



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ANA QUÉZIA CARVALHO BRAGA

**PRECIPITAÇÃO DE FOSFORO EM ÁGUAS COM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE CARBONATO**

MOSSORÓ/RN

2024

ANA QUÉZIA CARVALHO BRAGA

**PRECIPITAÇÃO DE FÓSFORO EM ÁGUAS COM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE CARBONATO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Vieira Pordeus.

MOSSORÓ/RN

2024

©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.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

B813p Braga, Ana Quêzia Carvalho .
PRECIPITAÇÃO DE FOSFORO EM ÁGUAS COM
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CARBONATO / Ana Quêzia
Carvalho Braga. - 2024.
37 f. : il.

Orientador: Roberto Vieira Pordeus.
Coorientador: José Mariano da Silva Neto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2024.

1. Qualidade de água. . 2. Impacto ambiental.
I. Pordeus, Roberto Vieira, orient. II. Silva
Neto, José Mariano da , co-orient. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

ANA QUÉZIA CARVALHO BRAGA

**PRECIPITAÇÃO DE FÓSFORO EM ÁGUAS COM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE CARBONATO**

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

Defendida em: 15 / 04 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ROBERTO VIEIRA PORDEUS**
Data: 19/04/2024 12:50:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Roberto Vieira Pordeus, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MARIANO DA SILVA NETO**
Data: 19/04/2024 11:22:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO NASCIMENTO DE MORAIS OLIVEIRA**
Data: 19/04/2024 13:41:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cristovam Crispim Braga e Eliane Carvalho Braga, por todo amor, suporte e incentivos.

Aos meus irmãos, Cristiano, Anderson e Dannilo e as minha irmã Laís, por sempre me fazerem ir além e alçar novos voos.

Aos meus amigos, Erivaldo, Gabriela e Monallisa por todos os momentos de conversas, tardes e noites de estudos. A união de vocês foi muito importante nessa trajetória.

A Alisson Araújo por sempre me incentivar no fim do semestre caótico assim como na finalização desse trabalho de conclusão.

Ao professor Pordeus que esteve comigo desde o primeiro semestre do curso de engenharia agrícola transmitindo o conhecimento por meios das aulas de campo e das disciplinas em sala de aula. Obrigada por desenvolver em mim o desejo de conhecer melhor a ligação entre o lado agrícola e as atribuições ambientais.

Ao Núcleo de Estudos Ambientais, a todos aqueles que passam e fizeram história, em especial: Mariano, Dayanne, Samara, Bianca e Patrícia e ao professor Celsemy Eleutério Maia, que sempre esteve próximo dando todo o suporte necessário, não apenas transmitindo conhecimento acadêmico como orientador na iniciação científica, como também transmitindo conhecimento de vida. Por sua amizade e pelas conversas regadas a café com leite e risadas.

Ao CNPq pelos três anos e sete meses como bolsista de iniciação científica e a Pró-reitora de Assuntos Estudantis da UFERSA, pela moradia universitária na vila acadêmica. Esses incentivos foram fundamentais na minha permanência na universidade durante a minha caminhada acadêmica.

As meninas que conviveram comigo na casa 02 e no apartamento 204 da Vila Acadêmica Vingt-Un Rosado da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), conhecer novas pessoas e outras culturas tanto agregaram no meu processo de amadurecimento pessoal e profissional.

RESUMO

Este estudo investigou a precipitação de fósforo em águas com diferentes concentrações de carbonato foram analisadas soluções aquosas contendo diferentes concentrações de cálcio e fósforo. Em seguida, por meio da análise dos dados obtidos a partir do espectrofotômetro UV-Vis, foi possível determinar a relação entre esses dois elementos e sua influência na formação de precipitados de fosfato. O experimento foi conduzido avaliando 5 concentrações de cálcio, 5 de fósforo com 3 repetições sendo um fatorial $5 \times 5 \times 3$ totalizando 75 parcelas. Com o intuito de avaliar a precipitação do fósforo, foram determinadas as concentrações remanescentes do elemento em cada parcela. As análises dos dados foram feitas por meio de análise de regressão para identificar como a concentração de cálcio influencia na precipitação do fósforo. Os resultados revelaram uma relação significativa entre a concentração de cálcio e a precipitação de fósforo, com um aumento observado na precipitação de fosfato à medida que a concentração de cálcio aumentava. Também foram identificadas variações na eficiência da precipitação de fosfato em diferentes concentrações de cálcio e fósforo. Esses achados destacam a complexidade da interação entre cálcio e fósforo em soluções aquosas. Essa compreensão é fundamental controle da formação de precipitados que geram entupimentos dos sistemas de irrigação como também os sais resultantes da precipitação podem vir a causar eutrofização em corpos d'água, já que a precipitação de fósforo pode influenciar diretamente na disponibilidade desse nutriente para os organismos aquáticos.

Palavras-chave: Qualidade de água. Impacto ambiental.

ABSTRACT

This study investigated the precipitation of phosphorus in waters with different carbonate concentrations. Aqueous solutions containing different concentrations of calcium and phosphorus were analyzed. Then, by analyzing the data obtained from the UV-Vis spectrophotometer, it was possible to determine the relationship between these two elements and their influence on the formation of phosphate precipitates. The experiment was conducted evaluating 5 concentrations of calcium and 5 of phosphorus with 3 replications in a 5 x 5 x 3 factorial, totaling 75 plots. In order to assess phosphorus precipitation, the remaining concentrations of the element in each plot were determined. The data was analyzed using regression analysis to identify how calcium concentration influences phosphorus precipitation. The results revealed a significant relationship between calcium concentration and phosphorus precipitation, with an observed increase in phosphate precipitation as calcium concentration increased. Variations in phosphate precipitation efficiency were also identified at different calcium and phosphorus concentrations. These findings highlight the complexity of the interaction between calcium and phosphorus in aqueous solutions. This understanding is essential to control the formation of precipitates that cause clogging of irrigation systems, and the salts resulting from precipitation can cause eutrophication in water bodies, since phosphorus precipitation can directly influence the availability of this nutrient for aquatic organisms.

