

UEMASUL



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CCA
ENGENHARIA AGRONÔMICA**

SAMUEL LIMA NASCIMENTO

**QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO TOCANTINA DO ESTADO
DO MARANHÃO, BRASIL**

Imperatriz – MA

2024

SAMUEL LIMA NASCIMENTO

**QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO TOCANTINA DO ESTADO
DO MARANHÃO, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do
Maranhão como requisito básico para a conclusão do
Curso de Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Araújo da Silva

Imperatriz - MA

2024

Ficha catalográfica

N244q

Nascimento, Samuel Lima

Qualidade da água de irrigação na região Tocantina do Estado do Maranhão, Brasil.
/ Samuel Lima Nascimento. – Imperatriz, MA, 2024.

26 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica) –
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz,
MA, 2024.

1. Agricultura irrigada. 2. Condutividade elétrica. 3. Salinidade. 4. Imperatriz - MA.
I. Título.

CDU 631.67(812.1)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Jennifer Rabelo Pires CRB13/987**

QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO TOCANTINA DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão como requisito básico para a conclusão do Curso de Engenharia Agrônômica.

Data de aprovação: 12 de agosto de 2024

Banca Examinadora



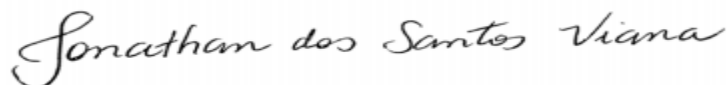
Prof. Dr. Wilson Araújo da Silva (Orientador)

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL



Profa. Ma. Cristiane Matos da Silva

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL



Prof. Dr. Jonathan, dos Santos Viana

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me proporcionar saúde e força da minha vida e da minha jornada acadêmica.

À minha mãe, Francisca Viana Lima Nascimento, e ao meu pai, Jose Viana Nascimento, que me deram a oportunidade de estudar sem preocupações, mesmo com todas as dificuldades enfrentadas nos últimos anos.

Ao meu orientador, Wilson Araújo da Silva, assim como à professora Cristiane Matos da Silva, que tiveram participação fundamental na minha trajetória acadêmica, com seus conselhos e ensinamentos.

Agradeço também aos meus amigos acadêmicos, a todos os professores e à universidade que tiveram papel fundamental na minha formação.

RESUMO

A população mundial continua crescendo, o que aumenta a demanda por alimentos, energia e fibras. Estimativas atuais da FAO indicam que seremos 9,7 bilhões de pessoas em 2050 e 10,9 bilhões em 2100. No Brasil, a agricultura irrigada é uma das principais estratégias para garantir a expansão da agricultura e o aumento da produção de alimentos, o que exige o consumo de grandes volumes de água de boa qualidade. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo determinar a qualidade da água de irrigação das principais fontes de abastecimento utilizadas nos cultivos agrícolas irrigados na Região Tocantina do Estado do Maranhão. Foram avaliados os parâmetros de pH, condutividade elétrica, salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido. Dos 10 pontos de coleta, apenas três apresentaram pH fora dos padrões: P02, P03 e P04. Em relação à condutividade elétrica (CE), apenas o ponto P04 apresentou valores fora dos padrões. Dentro dos critérios citados nos resultados, apenas um ponto de coleta apresentou classificação C₃ (água com salinidade alta), o ponto P04 apresentou uma CE de 835 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ em média, o que limita o seu uso na agricultura irrigada.

Palavras-chave: Agricultura Irrigada; Condutividade Elétrica; Salinidade.

ABSTRACT

The population of planet earth is growing every day and, with it, so is the demand for food, energy and fibre. Current FAO estimates suggest that there will be 9.7 billion people by 2050 and 10.9 billion by 2100. In Brazil, irrigated agriculture is one of the main strategies for guaranteeing the expansion of agriculture and increasing food production, requiring the consumption of large volumes of good quality water. In view of the above, this study aimed to determine the quality of irrigation water from the main supply sources used in irrigated agricultural crops located in the Tocantina Region of the state of Maranhão. To this end, the parameters pH, electrical conductivity, salinity, temperature and dissolved oxygen were assessed. Of the 10 collection points, only three were outside the pH standards, point P02, P03 and P04. With regard to electrical conductivity (EC), only point P04 showed EC outside the standards. Within the criteria mentioned in the results, only one collection point had a C3 classification (water with high salinity), point P04 had an average EC of $835 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, which limits its use in irrigated agriculture.

