa quantidade de água disponível às plantas. O relevo plano ou suavemente ondulado permite a mecanização agrícola. Por serem profundos e porosos ou muito porosos, apresentam condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade, sendo ampliadas estas condições nos solos eutróficos (ALMEIDA et al., 2020).

Os Luvisolos são solos rasos a pouco profundos, com horizonte B textural (horizonte resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa de argila decorrente de processos de iluviação e/ou formação in situ) de cores vivas e argila de atividade alta, apresentando horizonte A fraco, de cor clara, pouco espesso, maciço ou com estrutura fracamente desenvolvida. São moderadamente ácidos a neutros, com elevada saturação por

bases. Apresentam frequentemente revestimento pedregoso na superfície (pavimento desértico) ou na massa do solo e normalmente possuem uma crosta superficial de 5 a 10 mm de espessura, além de altos teores de silte.

São altamente susceptíveis aos processos erosivos, em virtude da grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte B. São de elevado potencial nutricional, decorrente das altas quantidades de nutrientes disponíveis às plantas e de minerais primários facilmente intemperizáveis e são ricos em bases trocáveis, especialmente o potássio. Ocorrem em relevo suave ondulado, o que facilita o emprego de máquinas agrícolas, podendo também ocorrer em relevo mais movimentado, podendo chegar a forte ondulado. As áreas onde estes solos ocorrem são bastante deficientes em água, sendo este o principal fator limitante para o uso agrícola. Estes solos ocupam grandes extensões nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. As áreas onde são predominantes perfazem um total de 98.938 km² e constituem 13,3% da região semiárida (JARBAS et al., 2020).

Os Solos Litólicos ocorrem em toda região semiárida, principalmente nas áreas onde são encontrados afloramentos rochosos. São muito pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos (sem a presença de água), apresentando horizonte A diretamente sobre a rocha ou horizonte C de pequena espessura. São normalmente pedregosos e/ou rochosos, moderadamente a excessivamente drenados com horizonte A pouco espesso, cascalhento, de textura predominantemente média, podendo também ocorrer solos de textura arenosa, siltosa ou argilosa. Podem ser distróficos ou eutróficos, ocorrendo geralmente em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso. Apresentam poucas alternativas de uso por se tratar de solos rasos ou muito rasos e usualmente rochosos e pedregosos. Situa-se em áreas acidentadas de serras e encostas íngremes, normalmente com problemas de erosão laminar e em sulcos severa ou muito severa. A pequena espessura do solo, com frequente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha no seu perfil, grande susceptibilidade à erosão, normalmente nas áreas de relevo acidentado, onde estes solos ocorrem com maior frequência, são as limitações mais comuns para este tipo de solo. Nos solos distróficos e álicos, há o problema da baixa fertilidade natural. Distribui-se por toda a zona semiárida, usualmente em áreas mais acidentadas, em maiores extensões contendo afloramentos de rocha. As áreas onde predominam estes solos perfazem um total de 143.374 km² e constituem 19,2% da região semiárida (JARBAS et al., 2020).

3.2.3 Vegetação

O tipo de vegetação que predomina na região da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica é a da Caatinga Hiperxerófila, vegetação de caráter mais seco, com predominância de plantas caducifólias, ou seja, as folhas caem no período de estiagem, além da abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixas e espalhadas. Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro (BRASIL, 2020).

A microbacia hidrográfica possui um importante dispersor de águas, o planalto da serra de Martins e Portalegre, cujas características geoambientais favorecem a formação de pântanos de altitude sustentados por nascentes de água perenes, que são responsáveis pela formação de "ilhas" de mata úmida (OLIVEIRA JÚNIOR, 2021).

Essas nascentes são justificadas por um contexto ambiental onde o maior aporte pluviométrico ($1.400 \text{ mm ano}^{-1}$), em conjunto com as características do capeamento sedimentar no topo da serra (Formação Serra do Martins), permite uma acumulação de água subterrânea que ressurge em uma altitude aproximada de 630 m, no contato entre a capa sedimentar e o embasamento cristalino, com direcionamento de norte/nordeste (IDEMA, 2008).

A Mata da Bica é uma área que representa área de alto e relevante interesse para o desenvolvimento socioeconômico da região, pois se trata de uma área de grande aporte turístico e uma forte relação histórico cultural da população com a paisagem da localidade e suas nascentes perenes (SOUZA NETO, 2015).

3.2.4 Clima

O clima do estado do Rio Grande do Norte foi dividido em cinco tipos climáticos, de acordo com o Instituto do Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente – IDEMA (2008). Os cinco tipos climáticos são: o clima úmido, o subúmido, o subúmido seco, o semiárido e o semiárido intenso.

A microbacia hidrográfica estudada é classificada como clima subúmido, possuindo um clima tropical chuvoso. Temperaturas médias anuais de máxima de 36°C e mínima de 21°C e umidade relativa do ar de 70% (IDEMA, 2008).

Apesar de estar localizada no semiárido do Nordeste brasileiro, a microbacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró possui um índice pluviométrico acima da média em relação às demais regiões do semiárido, favorecidas pela topografia (precipitações pluviométricas orográficas, presença de sistemas atmosféricos particulares, densa vegetação,

entre outros fatores), o que propiciam recargas das águas subterrâneas, surgimento de nascentes perenes, córregos e cachoeiras (OLIVEIRA JÚNIOR, 2020).

Os dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN, 2018) para o período entre 2005 e 2018 representados nas tabelas 1 e 2 abaixo, mostrou que a média pluviométrica anual foi de 984,81 mm para o município de Portalegre e 849,87 mm para o município de Viçosa, com as máximas entre os meses de janeiro e maio. Em ambos os municípios, o ano mais chuvoso foi o de 2009, com 1915 mm para Portalegre e 1380,7 mm para Viçosa. O ano menos chuvoso em Portalegre foi o de 2010 com 623,7 mm, enquanto para Viçosa, o ano menos chuvoso foi o de 2012 com 542,6 mm.

Tabela 1. Média de precipitação entre os anos de 2005 e 2018 para o município de Portalegre-RN.

Meses 2005 a 2018	Média máxima (mm) /ano	Precipitação média (mm)
Janeiro	330,7/2011	117,68
Fevereiro	294,79/2009	139,77
Março	718,7/2008	235,21
Abril	586,6/2009	217,83
Maio	395,9/2009	161,19
Junho	214/2013	46,28
Julho	96,7/2009	23,67
Agosto	116/2009	13,01
Setembro	-	0
Outubro	65/2010	4,64
Novembro	25,7/2013	3,76
Dezembro	98,22/2013	21,74
Total		984,81

Fonte: Adaptado da EMPARN (2018).

Tabela 2. Média de precipitação entre os anos de 2005 e 2018 para o município de Viçosa-RN.

Meses 2005 a 2015	Média máxima (mm) /ano	Precipitação média (mm)
Janeiro	264,3/2012	91,63
Fevereiro	304,5/2009	152,56
Março	616,6/2008	202,23
Abril	395,8/2009	202,93
Maio	269,5/2009	116,28
Junho	135/2013	40,01
Julho	49,8/2011	10,85
Agosto	107/2009	8,26
Setembro	-	0
Outubro	54,6/2011	3,90
Novembro	29/2011	3,40
Dezembro	57/2010	17,79
Total		849,87

Fonte: Adaptado da EMPARN (2018).