Keywords: Water quality. Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de aquíferos do Rio Grande do Norte.....	15
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores concentração e de absorvência.....	22
Tabela 2 - Absorvência e valores concentração inicial de Pinicial	23
Tabela 3 - Cálcio (CaCl_2).....	24
Tabela 4 - Fósforo (P).....	24
Tabela 5 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 15,91mg/L	26
Tabela 6 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 33,71mg/L	26
Tabela 7 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 48,00mg/L	27
Tabela 8 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 53,80mg/L	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de calibração do espectrofotômetro com os valores de absorbância por concentração (mg/L).....	23
Gráfico 2 - Concentração inicial de fosforo a 15,91 mg/L.....	25
Gráfico 3 - Concentração inicial de fosforo a 33,71mg/L.....	26
Gráfico 4 - Concentração inicial de fosforo a 48,00mg/L.....	27
Gráfico 5 - Concentração inicial de fosforo a 53,80mg/L.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABS	Absorbância
Ca^{+2}	Cálcio
Na^{+}	Sódio
Mg^{+2}	Magnésio
HCO^{-}	Bicarbonato
Cl^{-}	Cloro
SO_4^{-}	Sulfato
NO_3^{-}	Nitrato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivos Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Formações geológicas na região da Chapada do Apodi	14
3.2 Irrigação e fertirrigação	16
3.3 Fósforo	18
3.4 Precipitação do cálcio e fósforo	19
3.5 Impacto ambiental do Fosforo lixiviado	20
3.6 Espectrofotômetro	Erro! Indicador não definido.
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A região da Chapada do Apodi, no oeste do estado do Rio Grande do Norte, destaca-se por seus solos naturalmente férteis e sua posição como polo produtor de frutas frescas no Nordeste brasileiro. O melão é a cultura principal nesta região, com o melão potiguar liderando a produção nacional, representando 63,2% da produção total do país (IBGE, 2023). Além do melão, também são cultivados banana, melancia e mamão. A produção abastece tanto o mercado interno quanto externo.

A fruticultura é um dos pilares econômicos mais importantes do estado do Rio Grande do Norte, contribuindo significativamente para o crescimento e desenvolvimento da região. A riqueza e diversidade das frutas cultivadas nesse estado brasileiro tornaram-no um dos principais produtores e exportadores do país, com destaque especial para produtos como melão, banana, melancia e mamão. Em 2022, as exportações de frutas do Rio Grande do Norte atingiram um marco significativo, totalizando impressionantes US\$ 163 milhões em valor. Esse valor representa uma fatia considerável das exportações totais do estado, correspondendo a cerca de 22% do total dos produtos exportados. Esse desempenho coloca a fruticultura potiguar em posição de destaque, consolidando sua importância no cenário econômico não apenas regional, mas também nacional (ABRAFRUTAS, 2023).

A agricultura na região da Chapada do Apodi é principalmente irrigada, utilizando águas de poços provenientes dos aquíferos do arenito açu e do calcário Jandaíra. Devido à predominância de calcários e arenitos na região, a presença de riachos e rios é limitada, resultando na exploração de recursos hídricos subterrâneos para irrigação (Fernandes *et al.*, 2005).

A qualidade da água subterrânea está diretamente relacionada aos tipos de rochas que formam os solos e aos íons dissolvidos durante o processo de intemperização das rochas, liberados quando em contato com a água (Silva Júnior *et al.*, 1999). Nas águas do aquífero Jandeira, presentes na região da Chapada do Apodi, são observadas elevadas concentrações de cálcio, provenientes das formações geológicas.

Portanto, é essencial avaliar a qualidade das águas subterrâneas pela composição iônica, uma vez que o excesso de cátions e ânions pode prejudicar o solo e as plantas cultivadas, dependendo da tolerância destas aos sais presentes. É importante destacar que existe a possibilidade de precipitação de sais nas águas de irrigação, especialmente quando há interação com fertilizantes aplicados via fertirrigação, o que reduz a eficiência da adubação e pode causar danos ao meio ambiente.

O fósforo é um dos macronutrientes exigidos em menores quantidades pelas plantas e pode ser suprido no solo por meio da fertirrigação. Portanto, é necessário conhecer a composição química da água para a prática da fertirrigação em áreas irrigadas, especialmente em relação à aplicação de fósforo via água, em casos de alta concentração de cálcio, como observado nas águas do aquífero do calcário Jandaíra.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o risco de precipitação do fósforo em relação às concentrações de cálcio. Foram realizadas análises afim de avaliar os parâmetros que podem influenciar a precipitação do fósforo, especialmente diante das diferentes concentrações de cálcio presentes.

Os resultados obtidos poderão contribuir para o desenvolvimento de práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis para a produção de frutas na região, além de subsidiar a tomada de decisões relacionadas à gestão dos recursos hídricos e à preservação do meio ambiente.

Portanto, este estudo é de suma importância para compreender os processos de interação entre os nutrientes presentes na água de irrigação e o solo, visando promover uma agricultura mais produtiva e ambientalmente responsável na região da Chapada do Apodi e em áreas similares.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

O presente trabalho buscou avaliar a qualidade da água de irrigação com o intuito de identificar o efeito da concentração de cálcio na precipitação de fósforo na água de irrigação.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade da água de irrigação com o intuito de identificar como a concentração de cálcio influencia na precipitação do fósforo.
- Qual a concentração de cálcio é recomendada aplicar fósforo via água de irrigação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Formações geológicas na região da Chapada do Apodi

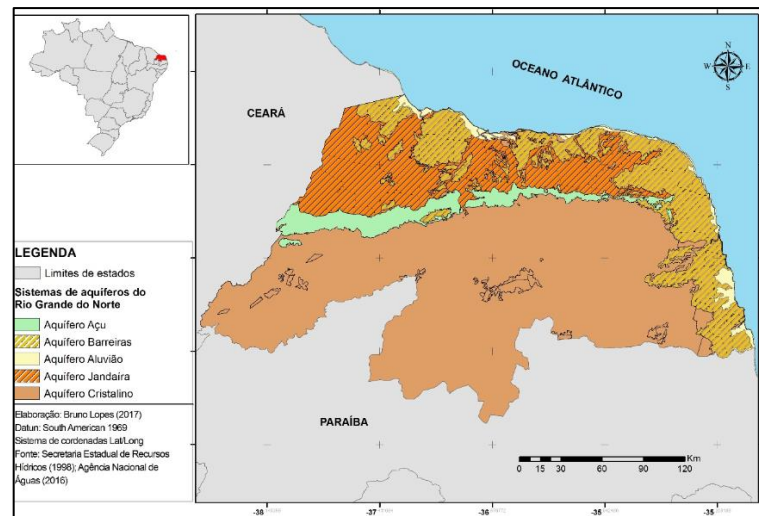
Os aquíferos são essenciais para o equilíbrio hídrico do planeta, sendo formações geológicas fundamentais geradas a partir do processo de infiltração das águas das chuvas. Essas águas percorrem lentamente o perfil do solo, infiltrando-se em camadas porosas e permeáveis da terra, onde são armazenadas, formando verdadeiras reservas de águas subterrâneas. Uma parte dessas águas segue fluxos subterrâneos, fluindo silenciosamente sob a superfície da terra, alimentando nascentes e olhos d'água, além de abastecer os poços que fornecem água para uso humano, agrícola e industrial.