Keywords: Water Agriculture; Eletrical conductivity; Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de classificação para água de irrigação dos pontos do projeto período chuvoso (Pc).....	21
Figura 2 - Diagrama de classificação para água de irrigação dos pontos do projeto período seco.....	22

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Médias das análises de pH das amostras do período chuvoso (Pc) período seco (Ps).....	15
Tabela 2 - Medias das análises da condutividade elétrica (CE) e salinidade período chuvoso (Pc).....	16
Tabela 3 – Valores em mgL^{-1} das análises do oxigênio dissolvido (OD) período chuvoso (Pc) e período seco (Ps).....	17
Tabela 4 – Valores das médias das análises de temperatura (Graus Celsius) do período chuvoso(Pc) e período seco (Ps).....	18
Tabela 5 - Critérios para classificação da restrição do uso das águas para a irrigação quanto a salinidade.....	18
Tabela 6 - Critérios para classificação da restrição do uso das águas para a irrigação quanto a sodicidade.....	19
Tabela 7 – valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e as médias de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{+} período chuvoso (Pc).....	19
Tabela 8 – valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e as médias de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{+} período seco (Ps).....	20

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Relação salinidade x condutividade elétrica.....	16
---	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
MATERIAL E MÉTODOS	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	23

Irrigation water quality in the Tocantina region of the state of Maranhão, Brazil

Qualidade da água de irrigação na região Tocantina do Estado do Maranhão, Brazil

Samuel Lima Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4902-7816>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: samuelnascimento.20190003387@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6416-4413>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: Cristiane.silva@uemasul.edu.br

Marcelo Francisco da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9148-6725>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: silvamf@uemasul.edu.br

Wilson Araújo da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4549-6815>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: wilson@uemasul.edu.br

ABSTRACT

The population of planet earth is growing every day and, with it, so is the demand for food, energy and fibre. Current FAO estimates suggest that there will be 9.7 billion people by 2050 and 10.9 billion by 2100. In Brazil, irrigated agriculture is one of the main strategies for guaranteeing the expansion of agriculture and increasing food production, requiring the consumption of large volumes of good quality water. In view of the above, this study aimed to determine the quality of irrigation water from the main supply sources used in irrigated agricultural crops located in the Tocantina Region of the state of Maranhão. To this end, the parameters pH, electrical conductivity, salinity, temperature and dissolved oxygen were assessed. Of the 10 collection points, only three were outside the pH standards, point P02, P03 and P04. With regard to electrical conductivity (EC), only point P04 showed EC outside the standards. Within the criteria mentioned in the results, only one collection point had a C3 classification (water with high salinity), point P04 had an average EC of $835 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, which limits its use in irrigated agriculture.

Keywords: Water Agriculture; Electrical conductivity; Salinity.

RESUMO

A população mundial continua crescendo, o que aumenta a demanda por alimentos, energia e fibras. Estimativas atuais da FAO indicam que seremos 9,7 bilhões de pessoas em 2050 e 10,9 bilhões em 2100. No Brasil, a agricultura irrigada é uma das principais estratégias para garantir a expansão da agricultura e o aumento da produção de alimentos, o que exige o consumo de grandes volumes de água de boa qualidade. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo determinar a qualidade da água de irrigação das principais fontes de abastecimento utilizadas nos cultivos agrícolas irrigados na Região Tocantina do Estado do Maranhão. Foram avaliados os parâmetros de pH, condutividade elétrica, salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido. Dos 10 pontos de coleta, apenas três apresentaram pH fora dos padrões: P02, P03 e P04. Em relação à condutividade elétrica (CE), apenas o ponto P04 apresentou valores fora dos padrões. Dentro dos critérios citados nos resultados, apenas um ponto de coleta apresentou classificação C₃ (água com salinidade alta), o ponto P04 apresentou uma CE de 835 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ em média, o que limita o seu uso na agricultura irrigada.

Palavras-chave: Agricultura Irrigada; Condutividade Elétrica; Salinidade.

INTRODUÇÃO

A irrigação é considerada uma tecnologia estratégica para o crescimento e desenvolvimento da agropecuária brasileira e mundial, pois contribui para a adaptação da agropecuária à mudança do clima e garantia de produção de inúmeras culturas agrícolas, promovendo segurança alimentar. (PAOLINELLI, et al., 2022).

Atualmente, a agricultura irrigada consome mais de cinquenta por cento (50%) da água utilizada no país. A cem anos, esse consumo era de apenas seis por cento (6%), com crescimento estimado para o ano de 2030 de mais vinte e quatro por cento (24%), conforme estudo realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), citado por (ECODEBATE, 2022).

No Brasil, os cultivos irrigados representam cerca de 16% da demanda de alimentos e 35% do valor de produção (SILVA et al., 2016). A técnica da irrigação é uma alternativa para suprir a carência hídrica das culturas agrícolas, em razão da falta ou da desuniformidade das precipitações em algumas regiões (CARVALHO et al., 2014).