3.2.5 Indicadores de qualidade da água para irrigação

A qualidade da água de irrigação é definida principalmente pela quantidade total de sais dissolvidos e sua composição iônica. Os principais sais dissolvidos na água de irrigação são os de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos. Normalmente, o potássio e o carbonato estão presentes em proporções relativamente baixas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2021).

A principal consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a redução do seu potencial osmótico, o que prejudica as plantas, em razão do decréscimo da disponibilidade de água daquele solo. A salinização depende da qualidade da água usada na irrigação, do seu manejo, da existência e do nível de drenagem natural e, ou, artificial do solo, da profundidade do lençol freático e da concentração original dos sais no perfil do solo (BERNARDO et al., 2006).

Alguns fatores da qualidade de água podem influir na infiltração, sendo eles os teores totais de sais (salinidade) e o teor de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio. Alta salinidade aumenta a velocidade de infiltração, enquanto baixa salinidade, ou proporção alta de sódio em relação ao cálcio, a diminuição, ambos os fatores (salinidade e proporção de sódio) podem atuar simultaneamente (AYERS & WESTCOT, 1999; BERNARDO et al., 2006; MANTOVANI et al., 2006, GHEYI et al., 2016).

O pH também é um parâmetro importante para avaliar a qualidade da água para irrigação. O pH ideal está entre 6,5 e 8,4. Caso as águas possuam valor de pH acima de 8,4, pode ocasionar entupimentos nos sistemas de irrigação localizados, devido à precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3). Porém, caso o valor do pH esteja abaixo de 6,5, poderá ocorrer a corrosão dos componentes metálicos do sistema de irrigação por aspersão.

As águas subterrâneas podem ser classificadas de acordo com o seu armazenamento, que podem ser em aquíferos livres, confinados ou fraturados. O tipo de armazenamento, clima e a natureza geológica (influência litológica na composição química da água), são os principais fatores que interferem no processo de salinização causado pelo uso das águas subterrâneas no Nordeste brasileiro (FEITOSA et al., 2008).

3.3 Análise estatística multivariada aplicada a qualidade de água

As técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre os indivíduos ou objetos de investigação são denominadas de análise estatística multivariada (HAIR et al., 2009). A análise estatística multivariada permite que o processo de interpretação dos indicadores de qualidade de água seja realizado com uma menor complexidade, permitindo tomada de decisões com minimizações de custos, com análises laboratoriais e com coletas amostrais (GOMÉZ et al., 2013).

Foram utilizadas neste estudo a análise de componentes principais (ACP) e a análise fatorial (AF), pois estes são úteis para obter informações significativas, promovendo a redução do número de variáveis com o mínimo de perdas das informações (ROCHA et al., 2014).

A AF reduz a dimensionalidade das informações originais, selecionando fatores latentes, não correlacionados, que possam expressar as interdependências ou a variância comum das variáveis originais. Com isso, essa técnica procura identificar os processos latentes que poderiam produzir as interrelações das variáveis (BETARELLI JUNIOR, 2016).

A ACP possibilita uma análise estatística a um número relativamente alto de variáveis heterogêneas, que possuem características comuns, isto é, com um elevado grau de correlação entre si. Desta forma, o que se busca é condensar o conjunto inicial de muitas variáveis em um número bem menor de novas variáveis, as componentes principais, com uma pequena perda de informações (SILVA et al., 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

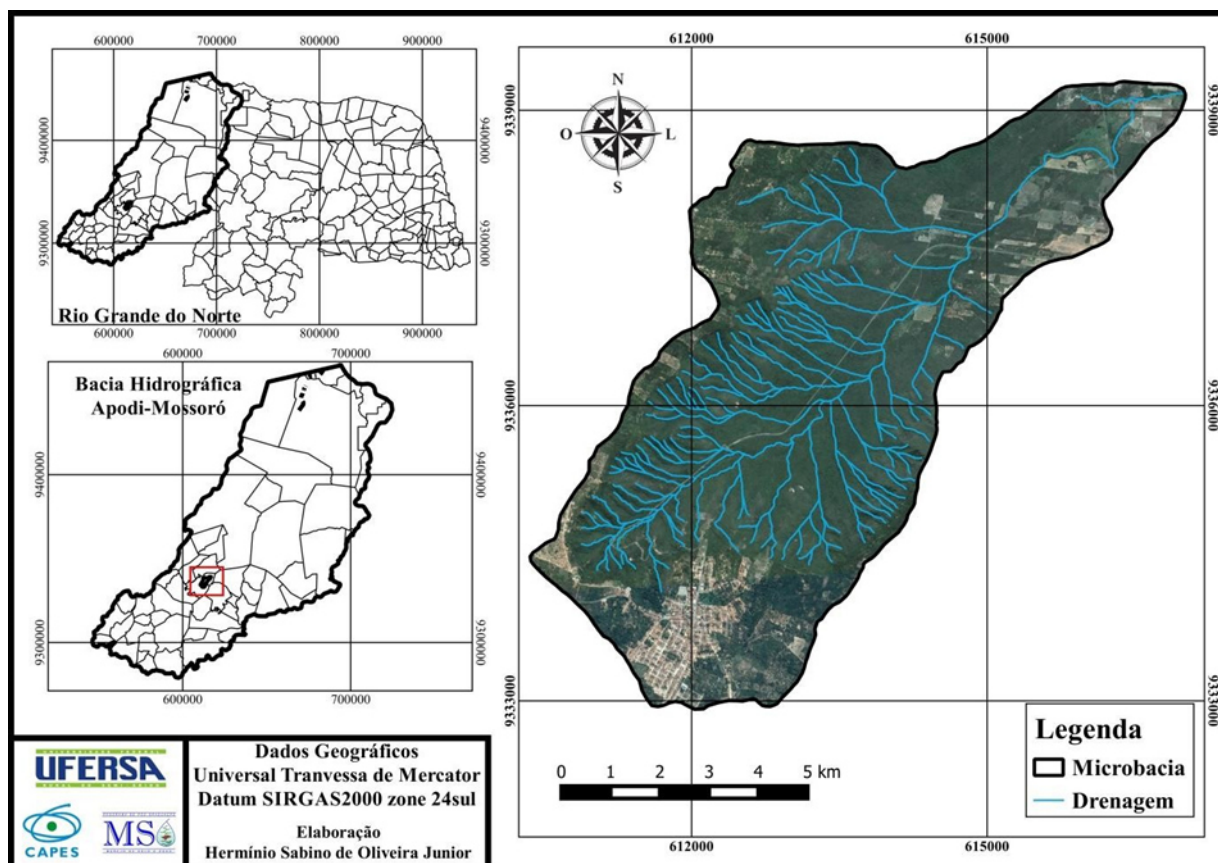
4.1 Modelo de estudo

O presente trabalho foi baseado nos dados de parâmetros de qualidade da água para irrigação do estudo de Oliveira Júnior (2021) para a microbacia hidrográfica do Riacho da Bica e a água foi classificada através do modelo proposto por Meireles et al., (2010).

4.2 Área de estudo

A região estudada compreende a microbacia hidrográfica do Riacho da Bica, que fica na região serrana entre os municípios de Portalegre e Viçosa, possuindo uma área de 1895 ha. A microbacia localiza-se no médio curso superior da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, inseridos na mesorregião Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte e na microrregião de Pau dos Ferros, conforme o mapa da figura 3 abaixo.