Essa complexa rede de fluxos subterrâneos desempenha um papel crucial na manutenção dos ecossistemas terrestres e na garantia do acesso à água potável para diversas comunidades em todo o mundo. Segundo a Resolução n. 15/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) “Aquífero é o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”. (BRASIL, 2001, p. 19).

Os aquíferos são verdadeiros tesouros escondidos sob a superfície da Terra, transformando-se em vastos reservatórios de águas subterrâneas que abrigam cerca de 90% do total de água doce existente no estado líquido em todo o planeta. Essas imensas reservas subterrâneas desempenham um papel vital no fornecimento de água para inúmeras comunidades ao redor do mundo, impactando diretamente a vida de aproximadamente 1,5 bilhões de pessoas. Essa água subterrânea não apenas atende às necessidades básicas de consumo humano, mas também é fundamental para a agricultura, a indústria e a preservação dos ecossistemas. Assim, os aquíferos representam não apenas uma fonte valiosa de recursos hídricos, mas também uma peça fundamental na sustentabilidade e na sobrevivência de bilhões de pessoas em todo o mundo, destacando a importância crítica da gestão responsável e sustentável desses preciosos reservatórios subterrâneos (Bezerra, 2008).

A região da Chapada do Apodi, situada na divisa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, destaca-se pela presença marcante de duas formações geológicas distintas: o Arenito Açú e o Calcário Jandaíra. Essas formações, ao longo de milênios, moldaram a paisagem e influenciaram profundamente a vida e as atividades humanas na região. (Mota et al., 2007).

Figura 1 - Sistemas de aquíferos do Rio Grande do Norte



Fonte: Ana, 2016

A formação Açu é uma das características geológicas mais marcantes da região da Chapada do Apodi, apresentando uma composição sedimentar rica e diversificada, composta principalmente por sedimentos clásticos, essa formação se distingue por suas camadas espessas, que variam entre areias finas e seixos de diferentes tamanhos. Essa diversidade sedimentar confere à formação Açu uma complexidade única, com aspectos de aquífero confinado em áreas onde se sobrepõe ao Calcário Jandaíra e características de aquífero livre nas zonas de recarga, especialmente nas regiões de afloramento. As camadas sedimentares da formação Açu também revelam uma variedade de materiais, incluindo intercalações de folhelhos, arenitos avermelhados, cinzas e camadas brancas (Fernandes *et al.*, 2005).

Essa heterogeneidade na composição dos sedimentos sugere uma história geológica rica e dinâmica, com mudanças climáticas e ambientais ao longo de milhares de anos. Além disso, a formação Açu desempenha um papel importante na hidrologia regional, servindo como reservatório natural de água em áreas confinadas e contribuindo para a recarga de aquíferos livres nas regiões de afloramento. Essa interação entre as características geológicas da formação Açu e o ciclo hidrológico da região desempenha um papel crucial na disponibilidade de água para as comunidades locais, além de influenciar diretamente na biodiversidade e na sustentabilidade dos ecossistemas da Chapada do Apodi (Fernandes *et al.*, 2005).

Diferentemente do Arenito Açu, o calcário Jandaíra apresenta águas com dureza elevada, principalmente por conta de sua formação, que envolvem calcários cinzas, dolomitos, siltitos e argilitos em algumas regiões, o calcário é recoberto por sedimentos arenosos, originários do Grupo Barreiras (Mota *et al.*, 2008).

Os sedimentos possuem coloração variando entre creme e cinza. A superfície apresenta uma região de relevo plano com poucas ondulações, sendo caracterizado pelo solo argiloso. Dispõe em sua formação um aquífero livre, predominantemente cárstico, onde as fendas atuam como reservatório e auxiliam nos fluxos de água dentro do aquífero, tendo como limites níveis argilosos da Formação Açu (Fernandes *et al.*, 2005).

As águas do aquífero Jandaira possuem grande concentração de íons derivados dissolução de rochas carbonáticas, os íons geralmente encontrados são: Ca^{+2} ; Na^{+} ; Mg^{+2} ; K^{+} ; Cl^{-} ; HCO_3^{-} ; SO_4^{-} ; NO_3^{-} ; possuem como cations predominantes o Ca^{+2} e Mg^{+2} , respectivamente. Já nos ânions encontra-se o bicabornato (HCO^{-}) em seguido do Cl^{-} (Oliveira, 2017). Dessa forma, as águas do aquífero Jandaira possuem altas concentrações de cálcio.

Na região da chapada do Apodi, um dos maiores problemas encontrados são relacionados aos maiores valores de pH e concentração de íons de bicarbonato em águas subterrâneas, afetando diretamente a qualidade de água da região seja em poços profundos que estão confinados pelo arenito como em poços rasos que são influenciados pelo calcário (Oliveira e Maia, 1998).

3.2 Irrigação e fertirrigação

A irrigação constitui-se uma junção de técnicas usadas para aplicação de águas nas culturas de maneira a suplementar necessidade hídrica das plantas, seja de forma parcial ou completa. Devido às irregularidades do período chuvoso. A irrigação é um dos fatores que garante a produção durante todo o ano e com perspectivas de aumento da produtividade agrícola.

Em regiões áridas e semiáridas, como é o caso da região da chapada do Apodi, o uso da irrigação localizada destaca-se devido a sua baixa taxa de evaporação, visto que, a aplicação de água restringe-se apenas na região das raízes, irrigando o solo de forma uniforme mantendo a umidade adequada para desenvolvimento da cultura logo aumentando a produtividade e a eficiência com uso de fertilizantes via água de irrigação.