Dados da ANA para o ano de 2016 mostraram que a agricultura irrigada se destacou entre os principais usos da água, sendo responsável, naquele ano, por 47% da retirada dos mananciais e 69% do consumo total no Brasil (ANA, 2016). Comparando os referidos dados com o consumo atual, comprova-se um crescimento de mais de 3% no consumo de água utilizado pela agricultura irrigada, somente nesse período.

A água é essencial ao metabolismo vegetal, participando da constituição celular e do processo de fotossíntese. Contudo, a planta transfere para a atmosfera mais de 95% da água retirada do solo (RODRIGUES et al., 2011). Com isso, o ideal é aliar a produção com a eficiência do uso da água, surgindo a necessidade do aprimoramento dos fatores de evapotranspiração, solo e clima (COUTO, 2015; SANTANA et al., 2020).

Silva et al. (2017) comentam que os principais prejuízos associados à aplicação excessiva de água nas culturas agrícolas incluem a lixiviação de nutrientes, além de gastos desnecessários com eletricidade e mão-de-obra. Diante do exposto, observa-se que a maioria dos estudos sobre esse tema foca no crescimento do consumo de água e suas consequências, o que é de extrema importância para a formulação de estratégias e tomadas de decisões sobre o uso sustentável dos recursos hídricos. No entanto, a qualidade da água de irrigação também é crucial e deve ser devidamente estudada. A falta de qualidade na água pode resultar em problemas nas culturas agrícolas, como salinização e contaminação do solo, além de prejuízos nos sistemas de irrigação localizada, principalmente devido à aplicação de água que não atende aos padrões necessários. A avaliação da qualidade da água de mananciais para usos múltiplos assume grande importância na atualidade, devido ao crescente impacto ambiental negativo que esses mananciais vêm sofrendo em função das diversas atividades antrópicas (SOUSA et al., 2021).

E, neste contexto, para estudar a qualidade da água de irrigação, necessária ao desenvolvimento da agricultura irrigada, principalmente na região Tocantina do Maranhão, devido à carência de estudos com essa temática, foi realizada essa pesquisa científica, que contribuirá para o entendimento do perfil químico da água de irrigação, proveniente de diferentes fontes (poços, rios, açudes, lagos, igarapés, reservatórios, etc.), localizadas nessa importante região do Estado do Maranhão, permitindo classificar a sua qualidade.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo determinar a qualidade da água de irrigação das principais fontes de abastecimento utilizadas nos cultivos agrícolas irrigados na região Tocantina do Estado do Maranhão.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras adquiridas para o desenvolvimento do trabalho foram coletadas nas propriedades agrícolas que trabalham com agricultura irrigada. Na maioria dos pontos de coletas, os produtores utilizam mangueira microperfuradas que são as mais utilizadas para a irrigação das culturas na região. As propriedades localizam-se no entorno da cidade de Imperatriz e nas cidades próximas. Foram realizadas coletas de campo no período chuvoso entre os meses de janeiro a abril de 2023, sendo a última coleta realizada no mês de abril. No período seco, as coletas foram realizadas entre os meses de junho e agosto do ano 2023, com a identificação geográfica dos pontos de coleta, utilizando GPS de navegação disponível no CCA/UEMASUL para posterior análise em laboratório.

As amostras foram armazenadas em garrafas plásticas de um litro, com cinco amostras coletadas por ponto. Essas amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com temperatura controlada e transportadas para o Laboratório de Irrigação, Hidráulica e Hidrologia (LIHH) do CCA/UEMASUL, onde foram realizadas as análises dos parâmetros físico-químicos. No laboratório, as amostras foram analisadas para determinar os parâmetros de pH, condutividade elétrica, salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido. Essas análises foram realizadas com um multiparâmetro modelo Water Quality Meter do LIHH/CCA/UEMASUL, após calibração prévia e seguindo o protocolo fornecido pelo fabricante. Além desses parâmetros físico-químicos, foram determinadas, no laboratório de Química Instrumental, as concentrações de sódio, cálcio e magnésio, utilizando um ICP-E 900 (Plasma Atomic Emission Spectrometer). A Razão de Adsorção de Sódio (RAS), que expressa a proporção relativa de sódio em relação a outros sais, foi calculada com base nesses dados. As médias obtidas foram comparadas com os valores de referência descritos abaixo. Para a classificação da qualidade da água de irrigação foram utilizados os padrões de classificação propostos pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos baseada na condutividade elétrica (CE) como indicadora do perigo de salinização e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização e solidificação do solo, descritos por Bernardo et al., (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos resultados das análises de pH das amostras coletadas durante o período chuvoso (Pc) e período seco (Ps) estão apresentados na tabela 1. O

ponto P07 apresentou o maior valor de pH, enquanto o ponto P04 obteve o menor valor de pH.