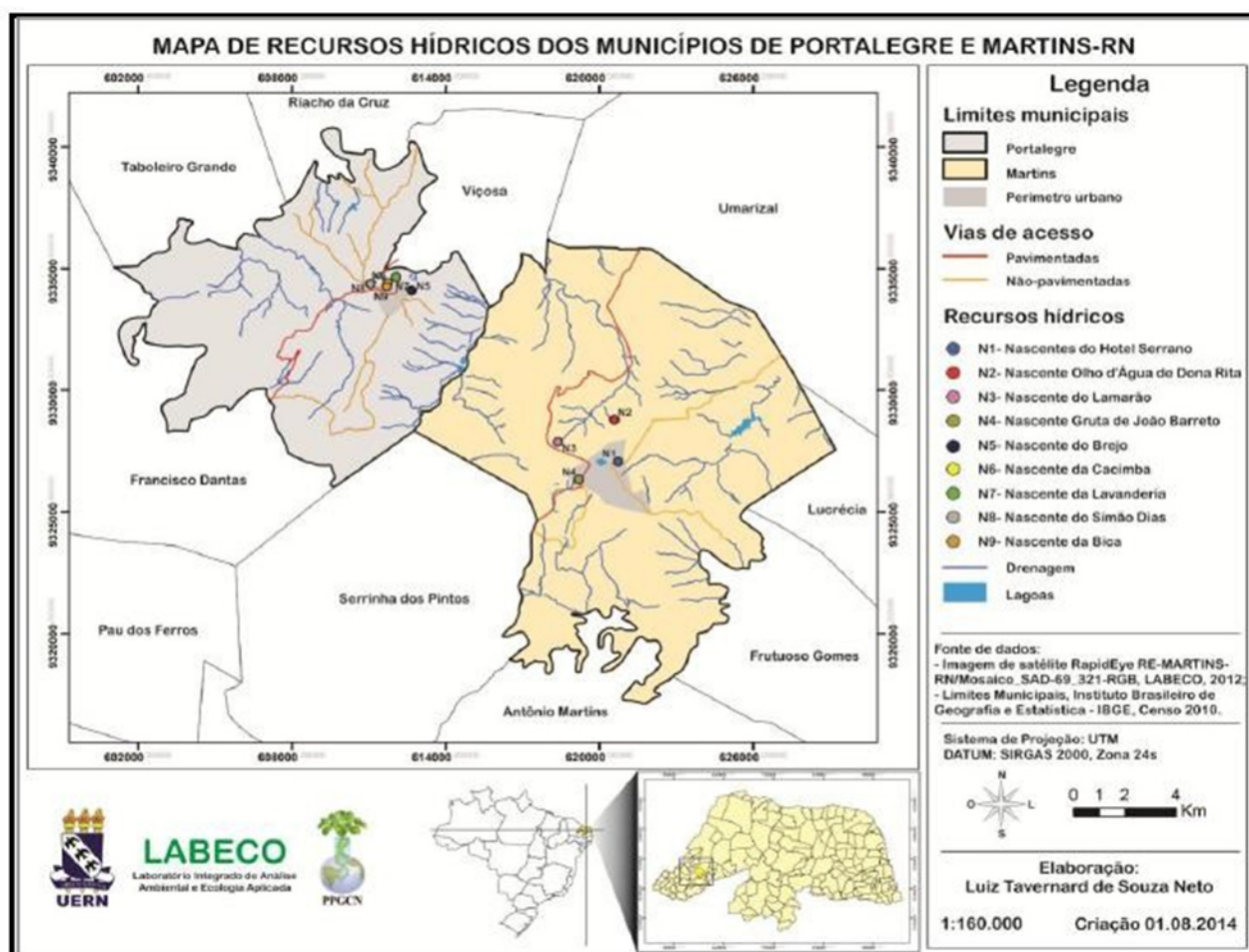
Figura 3. Localização e hidrografia da microbacia do Riacho da Bica



Fonte: Oliveira Júnior (2016).

Na microbacia hidrográfica do Riacho da Bica são predominantes os recursos hídricos intermitentes sazonais. Em seu médio curso da bacia hidrográfica, encontra-se o platô do maciço serrano de Martins e Portalegre, que é considerado um dispersor de águas, sendo que suas características geoambientais favorecem a formação de setores de brejos de altitude sustentados por nascentes de água perenes, responsáveis pela formação de “ilhas” de mata úmida. Essas nascentes, que estão localizadas em um local de maior aporte pluviométrico, em conjunto com as características da zona de capeamento sedimentar no topo da serra (Formação Serra do Martins), permite uma acumulação de água subterrânea em uma altitude de aproximadamente 630 m, no contato entre a capa sedimentar e o embasamento cristalino. A figura 4 abaixo mostra a localização das nascentes nos municípios de Portalegre e Martins.

Figura 4. Mapa de localização das nascentes dos municípios de Portalegre e Martins



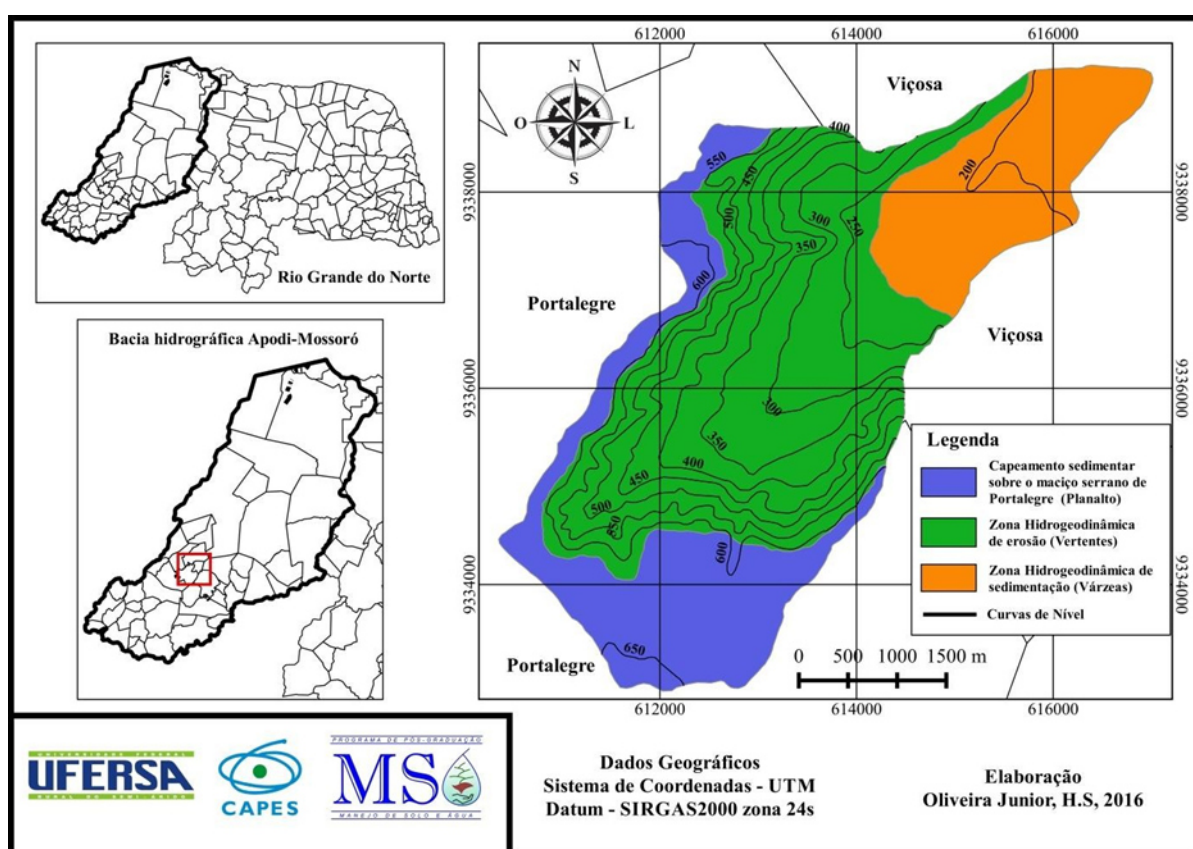
Fonte: UERN/NESAT & Neres (2014).