Estudos indicam que a irrigação localizada, especialmente por gotejamento, é amplamente reconhecida por sua alta eficiência em comparação com outros métodos de irrigação convencionais. Pesquisas conduzidas por Mantovani (*et al.*, 2009) apontam que a eficiência desse sistema pode variar entre 85 a 95%, demonstrando que a água é aplicada de forma mais uniforme e em menor quantidade em comparação com outros métodos de irrigação.

Ao utilizar a irrigação localizada, como destacado por Ayars (*et al.*, 1999), os benefícios vão além da eficiência hídrica. O uso dessa técnica contribui significativamente para a redução do desperdício de água, pois ela é entregue diretamente às raízes das plantas, evitando perdas por evaporação ou escoamento superficial. Além disso, a irrigação localizada protege contra as perdas de fertilizantes, uma vez que os nutrientes podem ser aplicados diretamente na água de irrigação, garantindo sua absorção pelas plantas de forma eficaz e minimizando o risco de lixiviação.

Portanto, ao adotar a irrigação localizada, os agricultores não apenas otimizam o uso da água, mas também melhoram a eficiência na aplicação de fertilizantes, contribuindo para um manejo mais sustentável e produtivo dos recursos hídricos e nutricionais disponíveis. Essa abordagem se mostra crucial em cenários onde a escassez de água e a preocupação com a conservação dos recursos naturais são cada vez mais evidentes, destacando a importância da adoção de práticas agrícolas que promovam a eficiência e a sustentabilidade.

Os nutrientes são responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas que durante o ciclo produtivo, geralmente são obtidas a partir do solo. Porém, em áreas agrícolas a capacidade dos solos em fornecer os nutrientes é reduzida com o passar das safras, atualmente os fertilizantes são a principal fonte de reposição de nutrientes do solo sendo um dos grandes propulsores da produtividade agrícola.

Os fertilizantes desempenham um papel fundamental na nutrição das plantas, sendo essenciais para promover um crescimento saudável e uma produção agrícola abundante. Existem diferentes métodos de aplicação de fertilizantes, sendo que um dos mais eficientes e precisos é a fertirrigação. Nesse método, os fertilizantes são aplicados diretamente na água de irrigação, permitindo uma distribuição uniforme dos nutrientes ao longo do sistema radicular das plantas (Langoni *et al.*, 2019).

A fertirrigação oferece diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais de aplicação de fertilizantes. Primeiramente, possibilita um parcelamento mais preciso das doses de nutrientes, permitindo uma administração mais eficiente e personalizada de acordo com as necessidades específicas das plantas em cada estágio de crescimento. Além disso, a aplicação dos fertilizantes via água de irrigação garante uma absorção mais rápida e eficaz dos nutrientes pelas plantas, uma vez que são entregues diretamente à zona radicular, onde são prontamente utilizados. A fertirrigação pode ser realizada de diferentes formas, sendo os métodos de gotejamento e aspersão os mais comuns. No método de gotejamento, os fertilizantes são misturados à água de irrigação e aplicados diretamente no solo por meio de gotejadores instalados ao longo da área cultivada. Já no método de aspersão, os fertilizantes são

pulverizados sobre a cultura durante a irrigação, garantindo uma cobertura uniforme e eficiente (Langoni *et al.*, 2019).

É importante ressaltar que a fertirrigação requer um planejamento cuidadoso e a utilização de tecnologias adequadas para garantir a correta dosagem e distribuição dos fertilizantes. No entanto, quando realizada de maneira adequada, a fertirrigação pode ser uma ferramenta poderosa para aumentar a eficiência dos sistemas de produção agrícola, promovendo uma nutrição equilibrada das plantas e maximizando os rendimentos das colheitas (Langoni *et al.*, 2019).

3.3 Fósforo

O fósforo desempenha uma série de funções vitais no metabolismo das plantas, influenciando diretamente seu crescimento, desenvolvimento e produção. Conforme destacado por Malavolta (2006), esse nutriente desempenha um papel fundamental no processo de divisão celular, sendo essencial para a síntese de proteínas que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, o fósforo é crucial para a frutificação das plantas, atuando na regulação da maturação dos frutos e na formação de sementes.

No entanto, apesar do potencial agrícola reconhecido dos solos brasileiros, muitas vezes há uma carência de fósforo, o que pode limitar o crescimento e a produtividade das culturas. Essa deficiência ocorre porque o fósforo no solo frequentemente se encontra na forma de compostos inorgânicos, como cátions de cálcio, alumínio e ferro, ou em compostos orgânicos que não são facilmente assimiláveis pelas plantas, conforme apontado por Akhtar *et al.*, (2007) e Silva *et al.*, (2017).

A disponibilidade de fósforo no solo é influenciada por uma série de fatores complexos, incluindo interações com os coloides do solo, teor de matéria orgânica, atividade biológica e diversos atributos do solo, como pH e força iônica. Além disso, a umidade do solo, a quantidade e qualidade da fração argila também desempenham um papel significativo na disponibilidade de fósforo para as plantas, como salientado por Pierzynski (*et al.*, 2005).

O pH do solo desempenha um papel crucial na disponibilidade de fósforo para as plantas, influenciando diretamente os processos de absorção e retenção desse nutriente. Em solos ácidos, com valores de pH abaixo de 7, ocorre a formação de fosfatos de ferro e fosfatos de alumínio, o que resulta em uma baixa disponibilidade de fósforo para as plantas. Conforme destacado por Penn e Camberato (2019), o pH ideal para a maior taxa de absorção e disponibilidade de fósforo é em torno de 6,5.

Por outro lado, em solos alcalinos, com valores de pH entre 7,5 e 8,5 e presença de calcário, ocorre a precipitação de uma grande fração do fósforo na forma de fosfato de cálcio, devido à interação com íons de cálcio (Ca^{2+}). Nesse ambiente alcalino, as raízes das culturas absorvem o fósforo na forma de H_2PO_4 em pH ácido e na forma de $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ em meio alcalino, conforme apontado por diversos estudos.