Tabela 1 - Médias das análises de pH das amostras do período chuvoso (Pc) período seco (Ps)

Amostras	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P010
pH (Pc)	7,6	5,4	7,3	5,2	6,8	6,7	8,3	7,7	7,6	7,6
pH (Ps)	8,0	5,7	6,1	4,8	7,3	7,2	8,4	7,8	7,9	7,7

Fonte: Autor (2023)

Segundo Ayers (1985), o pH ideal para água de irrigação está situado entre 6,5 e 8,4. De todos os pontos de coleta do período chuvoso, apenas dois estão fora dessa faixa ideal, os pontos P02 e P04.

Valores semelhantes foram encontrados no trabalho de Oliveira (2018), onde foram analisados o pH da água de 10 poços rasos no município de Timbiras-MA. Os valores de pH variaram de 4,4 a 6,1.

Ambos os pontos foram coletados de reservatórios de produtores de hortaliças situados em imperatriz-MA, no período chuvoso. Os reservatórios não possuíam cobertura e estavam repletos de partículas. Além disso, os produtores não haviam realizado a limpeza dos reservatórios há alguns meses, o que pode ter influenciado a diminuição do pH Segundo Paterniani e Pinto (2001), águas de irrigação que apresentam pH acima de 8,3, possuem altas concentrações de sódio, carbonato e bicarbonatos, que podem causar incrustações nas tubulações e equipamentos de irrigação, assim como, águas com pH inferior a 7, podem ter ação corrosiva aos equipamentos de irrigação.

Outro fato observado que pode estar relacionado ao pH fora da faixa ideal é a profundidade do poço, classificado como poço simples ou raso, geralmente esses poços possuem um pH ácido, pois a maioria da água proveniente deles é oriunda das chuvas. Segundo a Agência Nacional de Águas (2016), a profundidade desses poços rasos pode chegar até 20m.

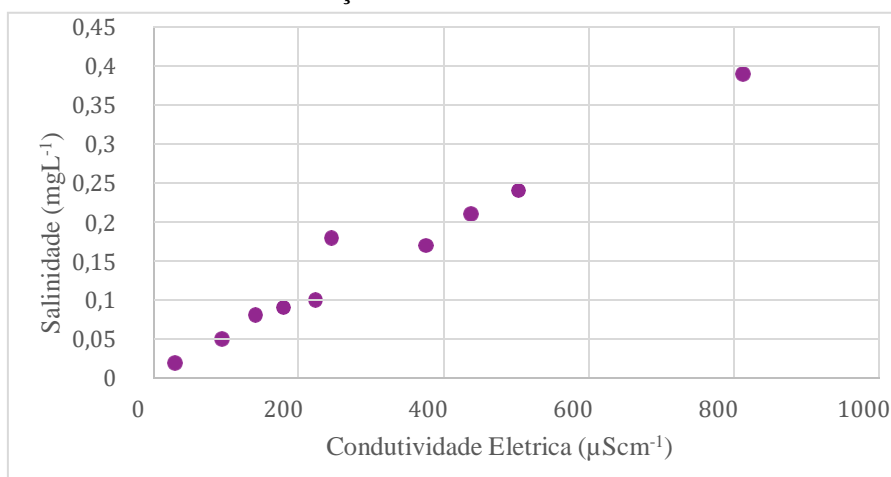
Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das amostras de condutividade elétrica (CE) e salinidade coletadas durante o período chuvoso (Pc). O ponto P04 apresentou os maiores valores de CE e salinidade entre todos os pontos analisados. Em contraste, o ponto P010 registrou o menor valor de CE, enquanto o ponto P07 teve o menor valor de salinidade.

Tabela 2- Médias das análises da condutividade elétrica (CE) e salinidade período chuvoso (Pc)

Pontos	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P010
Condutividade elétrica (μcm^{-1})	460	525	267	835	201	162	51	397	245	116
Salinidade (ppm)	0,21	0,24	0,18	0,39	0,09	0,08	0,02	0,17	0,1	0,05

Fonte: Autor (2023)

O gráfico 1 mostra a relação salinidade x condutividade elétrica no período chuvoso. Nele é possível observar que quanto maior a condutividade elétrica, maior será a salinidade água. Segundo Almeida, 2010, a salinidade é expressa em ppm ou em mgL^{-1} , ela é o resultado do acúmulo de sais na dissolução do solo, a sua concentração aumenta o potencial osmótico, dificultando ou impedindo a captação de água pela planta. A condutividade elétrica (CE) é o parâmetro usado para determinar a potencialidade de salinização do solo e a qualidade da água de irrigação.

Gráfico -1 Relação salinidade x condutividade elétrica

Fonte: Autor (2023)

Dos pontos coletados durante o período chuvoso (PC), apenas o ponto P04 apresentou um valor elevado de condutividade elétrica (CE), conforme indicado na Tabela 2, ultrapassando o intervalo ideal de 0,25 a 0,75 dS/m segundo a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (BERNARDO, 2019). O ponto P04 também registrou o maior valor de salinidade.