A nascente estudada é a de número 9, sendo denominada de Nascente da Bica, que origina o Riacho da Bica. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da

microbacia é considerado como tropical chuvoso, com inverno seco e com a estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho (ÁLVARES et al., 2013).

A microbacia hidrográfica estudada possui altitudes que variam entre 186 e 660 m, como mostra as curvas de nível da figura 5 abaixo. Essa diferença de nível é de grande importância para a formação da Cachoeira do Pinga, que é um ponto turístico da região e possui grande relevância ecológica.

Figura 5. Curvas de nível e mapeamento hidrogeodinâmico da microbacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de Oliveira Júnior (2016).

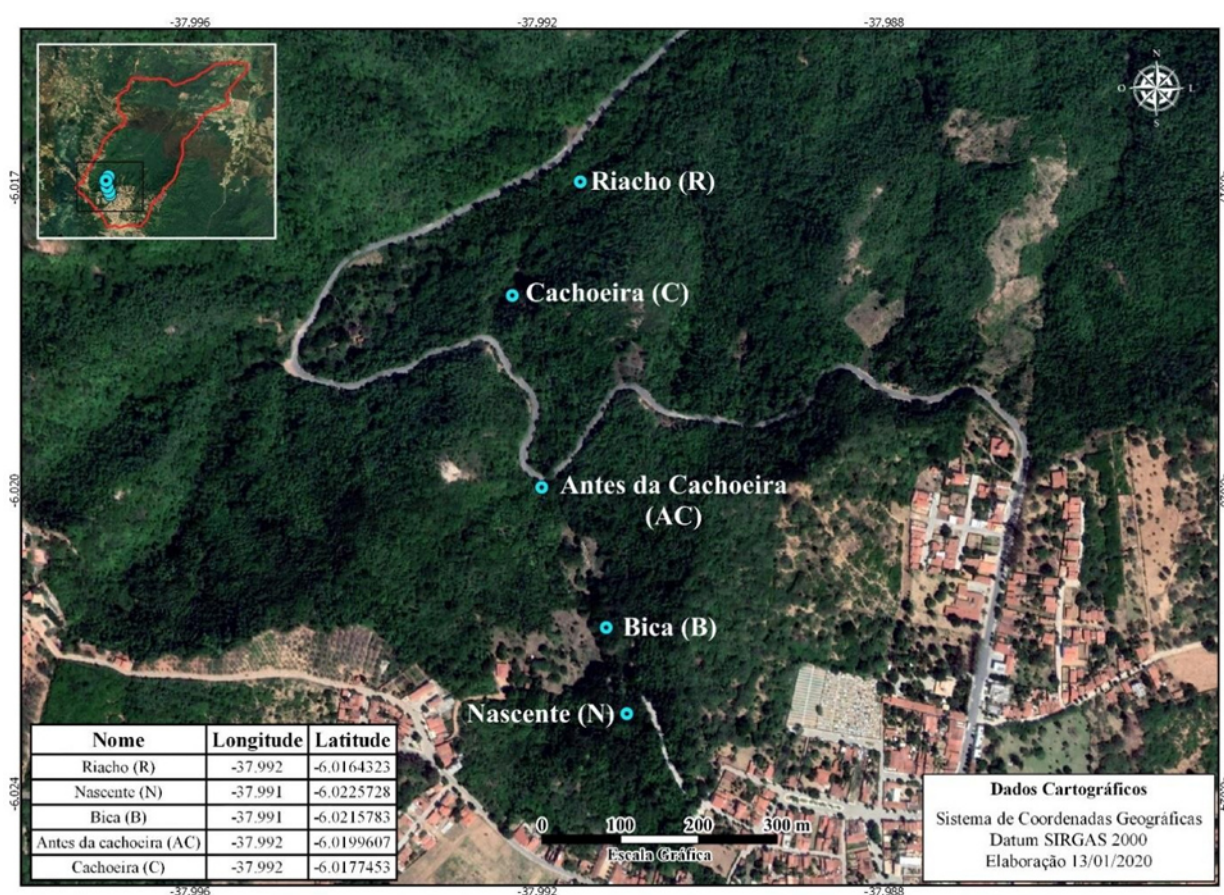
4.3 Distribuição dos pontos amostrais

Foi realizada a delimitação da microbacia hidrográfica, através das curvas de nível e observação dos divisores topográficos utilizando o programa computacional Google Earth.

As amostras de água foram coletadas em cinco pontos específicos ao longo do curso do Riacho da Bica entre os anos de 2016 a 2018, sendo realizadas 15 campanhas de coletas.

Os pontos são: (N) corresponde à fonte de água da nascente (N) localizada no Portal Bica a 620 m de altitude; (B) localizado no trecho de água corrente, à jusante da nascente, logo após o banho da bica (B); (AC) localizado antes da Cachoeira do Pinga (AC); (C) localizado logo após a Cachoeira do Pinga (C), local onde há acúmulo de água formado pela queda d'água e presença diária de visitantes e (R) foi locado no curso inferior do Riacho da Bica (R). A figura 6 mostra a localização exata desses pontos.

Figura 6. Distribuição dos pontos amostrais



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

4.4 Procedimentos de coleta e análise da água

A amostragem para determinação das variáveis físico-química e microbiológicas nos pontos de coleta foram do tipo simples e utilizando-se a técnica de imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm da coluna d'água (CETESB, 2011).

A amostragem constituiu-se em coletar amostras de água em todos os pontos usando garrafas de 1 litro para determinar os atributos físicos e químicos. Os recipientes foram identificados e lavados três vezes com a água do Riacho da Bica e somente na quarta vez foram preenchidas ao serem imersas a uma profundidade máxima de 30 cm de coluna d'água. Imediatamente, as amostras foram submetidas à refrigeração (caixa de isopor com gelo 24 °C) e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – LASAP, da UFRSA, no prazo máximo de 24 horas.

Foram realizadas 15 coletas de água para cada ponto amostral distribuídas nos anos de 2016 a 2018, tanto no período seco como chuvoso. Após as amostras de água serem destinadas ao LASAP, foram avaliados os atributos físicos e químicos. Os físicos: condutividade elétrica (CE), obtido através de um condutivímetro de bancada; os químicos: Potencial Hidrogênionico (pH), obtido através de um pHmetro de bancada; sódio (Na^+), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-) obtidos por titulação.

O pH (potencial Hidrogeniônico) é determinado a partir da retirada de 25 ml da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no pHmetro.