Apesar da facilidade de absorção pelo solo, o fósforo é retido devido ao seu elevado poder de imobilização, resultando em uma taxa de utilização relativamente baixa, como evidenciado por Weihrauch e Opp (2018) e Zhao (*et al.*, 2021). Em muitos casos, essa baixa eficiência no uso do fósforo leva à aplicação excessiva de fertilizantes minerais, conforme mencionado por Xiao (*et al.*, 2020). Embora os solos possam conter uma quantidade total significativa de fósforo, apenas uma pequena fração, cerca de 0,1%, está disponível na solução do solo para ser absorvida pelas raízes das plantas, como destacado por Novais (*et al.*, 2007).

É importante salientar que as rochas fosfáticas, principais fontes de fósforo, são recursos não renováveis e sua exploração está sujeita a limitações. Estima-se que, se o ritmo atual de extração persistir, a exploração dessas rochas pode se tornar inviável em cerca de 50 anos (Natasha, 2009).

Uma alternativa encontrada para minimizar a quantidade de fosforo aplicados no solo é o uso da fertirrigação, a aplicação dos fertilizantes fosfatados na água da irrigação reduz significativamente a quantidade de P fixada pelo solo (Yang *et al.*, 2011) isso porque o P fica dissolvido em água é aplicado juntamente na zona radicular das plantas, dessa forma, uniformizando a aplicação e aumentando a eficiência de utilização do fosforo (Fan *et al.*, 2020). Porém, o principal desafio a ser solucionado com relação ao uso de fertilizantes fosfatados via água de irrigação é a precipitação do P que gera entupimento nos sistemas de irrigação em especial em águas com elevadas concentrações de cálcio.

3.4 Precipitação do cálcio e fósforo

O bicarbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ é encontrado em dissolvido em águas calcárias que apresentam elevadas concentrações do elemento, possuem baixa solubilidade podendo ser dissociado em CO_2 e CaCO_3 . (Lima & Silva, 2000) A predominância de sólidos carbonatos de cálcio em solução pode ocorrer a propensão de precipitação em altas temperaturas e determinados valores de pH de acordo com a composição iônica (Ribeiro *et al.*, 2008).

O índice de Langelier ou índice de saturação de carbonato de cálcio na solução (Langelier, 1936), conforme encontrado na equação abaixo:

$$IS = pHa - pHc, \text{ onde (1)}$$

IS= Índice de saturação

pHa = pH atual da água

pHc = pH teórico de equilíbrio $CaCO_3$ com a água.

Se os valores de IS forem negativos há subsaturação de $CaCO_3$ e tendência da água ser corrosiva o que pode acarretar causar prejuízos nos equipamentos usados na irrigação, já se os valores forem positivos existe uma tendência para a formação de precipitados que podem gerar obstruções.

Em estudos no RN realizados por Oliveira e Maia, observaram que índice de Langelier, que cerca de 60% da água analisada da região com predomínio de calcários apresentam valores positivo, sendo o risco de precipitação de íons de carbonato na forma $CaCO_3$ (Oliveira e Maia, 1998). Conforme, Ayers e Westcot (1991), águas com concentração de Ca^{2+} maiores que 6,0 me L-1 e bicarbonato 5,0 me L-1 podem ocorrer precipitações na fertirrigação com uso de fertilizantes fosfatados.

A precipitação dos fertilizantes fosfatados em águas calcárias dá-se devido desequilíbrio na solução, isto é, a solução fica saturada com P e Ca^{2+} dissolvidos levando a formação de fosfatos de cálcio. A reação é favorecida quando adicionado fósforo e cálcio na solução e com aumento do pH (Penn e Camberato, 2019).

3.5 Impacto ambiental do Fósforo lixiviado

O excesso de fósforo nos solos pode ser lixiviado pelas águas das chuvas, o fosfato lixiviado proveniente de solos agrícolas pode ter um impacto significativo no meio ambiente, especialmente quando alcança corpos d'água adjacentes. Quando o fósforo atinge esses ecossistemas aquáticos, ele pode desencadear processos de eutrofização, que é o enriquecimento excessivo de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em corpos d'água (Natasha, 2009).

A eutrofização resulta no crescimento descontrolado de algas e outras plantas aquáticas, levando à formação de grandes tapetes de vegetação que cobrem a superfície da água. Esse

fenômeno reduz a quantidade de luz solar que atinge a camada mais profunda da água, inibindo o crescimento de outras plantas aquáticas e prejudicando a vida aquática (Penn e Camberato, 2019).

Além disso, quando as algas e outras plantas aquáticas morrem, seus restos orgânicos são decompostos por bactérias, um processo que consome oxigênio da água. Isso pode levar à depleção de oxigênio dissolvido na água, causando a morte de peixes e outros organismos aquáticos por asfixia (Mota *et al.*, 2007). Esses impactos negativos na qualidade da água têm consequências diretas para os ecossistemas aquáticos e também para as comunidades humanas que dependem desses corpos d'água para recreação, pesca e abastecimento de água potável (Silva Jr. *et al.*, 1999).

Portanto, é essencial adotar práticas agrícolas sustentáveis que reduzam a lixiviação de fósforo para os cursos d'água, como a aplicação precisa de fertilizantes, o manejo adequado do solo e a implementação de práticas de conservação, visando mitigar os impactos ambientais e proteger a qualidade da água (Ayars *et al.*, 1999).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Hidrogeoquímica Ambiental do Núcleo de Estudos Ambientais da UFERSA.

4.2 Equipamento

O equipamento usado para realizar as análises foi o espectrofotômetro-UV-Vis. Os valores obtidos do espectrofotômetro são expressos em absorbância (ABS).

O espectrofotômetro é um instrumento amplamente utilizado em diversas áreas da ciência e da indústria para medir a absorbância ou transmitância de luz em uma amostra. Ele opera com base no princípio de que substâncias químicas absorvem luz em comprimentos de onda específicos, permitindo a quantificação da concentração de uma substância na amostra.