As amostras que apresentaram menores valores de salinidade são os pontos em que os produtores utilizam água da rede de distribuição local (CAEMA E SAAE), onde a água passa por um tratamento antes de ser disponibilizada para a população. Das análises dos pontos coletados no período seco (Ps), o ponto P04 continuou sendo o

único que apresentou a condutividade elétrica fora dos padrões.

Os valores máximos, médios e mínimos dos resultados obtidos das análises de oxigênio dissolvido (OD) dos pontos coletados no período chuvoso (Pc) e período seco (Ps) estão apresentados na tabela 3. O ponto P06 apresentou o maior valor de oxigênio dissolvido, já os pontos P08, P09 e P10 obtiveram os menores valores de oxigênio dissolvido. Porto et al (1991) identificaram vários fatores que influenciam na solubilidade do oxigênio, dentre eles a temperatura e os sais dissolvidos são os fatores mais determinantes na solubilização do oxigênio, quanto maior a temperatura, menor é a concentração de oxigênio dissolvido na água.

Tabela 3 – Valores em mgL^{-1} das análises do oxigênio dissolvido (OD) período chuvoso (Pc) e período seco (Ps)

Amostras	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
OD (Pc)	5,3	5,4	4	4,1	4	10,1	8,4	3,5	3,5	5,7
OD (Ps)	6,3	3,1	2,9	3	3	4,6	2,8	1,4	1,4	1,3

Fonte: Autor (2023)

O oxigênio dissolvido de maneira geral não é amplamente utilizado como parâmetro de qualidade de água de irrigação, porém, segundo Morais (2001), ele pode ser um indicativo de poluição, da concentração de sólidos dissolvidos e da matéria orgânica na água.

As amostras de oxigênio dissolvido supracitadas na tabela 3 mostram uma variância de O_2 dissolvido em água tanto nas coletas do período chuvoso quanto nas coletas do período seco. As amostras dos pontos coletados no período chuvoso apresentaram maior valor de O_2 dissolvido em água que as amostras coletadas no período seco.

Segundo Patemiani e Pinto (2001), a temperatura é a medida da quantidade de calor de um sistema. Ela consiste na absorção e no espalhamento da luz solar na água, fazendo a energia dessa radiação diminuir, transformando-a em calor.

As variações de temperatura influenciam diversos parâmetros físico-químicos, que podem afetar a qualidade da água (ALMEIDA, 2010). A temperatura afeta as concentrações de O_2 e CO_2 na água, o teor de carbonatos e os valores de pH (PATEMIANI e PINTO, 2001). As temperaturas das amostras analisadas variaram de $24,4^\circ\text{C}$ a 29°C , todas as amostras foram coletadas no período da manhã, de maneira geral as amostras oriundas de reservatórios, apresentaram menor temperatura em relação às amostras obtidas diretamente dos poços artesianos e da rede de distribuição

local. Na Tabela 4 estão os valores das médias dos resultados obtidos das análises de temperatura dos pontos coletados no período chuvoso (Pc) e período seco (Ps). As análises foram realizadas minutos após a coleta das amostras em campo no laboratório com temperatura controlada.

Tabela 4 – Valores das médias das análises de temperatura (Graus Celsius) do período chuvoso (Pc) e período seco (Ps)

Amostras	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P010
Temperatura (Pc)	28,7	26,8	26,5	26	27,3	27,5	26,5	28,6	28,4	27,2
Temperatura (Ps)	25,6	24,7	24,4	24,9	28,9	26,3	27,3	28,6	27,1	29

Fonte: Autor (2023)

As águas utilizadas na irrigação são divididas em classes conforme a sua condutividade elétrica (CE). Baseado no critério de CE, as águas são divididas em quatro classes: C₁, C₂, C₃ e C₄ tabela 5, onde a condutividade elétrica pode variar de 0 a 5,0 dS/m⁻¹ (CORDEIRO, 2001).

Tabela 5 - Critérios para classificação da restrição do uso das águas para a irrigação quanto a salinidade

Salinidade - CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$		
Limites	Grau de Restrição	Classes
<250	Baixo	C1
250 - 750	Médio	C2
750 - 2250	Alto	C3
2250 - 5000	Muito alto	C4

Fonte: Autor (2023)

Segundo a metodologia proposta por Richards, 1954 e citada por Bernardo, 2019, as águas de classe C₁ podem ser utilizadas na maioria das culturas agrícolas sem restrições de uso.