CE (Condutividade Elétrica): indicada a partir da retirada de 25 ml da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no condutivímetro.

Na^+ (Sódio) e K^+ (Potássio): determinados a partir da retirada de 20 ml da amostra, alocada em copo descartável, para que, após passar pela curva de calibração, seja feita a leitura no fotômetro de chama. Vale salientar que, quando necessária, a diluição é feita em meio a utilização de uma pequena parte da amostra e água deionizada.

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (Cálcio + Magnésio): indicados a partir da retirada de 25 ml da amostra, alocada em copo descartável, 4 ml de coquetel (solução tampão de pH 10) e uma pitada do indicador negro de eriocromo, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, é feita a titulação, com a solução de EDTA, até obter o ponto de viragem (coloração azul).

Ca^{2+} (Cálcio): determinado a partir da retirada de 25 ml da amostra, alocada em copo descartável, 3 ml da solução KOH a 10% e uma pitada do indicador calcon, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, é feita a titulação, com a solução de EDTA, até obter o ponto de viragem (coloração azul).

Mg^{2+} (Magnésio): seu valor é determinado a partir da diferença entre os resultados de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Ca^{2+} , $((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+})$.

RAS (Razão de adsorção de sódio): determinada a partir das concentrações de Na^+ (Sódio), Ca^{2+} (Cálcio) e Mg^{2+} (Magnésio), conforme descrito na Equação 4.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (4)$$

Onde:

RAS - Razão de adsorção de sódio, mmolc L⁻¹;

Na⁺ - Concentração de sódio, mmolc L⁻¹;

Ca²⁺ - Concentração de cálcio, mmolc L⁻¹;

Mg²⁺ - Concentração de magnésio, mmolc L⁻¹.

4.5 Procedimentos para determinação do WQI

Para a determinação do WQI, os atributos avaliados foram: condutividade elétrica (CE), potencial de hidrogênio (pH), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), carbonato (CO₃²⁻), cloreto (Cl⁻), bicarbonato (HCO₃), razão de adsorção de sódio (RAS) e dureza, através de equações específicas.

O WQI proposto por Meireles et al., (2010) para este estudo desenvolve-se em duas partes: na primeira, os parâmetros que contribuem para a maior variabilidade na qualidade da água de irrigação foram identificados usando Componentes Principais e Análise Fatorial (CP/AF) conforme descrito no programa Software Statistica 7.0 (StatiSoft, 2004). Na segunda, foi estabelecida uma definição dos valores de medição da qualidade (qi) e pesos de agregação (wi). Os valores de (qi) foram estimados com base no valor de cada parâmetro, de acordo com os parâmetros de qualidade da água de irrigação propostos pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia - UCCC e pelos critérios estabelecidos por Ayers e Westcot (1999), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores limite de parâmetros para cálculo de medição de qualidade (qi)

qi	CE (dS cm ⁻¹)	RAS ^o (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
				(mmol _c L ⁻¹)	
85-100	0,20 ≤ CE < 0,75	2 ≤ RAS < 3	2 ≤ Na < 3	1 ≤ Cl < 4	1 ≤ HCO ₃ < 1,5
60-85	0,75 ≤ CE < 1,50	3 ≤ RAS < 6	3 ≤ Na < 6	4 ≤ Cl < 7	1,5 ≤ HCO ₃ < 4,5
35-60	1,50 ≤ CE < 3,00	6 ≤ RAS < 12	6 ≤ Na < 9	7 ≤ Cl < 10	4,5 ≤ HCO ₃ < 8,5
0-35	CE < 0,20 ou CE ≥ 3,00	RAS < 2 ou RAS ≥ 12	Na < 2 ou Na ≥ 9	Cl < 1 ou Cl ≥ 10	HCO ₃ < 1 ou HCO ₃ ≥ 8,5

Fonte: Meireles et al., (2010).

O valor de qualidade da água (qi) é representado por um número adimensional; quanto maior o valor, melhor a qualidade da água. Os valores de qi foram calculados usando a equação 1, com base nos limites de tolerância mostrados na tabela 3 e nos resultados de qualidade da água determinados em laboratório, conforme a tabela 4 abaixo.

Tabela 4. Valores médio, mínimo e máximo dos indicadores de qualidade água para irrigação de cada ponto de coleta.

Indicadores de qualidade de água	Nascente	Bica	A. da Cachoeira	Cachoeira	Riacho
	Méd (Min – Máx)	Méd (Min – Máx)	Méd (Min – Máx)	Méd (Min – Máx)	Méd (Min – Máx)
	mmol _c . L ⁻¹				
K ⁺	0,16 (0,14-0,18)	0,15 (0,08 - 0,18)	0,21 (0,17 - 0,31)	0,18 (0,09 – 0,22)	0,19 (0,15 - 0,23)
Na ⁺	2,29 (0,26 - 3,05)	2,29 (0,26 – 3,11)	2,71 (0,30 – 4,64)	2,32 (0,31 – 3,42)	2,53 (0,31 – 3,55)
Ca ²⁺	0,42 (0,07 – 0,67)	0,48 (0,27 – 0,87)	0,77 (0,39 – 1,27)	0,66 (0,27 – 0,97)	0,65 (0,57 – 0,87)
Mg ²⁺	0,68 (0,1-2,47)	0,70 (0,27 - 1,24)	0,71 (0,07 - 1,87)	0,71 (0,31 – 1,37)	0,86 (0,36 - 1,37)
Cl ⁻	2,41 (0,2 – 3,00)	2,5 (0,2 – 3,40)	3,44 (0,8 – 8,80)	2,57 (0,60 – 3,60)	2,93 (1,20 – 4,00)
CO ₃ ²⁻	0,00 (0,00 – 0,00)	0,00 (0,00 – 0,00)	0,02 (0,00 – 0,24)	0,01 (0,00 – 0,2)	0,00 (0,00 – 0,00)
HCO ₃ ⁻	0,43 (0,1 – 1,50)	0,41 (0,14 – 1,8)	0,63 (0,40 – 1,8)	0,62 (0,20 – 1,9)	0,68 (0,30 – 1,8)
RAS	3,32 (0,23 – 4,91)	3,13 (0,28 – 4,319)	3,27 (0,27 – 4,11)	2,85 (0,37 – 4,18)	3,00 (0,34 – 4,60)
Ce (dS.m ⁻¹)	0,47 (0,11 – 0,72)	0,40 (0,03 – 0,55)	0,49 (0,02 – 0,92)	0,42 (0,14 – 0,55)	0,45 (0,05 – 0,54)
Dureza (mg. L ⁻¹)	55,13 (33 – 132)	58,93 (37 – 87)	74,33 (47 – 127)	68,53 (54 – 82)	75,47 (51,50 – 102)

Nota: Potássio (K⁺ mmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ mmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ mmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ mmol_c dm⁻³), Cloreto (Cl⁻ mmol_c L⁻¹), Carbonato (CO₃²⁻ mmol_c L⁻¹), Bicarbonato (HCO₃⁻ mmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mm.mol_c L⁻¹), Condutividade elétrica (CE dS. m⁻¹), Dureza em mg. L⁻¹.