4.3 Curva de Calibração

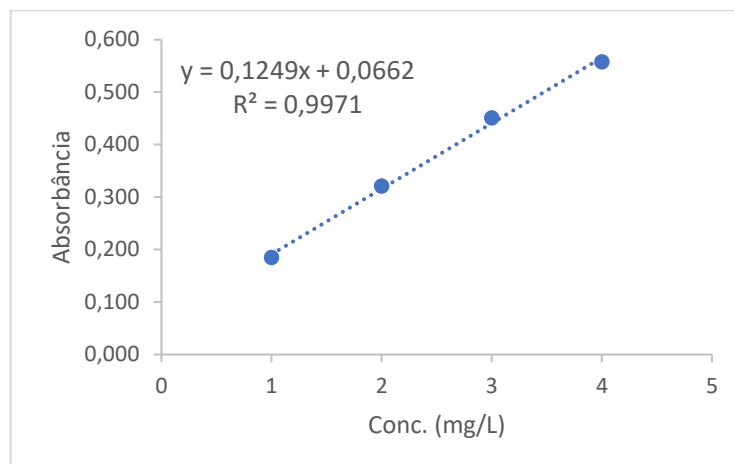
Primeiramente, foram preparadas soluções nas concentrações de fósforo a 1mg/L; 2mg/L; 3mg/L; 4mg/L com o intuito realizar obter os valores absorbância das concentrações, logo após, os dados foram plotados em uma planilha no Excel foram calculadas as médias aritméticas das três leituras do equipamento e com posse desses dados foi possível obter a curva de calibração ajustando em um modelo polinomial com coeficiente relação (R^2) representativo, conforme é possível verificar abaixo:

Tabela 1 - Valores concentração e de absorbância

C (mg/L)	ABS1	ABS2	ABS3	Média
1	0,195	0,184	0,175	0,185
2	0,345	0,318	0,299	0,321
3	0,445	0,460	0,447	0,451
4	0,551	0,556	0,566	0,558

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Gráfico 1 - Curva de calibração do espectrofotômetro com os valores de absorbância por concentração (mg/L)



Fonte: Elaboração do autor, 2024

Desse modo, os valores iniciais das concentrações de P presente nas amostras estão descritos na tabela abaixo e foram 53,80mg/L; 48,00 mg/L; 33,71 mg/L e 15,91 mg/L, Descritos na tabela 2:

Tabela 2 - Absorbância e valores concentração inicial de Pinicial

ABS1	ABS2	ABS3	Média	C(mg/L)
0,32	0,32	0,33	0,32	53,80
0,33	0,36	0,36	0,35	48,00
0,44	0,45	0,45	0,45	33,71
0,39	0,40	0,40	0,40	15,91

Fonte: Elaboração do autor, 2024

4.3 Planejamento fatorial

As soluções Ca e P foram preparadas utilizando a metodologia do manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da Embrapa (EMBRAPA, 2009). As fontes de Cálcio foram obtidas a partir da solução de CaCl_2 e de fósforo por meio do KH_2PO_4 .

Após as determinações das quantidades de cálcio e fósforo a serem usadas nas amostras obteve-se os valores das concentrações a serem analisadas no experimento em mg/L. Sendo as concentrações para cálcio de 0,00 g/L; 100,20 mg/L; 200,39 mg/L; 300,59 mg/L e 400,78 mg/L e de Fósforo de 0 mg/L; 10mg/L; 20mg/L; 30 mg/L e 40 mg/L. Conforme as tabelas 3 e 4 abaixo:

Tabela 3 - Cálcio (CaCl₂)

mmolc/L	mg/L Ca	g/L Ca	MM CaCl₂	MM Ca	%Ca	Pureza	g/L CaCl₂
0	0,00	0,00	147,02	40,08	27,26	100	0,00
5	100,20	0,10	147,02	40,08	27,26	100	0,37
10	200,39	0,20	147,02	40,08	27,26	100	0,74
15	300,59	0,30	147,02	40,08	27,26	100	1,10
20	400,78	0,40	147,02	40,08	27,26	100	1,47

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Tabela 4 - Fósforo (P)

mg/L P	g/L P	MM KH₂PO₄	MM P	% P	Pureza	g/L P
0	0,00	136,09	30,97	22,76	100,00	0,000
10	0,01	136,09	30,97	22,76	100,00	0,044
20	0,02	136,09	30,97	22,76	100,00	0,088
30	0,03	136,09	30,97	22,76	100,00	0,132
40	0,04	136,09	30,97	22,76	100,00	0,176

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Dessa forma, o experimento foi conduzido avaliando 5 concentrações de cálcio, 5 de fósforo com 3 repetições sendo um fatorial 5 x 5 x 3 totalizando 75 parcelas. Para avaliar a precipitação do fósforo, foram determinadas as concentrações remanescentes do elemento em cada parcela. As análises dos dados foram feitas por meio de análise de regressão para identificar como a concentração de cálcio influencia na precipitação do fósforo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

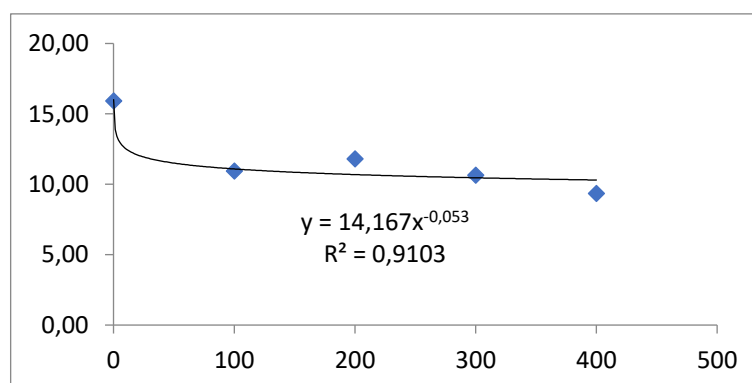
Em relação à pesquisa teórica, os resultados da revisão bibliográfica forneceram uma base sólida de conhecimento sobre a influência do cálcio na precipitação de fósforo em soluções aquosas, destacando estudos anteriores e teorias relevantes. A literatura revisada também destacou a importância de considerar fatores como pH, temperatura, concentração de íons e proporções entre cálcio e fósforo na determinação da eficiência da precipitação de fosfatos. Essa compreensão teórica foi essencial para fundamentar a análise dos resultados experimentais e interpretar as observações obtidas durante as análises feita em laboratório.

Na pesquisa, os resultados foram apresentados em tabelas, mostrando a porcentagem de precipitação de fósforo para diferentes concentrações de cálcio e fósforo. Foi observado que a concentração de cálcio teve um impacto significativo na precipitação de fósforo, com taxas de precipitação variando de acordo com as concentrações de fósforo e cálcio.