Já a classe C₂ que apresenta restrição média de uso, pode ser utilizada em culturas com tolerância ao estresse salino ou em solo com boa permeabilidade. A classe C₃ apresenta alta salinidade, por isso, ela não pode ser empregada em solos com deficiência em drenagem devido ao acúmulo de sais, além de ser restrita para culturas com tolerância a salinidade. A classe C₄ apresenta extrema salinidade, sendo assim, ela não é apropriada para irrigação e sua utilização fica restrita a casos de extrema necessidade com aplicação de práticas adequadas para o controle da salinidade (BERNARDO, 2019).

Outra classificação Segundo Richards, 1954 e Bernardo, 2019 é quanto ao perigo de sodificação ou alcalinização, onde as águas são classificadas de acordo com razão de adsorção de sódio (RAS), nessa classificação podemos ter quatro classes diferentes (S₁, S₂, S₃ e S₄), conforme Tabela 6 que representam as concentrações baixa, média, alta e muito alta de sódio na água respectivamente (BERNARDO, 2019).

Tabela 6 - Critérios para classificação da restrição do uso das águas para a irrigação quanto a sodicidade.

Sodicidade - RAS		
Limites	Grau de Restrição	Classes
RAS ≤ 32,19 - 4,44 log CE	Baixo	S1
32,19 - 4,44 log CE < RAS 51,29 - 6,66 log CE	Médio	S2
51,29 - 6,66 log CE < RAS 70,36 - 8,87 log CE	Alto	S3
RAS > 70,36 - 8,87 log CE	Muito alto	S4

Fonte: Autores (2023)

Na tabela 7 estão os valores da razão de adsorção (RAS) e das medias dos valores de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e sódio (Na⁺) e a partir desses valores foi calculada a RAS utilizando-se a seguinte expressão:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Tabela 7 – Valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e as médias de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ período chuvoso (Pc)

Pontos	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		mgL ⁻¹		
P01	0,523	57,87	3,46	15,18
P02	0,275	61,29	8,31	8,69
P03	0,354	32,17	4,8	8,09
P04	0,215	89,28	12,6	8,57
P05	0,343	11,93	1,56	4,76
P06	0,927	11,35	0,9	5,12
P07	0,1	9,85	0,89	1,23
P08	0,313	58,21	6,14	9,41
P09	0,48	28,14	2,8	10,09
P010	0,025	12,45	0,83	4,55

Fonte: Autor (2023)

Na tabela 8 estão os valores da razão de adsorção (RAS) e das médias dos valores de cálcio(Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e sódio (Na^+).

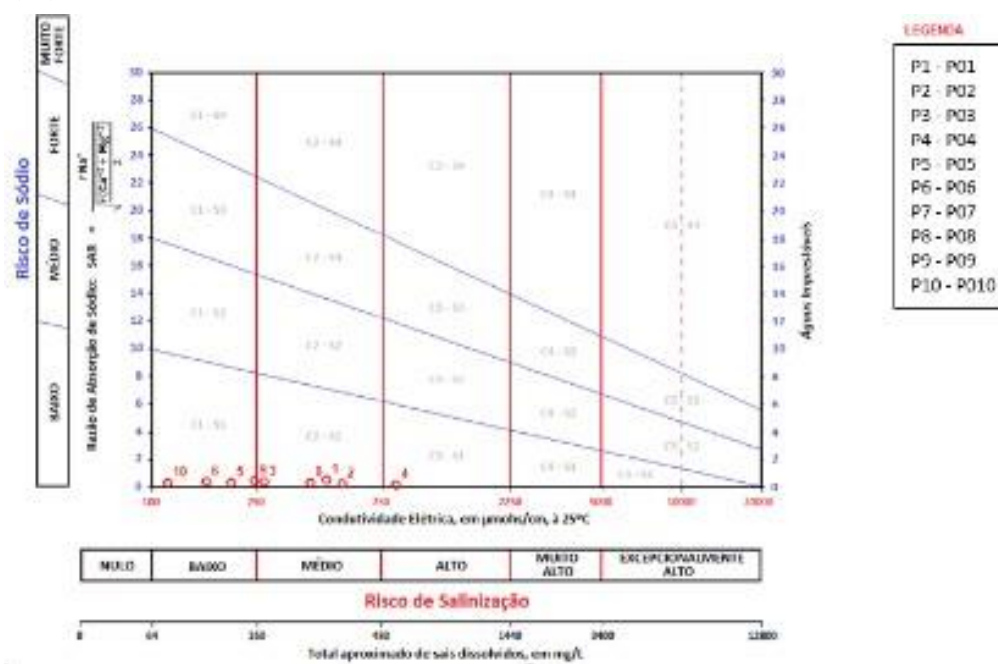
Tabela 8 – Valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e as médias de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ período seco (Ps)