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

$$q_i = q_{\text{imáx}} - [((x_{ij} - x_{\text{inf}}) * q_{\text{iamp}}) / x_{\text{amp}}] \quad (1)$$

onde: q_{imax} é o valor máximo de q_i para a classe; x_{ij} é o valor observado para o parâmetro; x_{inf} é o valor correspondente ao limite inferior da classe à qual o parâmetro pertence; q_{iamp} é a amplitude da classe; x_{amp} é a amplitude da classe à qual o parâmetro pertence.

Para avaliação do x_{amp} da última classe de cada parâmetro considerou-se como limite superior o maior valor determinado nas análises físico-químicas e químicas das amostras de água. O peso de cada parâmetro utilizado no WQI foi obtido a partir do CP/AF, pela soma de todos os fatores multiplicada pela explicabilidade de cada parâmetro. Em seguida, os valores w_i foram normalizados de forma que sua soma seja igual a um, de acordo com a equação 2:

$$w_i = \sum_{j=1}^k F_j A_{ij} / \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n F_j A_{ij} \quad (2)$$

onde: w_i é o peso do parâmetro para o WQI; F corresponde ao valor automático do componente 1; A_{ij} é a explicabilidade do parâmetro i pelo fator j ; i é o número de parâmetros físico-químicos selecionados pelo modelo, variando de 1 a n ; j é o número de fatores selecionados no modelo, variando de 1 a k .

O índice de qualidade da água para irrigação é calculado através da equação 3 abaixo, sendo utilizado planilha eletrônica tipo Excel:

$$WQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (3)$$

4.6 Estatística Multivariada

Os dados dos parâmetros de qualidade da água para irrigação foram expressos por meio da média de três repetições sendo submetidos à análise multivariada. Utilizou-se o programa Software Statistica 7.0 (STATISOFT, 2004).

Foram realizadas a análise fatorial (AF) e a análise de componentes principais (ACP). Primeiramente obteve-se a matriz de correlação de Pearson através da planilha eletrônica tipo Excel, na função análise de dados. Quando os valores de r estão próximos de -1 e $+1$, possuem maior correlação, enquanto que os valores próximos de zero explicam a ausência de correlação entre as duas variáveis X e Y analisadas.

Utilizou-se a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para os 10 atributos de qualidade da água para irrigação com o objetivo de garantir que estes possuíssem correlações mínimas suficientes para justificar o seu uso na matriz de dados na AF.

4.6.1 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada com o objetivo de identificar um número menor de novas variáveis (componentes) alternativas, que resumissem as principais informações e a variância das variáveis originais.

Pelo emprego da análise dos componentes principais, identificou-se a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, por meio dos “loadings”. Sendo que Loadings próximos de “1” indicam que a variável é importante na formação da componente principal, enquanto loadings próximos de “0” indicam que a variável não é importante, podendo ser descartada (GOMES, 2013).

Para aplicação da ACP foi necessário decidir quantas componentes são necessárias para explicar a variabilidade dos dados. Utilizou-se o critério de Kaiser. Segundo este critério, deve-se reter as componentes principais cujos valores próprios sejam superiores a 1, ou que possuam variância igual ou superior a 70%.

4.6.2 Análise fatorial

Para a análise fatorial (AF), os fatores com autovalores maiores que 1 (um) foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Para este estudo estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (HAIR JR. et al. 2009).

Na AF, podemos observar a contribuição de cada variável em relação a cada fator, sendo os fatores definidos pelos parâmetros de qualidade da água para irrigação. Foram confeccionados quatro diagramas dos componentes principais (Fator 1 e 2, Fator 3 e 4) para os parâmetros de qualidade da água para irrigação de acordo com as metodologias propostas

pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia - UCCC e pelos critérios estabelecidos por Ayers e Westcot (1999). Através desses dados foram criados diagramas bidimensionais e diagramas de projeção de vetores para verificação dos parâmetros de qualidade da água para irrigação que mais distinguiram na microbacia hidrográfica do Riacho da Bica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (ACP/AF)

As técnicas de estatística multivariada, análise fatorial (AF) e análise das componentes principais foram realizadas com base na matriz de correlação entre os parâmetros químicos da água, apresentando alto número de correlações significativas ($P < 0,05$). Podemos dizer que a Análise Fatorial (AF) em conjunto da Análise de Componente Principal (ACP) pode ser aplicado em estudos dos parâmetros químicos da água. Essas correlações significativas nos mostram que as relações entre os parâmetros químicos da água são muito próximos nos ambientes de bacias hidrográficas.

De acordo com a tabela 5 abaixo, a matriz de correlação para os dez (10) parâmetros estudados mostrou que dos 55 coeficientes de correlação, 30% podem ser utilizados para distinguir ambientes. Destes, cerca de 6% estão no intervalo $0,6 \leq r < 0,9$, o que segundo Callegari-Jacques (2003), são classificados como correlação forte e 70% estão localizados no intervalo $0,3 \leq r < 0,6$, classificados como de correlação moderada.

Tabela 5. Matriz de correlação entre as variáveis dos indicadores de qualidade de água para irrigação na nascente e riacho da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica em Portalegre/RN.

	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	DUREZA
pH	1,00									
CE	0,05	1,00								
K	0,36	0,35	1,00							
Na	-0,01	0,10	0,37	1,00						
Ca	0,50	0,28	0,49	0,23	1,00					
Cl	0,19	0,12	0,32	0,08	0,22	1,00				
CO ₃	0,00	0,00	-0,02	-0,01	0,06	0,16	1,00			
HCO ₃	0,35	0,21	0,22	0,13	0,18	-0,40	0,01	1,00		
RAS	-0,20	0,01	0,19	0,92	0,03	-0,01	0,01	0,14	1,00	
DUREZA	0,39	0,24	0,35	-0,26	0,32	0,16	-0,08	-0,08	-0,59	1,00

Nota: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Cl⁻ – cloreto; CO₃²⁻ – carbonato; HCO₃⁻ – bicarbonato; RAS – Razão de Adsorção de Sódio e Dureza.

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

A tabela mostra que o pH possui correlação positiva com K⁺ (0,36), Ca²⁺ (0,50), HCO₃⁻ (0,35) e Dureza (0,39). O pH possui uma maior correlação com o Ca²⁺. Os aumentos nos valores de pH estão associados a aumentos da dureza; altas correlações entre Dureza e pH foram encontradas por Zamberlan et al. (2013) e Santana et al. (2016).

A presença de carbonatos e bicarbonatos exerce grande influência na alcalinidade da água. Nos estudos de Pedrazzi et al. (2014) foram encontradas forte correlação entre o pH da água e as concentrações de bicarbonato e carbonato (pH < 8,3, ausência de CO₃²⁻). Essa correlação positiva indica que os valores de pH tendem a aumentar à medida que a concentração de elementos na água aumenta.

A CE é o parâmetro mais utilizado para avaliação dos níveis de salinidade e concentrações de sais solúveis em águas destinadas para fins de irrigação. Condutividade elétrica é a capacidade da água para conduzir eletricidade, que é diretamente relacionado com a quantidade de sais dissolvidos na forma de íons; aumenta proporcionalmente ao aumento da concentração de sal (LIMA; FRANÇA; LOIOLA, 2014).

A CE mostrou maior correlação com o K⁺ (0,35), mostrando que a CE é diretamente afetada pela concentração de íons.

A CE possuiu correlações fracas com o Ca²⁺ (0,28) e a dureza (0,24), entretanto, de acordo com os resultados encontrados, existe a tendência de aumento da CE à medida que haja um aumento na concentração de Cálcio e Dureza.