A análise dos resultados revelou padrões significativos na precipitação de fósforo em diferentes concentrações de cálcio, partindo de concentrações iniciais de fósforo de 15,91mg/L, 33,71 mg/L, 48,00 mg/L e 53,80 mg/L.

Para a concentração inicial de fósforo a 15,91 mg/L, observou-se que a precipitação de fósforo aumentou à medida que a concentração de cálcio aumentou. Por exemplo, com uma concentração de cálcio de 0 mg/L, a porcentagem de precipitação de fósforo foi de 0%, enquanto com uma concentração de cálcio de 400 mg/L, a porcentagem de precipitação de fósforo aumentou para 41,25%. Conforme é possível visualizar no gráfico 02 e tabela 05:

Gráfico 2 - Concentração inicial de fosforo a 15,91 mg/L



Fonte: Autoria própria (2024)

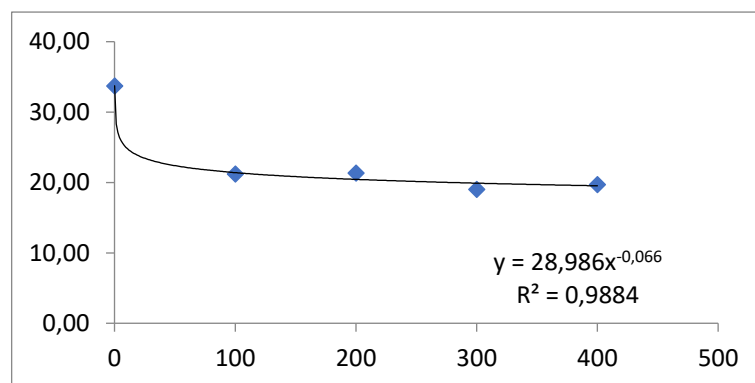
Tabela 5 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 15,91mg/L

Cálcio	Pinicial	Média Pfinal	%P Prec
0	15,91	15,91	0,00
100	15,91	10,94	31,25
200	15,91	11,81	25,74
300	15,91	10,65	33,06
400	15,91	9,35	41,25

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Para a concentração inicial de fósforo a 33,71 mg/L, os resultados mostraram uma tendência semelhante, com um aumento na precipitação de fósforo à medida que a concentração de cálcio aumentou. A porcentagem de precipitação de fósforo variou de 0% (sem cálcio) a 41,51% (com 400 mg/L de cálcio). De acordo com o gráfico 03 e tabela 06:

Gráfico 3 - Concentração inicial de fosforo a 33,71mg/L



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 6 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 33,71mg/L

Cálcio	Pinicial	Média Pfinal	%P Prec
0	33,71	33,71	0,00
100	33,71	21,22	37,07
200	33,71	21,37	36,61
300	33,71	19,02	43,57
400	33,71	19,72	41,51

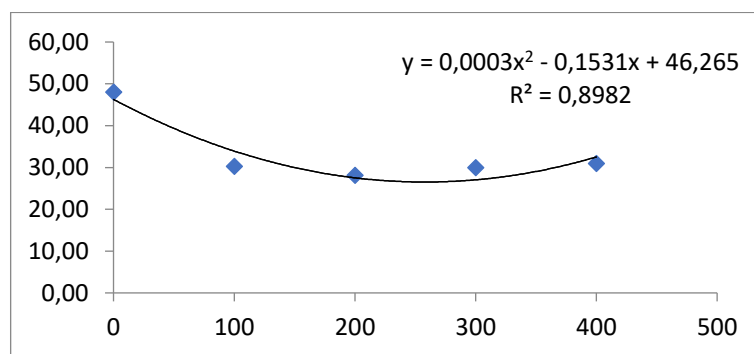
Fonte: Elaboração do autor, 2024

Esses padrões foram consistentes em todas as concentrações iniciais de fósforo testadas, indicando uma relação clara entre a concentração de cálcio e a precipitação de fósforo. Por exemplo, para a concentração inicial de fósforo a 48,00 mg/L, a porcentagem de precipitação

de fósforo aumentou de 36,95% (com 100 mg/L de cálcio) para 41,46% (com 200 mg/L de cálcio) e 49,74% (com 300 mg/L de cálcio).

Logo em sequência, os valores de P a 48,00 mg/L em soluções contendo o cálcio a taxa de precipitação de fósforo de 36,95% quando a concentração de Ca a 100mg/L e variando 35,74% a 41,46% no percentual de precipitação de fósforo. Segundo os dados da tabela 07 e gráfico 04

Gráfico 4 - Concentração inicial de fosforo a 48,00mg/L



Fonte: Autoria própria (2024)

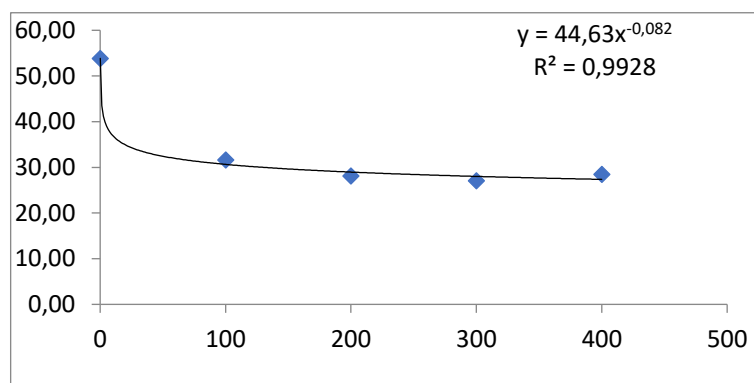
Tabela 7 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 48,00mg/L

Cálcio	Pinicial	Média Pfinal	%P Prec
0	48,00	48,00	0,00
100	48,00	30,26	36,95
200	48,00	28,10	41,46
300	48,00	29,93	37,65
400	48,00	30,97	35,47

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Quando adicionado P a 53,80mg/L em soluções contendo o cálcio foi possível observar que a taxa de precipitação de fósforo de 41,38% já na primeira concentração de Ca a 100mg/L e seguindo o aumento das precipitações P em 47,81% e 49,74% para 200mg/L e 300mg/L. O que possível visualizar na tabela 08 e gráfico 05.