Pontos	RAS	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
		mgL ⁻¹		
P01	0,448	69,118	3,526	14,068
P02	0,243	51,828	7,458	7,455
P03	0,528	10,963	2,298	7,223
P04	0,178	98,217	11,66	7,107
P05	0,403	10,035	1,344	5,389
P06	0,568	7,589	0,875	6,909
P07	0,161	10,710	1,323	2,083
P08	0,259	64,901	5,834	8,731
P09	0,249	39,598	3,576	6,991
P010	0,388	7,547	0,634	4,949

Fonte: Autor (2023)

A figura 1 representa a classificação dos 10 pontos de coleta do período chuvoso de abrangência do projeto, sendo que os pontos P05, P06, P07, P09 e P010 apresentaram classificação C_1S_1 , os pontos P01, P02, P03 e P08 apresentaram classificação C_2S_1 , o ponto P04 apresentou classificação C_3S_1 .

Figura 1 - Diagrama de classificação para água de irrigação dos pontos do projeto período chuvoso (Pc)



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

O ponto P07 não está representado no diagrama, pois o programa Qualigraf considera uma nova classificação (C_0), que está relacionada à sua condutividade elétrica (CE), variando de 0 a $0,10 \text{ dS/m}^{-1}$. Porém, a classificação da água para a irrigação foi seguida à metodologia de Richards 1954 e Bernardo, 2019.

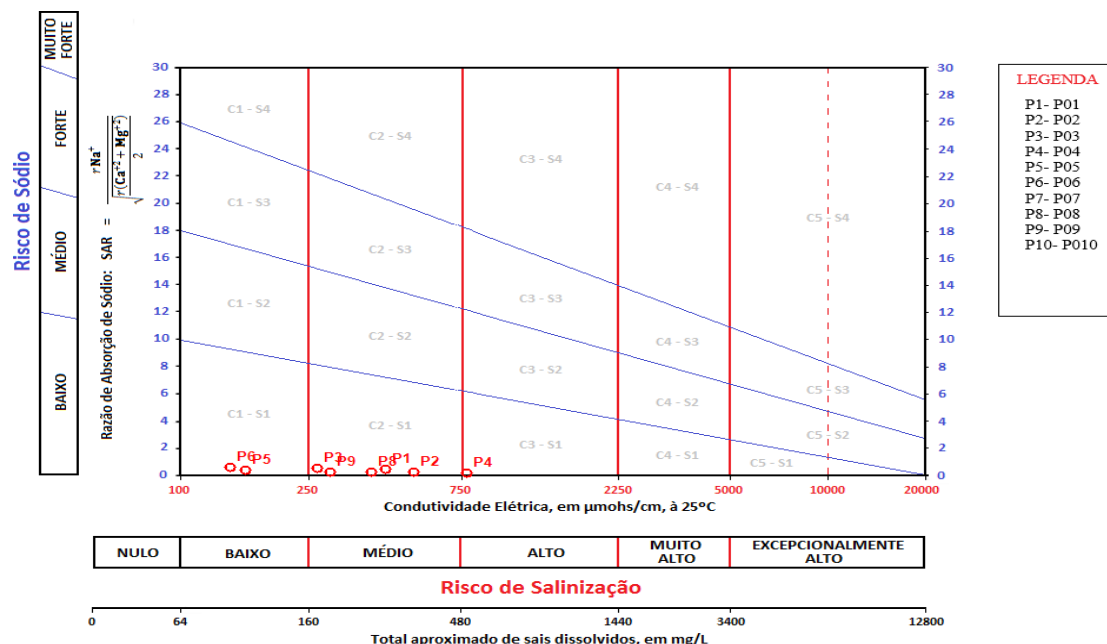
Dentro dos critérios citados nos resultados, apenas um ponto de coleta apresentou classificação C_3 (água com salinidade alta), o ponto P04 apresentou uma CE de $835 \mu\text{S/cm}^{-1}$ em média, o que restringe o seu uso na agricultura. Vários fatores podem estar relacionados ao aumento da CE, dentre eles: o tipo de poço e o excesso de particulados no reservatório são fatores que podem estar relacionados ao aumento da condutividade da água (BERNARDO, 2019).

A figura 2 representa a classificação dos 10 pontos de coleta do período seco de abrangência do projeto, sendo que os pontos P05, P06, P07 e P10 apresentaram classificação C_1S_1 , os pontos P01, P02, P03, P08 e P09 apresentaram classificação C_2S_1 , o ponto P04 apresentou classificação C_3S_1 .

Os pontos P07 e P10 não estão representados no diagrama, pois o programa Qualigraf considera uma nova classificação (C_0), que está relacionada à sua condutividade elétrica (CE), variando de 0 a $0,10 \text{ dS/m}^{-1}$. Porém, a classificação da água para a irrigação foi seguida à metodologia de Richards 1954 e Bernardo, 2019.