A tabela 6 mostra as cargas fatoriais de cada parâmetro sendo que nos fatores F1 e F2, os parâmetros com as maiores cargas fatoriais foram: pH, K^+ e Ca^{2+} . Observando-se o deslocamento horizontal para F1, e o vertical para F2 com destaque para as variáveis de maior carga fatorial Na^+ e RAS, avaliando-se as áreas de coleta.

Com relação aos fatores F3 e F4, os parâmetros com os maiores pesos fatoriais para discriminação, considerando o deslocamento horizontal em relação a F3, foi o Cl^- , HCO_3^- e o CO_3^{2-} respectivamente.

Tabela 6. Eixos fatoriais extraídos para qualidade de água para irrigação e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

Indicadores de Qualidade	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
pH	0,69	-0,25	-0,23	0,24
CE	0,51	0,06	0,00	-0,26
K^+	0,80	0,24	0,11	-0,08
Na^+	0,26	0,91	0,02	-0,04
Ca^{2+}	0,78	0,05	-0,01	0,14
Cl^-	0,35	0,04	0,78	0,23
CO_3^{2-}	-0,01	0,03	0,08	0,90
HCO_3^-	0,33	0,12	-0,86	0,09
RAS	-0,02	0,99	-0,05	0,00
DUREZA	0,57	-0,60	0,18	-0,18
Autovalores	2,61	2,32	1,46	1,04
Variância Total (%)	26,06	23,25	14,56	10,43
Variância Acumulada (%)	26,06	49,30	63,86	74,29

Nota: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; K – potássio; Na – sódio; Ca – cálcio; Cl – cloro; CO_3 – carbonato; HCO_3 – bicarbonato; RAS – Razão de Adsorção de Sódio e Dureza.

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Os resultados da análise fatorial apresentaram quatro fatores, com autovalores superiores a 1 (um) (Tabela 6). O primeiro fator apresentou uma contribuição para explicação da variância total dos parâmetros de 26,06%, o segundo de 23,25%, o terceiro de 14,56% e o quarto de 10,43%. Os quatro fatores acumulados respondem por aproximadamente 74,29% da variância total dos dados. Neste tipo de análise, o primeiro fator é o mais importante dentre os demais. Observa-se que no fator F1, ocorre as maiores cargas fatoriais para os parâmetros da qualidade da água para irrigação, sendo nas variáveis potássio, cálcio e pH, com valores de 0,80, 0,78 e 0,69, respectivamente.

O segundo fator corresponde a 23,25% de toda a variância do conjunto amostral, mostrando uma alta correlação entre sódio e RAS. A alta correlação positiva entre o sódio

(0,91) e RAS (0,99) é lógica, pois a RAS é o indicativo do risco de sodicidade da água (PALÁCIO, 2004).

O aumento da quantidade de sódio é um fator negativos para os ambientes de bacias hidrográficas, pois o sódio possui um grande raio hidratado, promovendo a reposição de potássio e cálcio presentes na solução do solo, desfavorecendo os vegetais no ambiente, explicado pelo menor peso fatorial do Ca^{2+} (0,78) em relação ao K^{+} (0,80) (OLIVEIRA JÚNIOR, 2020).

O terceiro fator explica 14,56% da variância total dos dados, destacando a alta correlação para Cl^{-} (0,78) e HCO_3^{-} (-0,86). Os sinais opostos mostram que um parâmetro aumenta à medida que o outro diminui. O quarto e último fator explica 10,45% da variância total dos dados, indicando uma alta correlação com o carbonato (0,90).

5.2 Aplicação do Índice de Qualidade da Água - WQI

Para aplicação do WQI proposto, os parâmetros determinados foram: CE, Na^{+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} e RAS. Estes parâmetros foram utilizados no WQI propostos por Meireles et al. (2010) para a bacia hidrográfica do Rio Acaraú.

A divisão das classes com base no índice de qualidade da água foi baseada nos índices de qualidade da água existentes e as classes foram definidas de acordo com os riscos de problemas de salinidade, redução da infiltração da água no solo e toxicidade às plantas conforme as classificações propostas por Bernardo (1995) e Holanda e Amorim (1997).

De acordo com os resultados da tabela 7, os cinco pontos coletados foram considerados como classe 1 com relação aos parâmetros CE, Na^{+} e Cl^{-} , classe 2 com relação a RAS com exceção do ponto da cachoeira, que foi considerada como classe 1 e com relação a HCO_3^{-} , todos os pontos foram considerados como classe 4.

Os valores de qi foram calculados conforme a equação 1. A tabela 7 abaixo mostra os valores de qi calculados em cada parâmetro para todos os pontos coletados.

Tabela 7. Valores de q_i para cada parâmetro em cada ponto de coleta.

Ponto	q_i CE	q_i RAS	q_i Na⁺	q_i Cl⁻	q_i HCO₃⁻
Nascente	93	82	96	93	20
Bica	95	84	96	93	21
Antes da cachoeira	92	83	89	88	13
Cachoeira	94	87	95	92	13
Riacho	93	85	92	90	11

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após calcular os valores de q_i , foram realizados os cálculos dos pesos w_i para cada parâmetro conforme a equação 2. O peso w_i é calculado levando em consideração os autovalores e as cargas fatoriais de cada um dos 10 (dez) parâmetros analisados, ou seja, é baseado na variância de determinado fator associado a explicabilidade de cada parâmetro, em relação a este fator. A tabela 8 abaixo mostra os valores do peso w_i calculado para os cinco parâmetros escolhidos.

Tabela 8. Valores de w_i para cada parâmetro em cada ponto de coleta.

Parâmetros	Wi
Condutividade elétrica (CE)	0,141
Sódio (Na⁺)	0,326
Bicarbonato (HCO₃⁻)	-0,003
Cloreto (Cl⁻)	0,280
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	0,255
Total	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a realização dos cálculos para os pesos w_i , foram obtidos os valores para o Índice de Qualidade de Água para Irrigação (WQI) através da equação 3. A tabela 9 abaixo mostra os resultados de WQI para todos os cinco pontos coletados.

Tabela 9. Valores de WQI calculados para cada ponto de coleta.

Ponto	WQI
Nascente	91
Bica	92
Antes da cachoeira	88
Cachoeira	92
Riacho	90

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a realização dos cálculos para encontrar os valores de WQI, as águas dos cinco pontos coletados foram classificados com relação às restrições para fins de irrigação. Os cinco pontos possuem valores de WQI no intervalo entre 85 e 100, ou seja, não possui restrição para utilização da água para irrigação, podendo ser utilizado para a maioria dos solos com baixa probabilidade de causar salinidade e problemas de sodicidade, sendo recomendada lixiviação dentro das práticas de irrigação, com exceção em solos com extremamente baixa permeabilidade e não possui risco de toxicidade para a maioria das plantas, conforme a classificação de Muniz (2014) mostrado na tabela 10 abaixo.

Tabela 10. Classes de WQI e recomendações para utilização da água para irrigação.

IQAI	Restrições de Uso	Recomendações	
		<i>Solo</i>	<i>Planta</i>
85 ≤ 100	Sem Restrição (SR)	Pode ser usado para a maioria dos solos com baixa probabilidade de causar salinidade e problemas de sodicidade, sendo recomendada lixiviação dentro das práticas de irrigação, com exceção em solos com extremamente baixa permeabilidade.	Sem risco de toxicidade para a maioria das plantas e sem risco de contaminação por <i>E. coli</i> .
70 ≤ 85	Baixa Restrição (BR)	Recomendado para uso em solos irrigados com textura leve ou moderada permeabilidade, sendo recomendada a lixiviação de sal, Sodiedade do solo em solos de textura pesados podem ocorrer, sendo recomendado evitar o seu uso em solos com altos níveis de argila 2:1.	Evitar em plantas sensíveis à salinidade, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
55 ≤ 70	Média Restrição (MR)	Pode ser usado em solos com valores de moderados a altos de permeabilidade, sendo sugerido lixiviação moderada de sais.	As plantas com tolerância moderada a sais podem ser cultivadas, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e para hortaliças em geral e plantas frutíferas.
40 ≤ 55	Alta Restrição (AR)	Pode ser usado em solos com alta permeabilidade, sem camadas compactas, Cronograma de irrigação de alta frequência deve ser adotado para água com COND acima 2000 dS/m e RAS acima de 7,0.	Deve ser usado para a irrigação de plantas com moderada a alta tolerância a sais, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, para hortaliças em geral e plantas frutíferas, culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.
0 ≤ 40	Rigorosa Restrição (RR)	Deve ser evitada a sua utilização para a irrigação, em condições normais, Em casos especiais, pode ser usado ocasionalmente, Para águas com alto teor salino, o solo deve ter elevada permeabilidade, e o excesso de água deve ser aplicada para evitar a acumulação de sais.	Apenas para irrigação de plantas com tolerância elevada de sais, Alto risco de contaminação por <i>E. coli</i> .

Fonte: Muniz (2014).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Análise Fatorial/Componente Principal permitiu a descrição dos parâmetros envolvidos nos processos que determinam a qualidade da água da microbacia do Riacho da Bica, através de um modelo de quatro fatores, que explicaram 74,29% da variância total dos dados, diluídos em dez dimensões.

Os parâmetros selecionados para explicar a qualidade da água para irrigação foram CE, RAS, Na^+ , Cl^- e HCO_3^- .

Os cinco pontos coletados mostrou uma pequena diferença entre si nos valores de WQI e em todos eles a água foi classificada como sem restrição para utilização para fins de irrigação.

A metodologia proposta para o cálculo do WQI mostrou-se satisfatória para medição da qualidade da água da microbacia hidrográfica do Riacho da Bica, podendo ser utilizada em outras bacias hidrográficas do Semiárido Nordeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Agência Embrapa de Informação Tecnológica- AGEITEC. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso em: 08 Jan. 2022.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, Kilvia de Freitas et al. **Avaliação de incerteza dos fatores de caracterização regionalizados para escassez hídrica no semiárido brasileiro**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BARROSO, Andréia de AF et al. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 588-593, 2011.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 1995. 488 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 545 p.
- BETARELLI JÚNIOR, A. A. **Análise Multivariada: Análise Fatorial**. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/lates/files/2016/12/Conte%C3%BAdo-3-%E2%80%93-A_An%C3%A1lise-Fatorial-AF.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- BOTELHO, D. O. Gestão social das águas: uma reflexão sobre propostas para encarar esse desafio. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 4., 2007, Resende. **Anais...Resende**, 2007. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/756_Artigo%20SEGET%20%20GESTAO%20DAS%20AGUAS.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Biomas: Caatinga. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 06 Jan. 2022.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. R. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. In: BRITO; L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2007. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159648/1/OPB1514.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CAMPOS, João HB da C. et al. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 12, p. 150-156, 2008.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Portalegre, RN**. In: MASCARENHAS et al (Org.). Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DE ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010., 2010.

DE LIMA, José OG; FRANÇA, Antonia Mayza M.; LOIOLA, Helena G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014.

DE OLIVEIRA GARCIA, Giovanni et al. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 7-18, 2008.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, Raimundo Fernandes et al. ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA A QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM MICROBACIA PERENE DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 650-658, 2021.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **UEP Recife**, 2006. Disponível em: <www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: **Ministério da Agricultura e Abastecimento**. 2013. 230 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, Monitoramento Pluviométrico Anual do Município de Portalegre e Viçosa (2005 – 2018). Natal: EMPARN,

2020. Disponível em: <<http://189.124.135.176/monitoramento/monitoramentoboletim.php>>. Acessado em 06/01/2022.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3 ed. rev. ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

GHEYI, Hans Raj; DA SILVA DIAS, N.; DE LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010.

GOMES, Vânia Sofia Pires Simões. **Análise estatística multivariada aplicada a dados hidrogeológicos**. 2013. Tese de Doutorado.

GOMÉZ, DMA et al. Estudio del modelamiento de la calidad del agua del río Sinú, Colombia. **Revista de Ingenierías**, 12: 33-44, 2013.

HAIR Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. A. **Manejo e controle da salinidade da água na agricultura irrigada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Ambiente do Rio Grande do Norte- IDEMA. Perfil do município de Portalegre, 2008. Disponível em:<http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/arquivos/Perfil%202008/Martins.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

JARBAS, T.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G.; TAURA; T. A. Agência Embrapa de Informação Tecnológica - AGEITEC. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzh02wx5ok01edq5scvvo0oy.html>. Acesso em: 06 Jan. 2022.

J. G. **Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324.

MAIA NETO, Ramiro F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A água em revista, Belo Horizonte**, v. 9, p. 21-32, 1997.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARTTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 328 p.

MEIRELES, Ana Célia Maia et al. Uma nova proposta de classificação da água para fins de irrigação. 2010.

MODARRES, Reza; DA SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of arid environments**, v. 70, n. 2, p. 344-355, 2007.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas. Proposição de um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) com base no monitoramento e caracterização de águas superficiais em ambientes rurais do Cerrado. 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, Raimundo Fernandes de et al. Análise dos atributos quali-quantitativos da água em microbacia perene do semiárido brasileiro. 2020.

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz. Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará. 2004.

REBOUÇAS, A. da C. et al. Água doce no mundo e no Brasil. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, v. 2, p. 1-37, 1999.

RIBEIRO, Carolina Silva; OLIVEIRA, Gilca Garcia de. A questão hídrica no semiárido baiano: conflitos pelo uso da água e as tecnologias sociais de aproveitamento de água de chuva. **Revista del CESLA. International Latin American Studies Review**, n. 23, p. 355-381, 2019.

ROCHA, César HB; FREITAS, Fabiano A.; SILVA, Thiago M. da. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 431-436, 2014.

RUBIN, Hillel et al. Sustainable integrated water resources management (IWRM) in a semi-arid area. 2006.

SILVA, Harley et al. Dinâmica agropecuária e urbanização: uma análise multivariada para Minas Gerais, 1995-2000. **ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, XXXII, Natal**, p. 1-20, 2005.

SOUZA NETO, L. T. de. **Identificação e análise das unidades geoecológicas da paisagem do município de Portalegre/RN**. Mossoró: UERN, 2015. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Faculdade de Ciências Exatas e Naturais.

STATSOFT. Statistica: data analysis software system: version 7.0. Tulsa: Statsoft, 2004.

THÉRY, Hervé; DE MELLO-THÉRY, Neli Aparecida. Cartografias, imagens e outras expressões gráficas: O contexto da crise hídrica. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 495-500, 2015.

ZAMBERLAN, João Fernando et al. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 376-386, 2013.