Dentro dos critérios citados nos resultados, apenas um ponto P04 apresentou classificação C_3 (água com salinidade alta), mantendo a classificação do período chuvoso.

Figura 2 - Diagrama de classificação para água de irrigação dos pontos do projeto período seco



Fonte: Qualigraf (FUNCEME, 2014)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas coletadas nos pontos de abrangência do projeto no período chuvoso e seco apresentaram baixo teor de sais e de condutividade elétrica, variando de 0,054 dS/m⁻¹ e 0,835 dS/m⁻¹, não apresentando riscos de salinidade, com exceção do ponto P04 que apresentou alta concentração de sais e alta condutividade elétrica.

Em relação ao risco de sodicidade, com base na razão de adsorção de sódio (RAS), as águas apresentaram baixa sodicidade, não oferecendo problemas de alcalinidade para as plantas.

De acordo com a classificação dos pontos do projeto, foi possível observar que as águas coletadas nos pontos de abrangências dessa pesquisa, apresentaram classificação que não restringe o seu uso para a irrigação, com exceção apenas, do ponto P04, que necessita da utilização de técnicas como a drenagem para que seu uso não afete negativamente as culturas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da Água de Irrigação**. Cruz das Almas – BA. Embrapa. 2010. 234p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: Informe 2016. Brasília, DF: ANA. (2016). Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-ricos>>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- AYERS, R. S.; WESTCOT. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29).
- BERNARDO, S., et al. **Manual de Irrigação**. 9ª ed. Viçosa- MG: UFV. 2019. 545p.
- CARNEIRO, M. F. C.; MAIA INGÁ, M. A.; SILVA FILHO, H. A.; SANTOS, E. V. M.; ROLIM, H. O; CHAVES, J. R. Avaliação da Qualidade da Água para Irrigação no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi no Município de Limoeiro do Norte-Ce. **VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação Anais**, PALMAS-TO, 2012.
- CARVALHO, I. R.; DE SOUZA, V. Q.; FOLLMANN, D. N.; NARDINO, M.; SCHMIDT, D.; WESTPHALEN, F & WESTPHALEN, F. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia - GO, v.10, n.18, p.1144 - 1153, 2014.
- COUTO, J. P. C.; CAVALCANTE, A. R.; SILVA, N. D.; BORGES, T. K. S. Estimativa diária da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo simples e dual para a cultura da beterraba. In: XXV – CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. São Cristóvão: **Anais...** CONIRD, 2015.
- ECODEBATE (2022). **Agricultura irrigada consome mais da metade da água no país**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/04/03/agricultura-irrigada-consome-mais-da-metade-da-agua-usada-no-pais/>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Metodologia e Recursos Hídricos. **Qualigraf – classificação das águas para fins de irrigação (SAR/USSL)**. Software, versão 1.17 - 2014.
- MORAES, A. J. **Manual para a avaliação da qualidade da água**. São Carlos: RiMa, 2001. 44p.
- OLIVEIRA, M. M. et al. Análise físico-química e microbiológica de águas de poços artesianos de uso independente. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. v. 7, n. 3, p. 624-639, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e32018624-639>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- PATERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba, SP: FUNEP/SBEA, 2001, v. 1, p. 195-253.

PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E.V. **Agricultura irrigada no Brasil: políticas públicas**. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 2022. 209p. DOI: 10.11606/9786587391212.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. de. Caracterização da qualidade de água. In: BRANCO, S. M. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo / ABRH, 1991. cap. 2, p. 27-66.

RICHARDS, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C., U.S. **Salinity Laboratory**. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

RODRIGUES, S.B.S.; et al. Necessidades hídricas de mudas de eucalipto na região centro oeste de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 212-223, abril-junho, 2011. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n2p212>. Acesso em: 17 jul. 2023.

SALES, M. M. et al. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas em reservatório da região semiárida para fins de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, p. 411-421, 2014.

SANATANA, M.J.de; et al. Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultivo da cultura da beterraba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.14, n.º.4, p. 4141 – 4153, 2020. DOI: 10.7127/rbai. V.14, n. 401185.

SILVA, E. C. R., ALVES, F. B., & DA SILVA, I. I. S. Agricultura irrigada no contexto amazônico: uma abordagem sistemática do uso da água em uma horticultura no município de Altamira-PA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 29-43, 2016.

SILVA, W. A.; SANTANA, J. S.; DA SILVA, C. M & NUNES, A. A. Regionalização de coeficiente de cultivo aplicado no planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão – Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, 2017.

SOUSA, M. J. A.; GOLÇALVES, M. F.; OLIVEIRA, J. LOPES, C. K. S. Índice de qualidade de água na sub-bacia do riacho cacau – Portal da Amazônia - Imperatriz – MA. **Research, Society and Development**, v.10, n.2. 2021.