Gráfico 5 - Concentração inicial de fósforo a 53,80mg/L



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 8 - Porcentagem de precipitação de fósforo a 53,80mg/L

Cálcio	Pinicial	Média Pfinal	%P Prec
0	53,80	53,80	0,00
100	53,80	31,55	41,36
200	53,80	28,08	47,81
300	53,80	27,04	49,74
400	53,80	28,43	47,17

Fonte: Elaboração do autor, 2024

Nesse sentido, os resultados demonstraram uma clara relação entre a concentração de cálcio e a precipitação de fósforo. Observou-se que, à medida que a concentração de cálcio aumentou, houve um aumento correspondente na precipitação de fósforo. Esse padrão sugere que o cálcio desempenha um papel crucial na formação de precipitados de fosfato, possivelmente por meio da formação de complexos insolúveis com íons fosfato presentes na solução. Essa compreensão é fundamental controle da formação de precipitados que geram entupimentos dos sistemas de irrigação como também os sais resultantes da precipitação podem vir a causar eutrofização em corpos d'água, já que a precipitação de fósforo pode influenciar diretamente na disponibilidade desse nutriente para os organismos aquáticos.

Além disso, a variação na porcentagem de precipitação de fósforo em diferentes concentrações de cálcio destaca a complexidade dessa interação. Por exemplo, mesmo com concentrações mais baixas de cálcio, ainda ocorreu alguma precipitação de fósforo, embora em menor magnitude. Isso sugere que outros fatores, além da concentração de cálcio, podem

influenciar a formação de precipitados de fosfato, como o pH da solução, a presença de outros íons.

Em experimentos realizado por Xiao et al. (2023) foram analisadas as concentrações dos íons cálcio (25, 50, 100 e 200 mg L⁻¹) relacionando concentrações sem presença de fosforo, na presença de fosfato de uréia e fosfato monoamônico sendo que concentração de aplicação do fertilizante fosfatado foi fixada em 300 mg L⁻¹ e o experimento foi conduzindo montando sistema de emissores de gotejamento avaliando as precipitações no sistemas de irrigação. Os resultados da pesquisa mostram que o risco de entupimento causado pelas fontes de P aumentou a medida que a concentração de cálcio aumentou. Quando a concentração de Ca era de 200 mg L⁻¹, as aplicações de fertilizantes fosfatados elevaram o peso das incrustações em 18–36%. (Xiao et al. 2023)

Estudos realizados por Naseri descrevem quando maior a concentração de cálcio nas águas mais rapidamente ocorre as incrustações gerados pela precipitação. (Naseri et al. 2015) resultados semelhantes também foram encontrados por Al Nasser, WN, e Al Salhi (2013)

De Souza, et al., ao avaliar um banco de dados de análises de água da região contendo 368 amostras de água, sendo 289 de poço, 55 de rio e 24 de açude. Apresentaram as quantidades máximas e mínimas de cálcio variam entre os valores de 5,0 a 300,0; 6,0 a 147,0; 9,0 a 140,0 mg/L em lâmina de 100mm para águas de poço, rio e açude respectivamente. Tendo destaque para as águas de poço que possuem em média de 65,60 mg/L, seguido das águas de açude 46,96 e rio 41,9 mg/L. (Os valores foram convertidos de kg/ha para mg/L). (De Souza, et al., 2017)

Segundo Ayers e Westcot (1991), as águas com concentração de cálcio maior que 120mg/L já podem ocorrer precipitações na fertirrigação de fertilizantes fosfato. Os resultados obtidos por De Souza, et al., demonstram que águas da região da chapada do Apodi possuem tendencia de precipitar quando adicionado as concentrações de fosforo por apresentam teores maiores de quantidade de cálcio em suas fontes naturais.

Por fim, ao relacionar os resultados do experimento com a água de irrigação encontrada na região da Chapada do Apodi, é possível extrapolar algumas considerações importantes. As águas de irrigação na região da chapada do Apodi são ricas naturalmente de cálcio intrinsecamente ligado à sua formação geológica, com os resultados deste trabalho é possível observar as concentrações de cálcio por menores que sejam pode levar a precipitação de fosforo em sistema controlado.

O estudo sugere que haja uma reavaliação da aplicação de fósforo em águas com teores elevados de cálcio para via de irrigação tendo em vista o impacto econômico e ambiental. Assim também que haja primeiramente análise de água da região para avaliar as quantidades presentes de fosforo e cálcio em suas fontes naturais. Isso poderia contribuir para mitigar os problemas de precipitação, entupimento nos sistemas de irrigação e eutrofização dos corpos hídricos.

No entanto, é fundamental ressaltar que os resultados do experimento foram obtidos em condições de laboratório e podem não representar completamente a complexidade dos sistemas aquáticos naturais presentes na região da Chapada do Apodi.

6 CONCLUSÃO

Os resultados revelaram uma relação significativa entre a concentração de cálcio e a precipitação de fósforo, foi possível observar uma relação com o aumento na precipitação de fosfato à medida que a concentração de cálcio aumentava. Quando a concentração inicial de fósforo a 15,91 mg/L a taxa de precipitação de fósforo variou de 31,25 % a 41,25%, sendo a concentração inicial de 33,71 mg/L a porcentagem de precipitação de fósforo 36,61% a 43,57% já para concentração inicial de P a 48,00 mg/L a porcentagem de precipitação ficou entre 36,95% a 41,46% e por fim concentração inicial de P a 53,80 mg/L 41,36% a 49,74%. O que indica uma forte correlação entre esses dois íons na formação de precipitados. Dessa forma é necessário que haja análise das águas da região para avaliar as quantidades presentes de fósforo e cálcio em suas fontes naturais e pode vir a mitigar os efeitos da precipitação de fósforo, entupimento nos sistemas de irrigação e eutrofização dos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS – Associação Brasileira dos produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. Exportações do RN fecham 2022 em alta, com crescimento de 43,1%. **ABRAFRUTAS**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/01/exportacoes-do-rn-fecham-2022-em-alta-com-crescimento-de-431/> Acesso em: 20 dez. 2023.

AL NASSER, Waleed N.; AL SALHI, Fahad H. Determinação de escala e cinética de agregação de carbonato de cálcio usando técnica inline. **Ciência da engenharia química**, v. 86, p. 70-77, 2013.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: informe 2016**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016. Acesso em: 1 jan. 2024.

AKHTAR, M.S., *et al.* Relative phosphorus utilization efficiency, growth response, and phosphorus uptake kinetics of Brassica cultivars under a phosphorus stress environment. **Communications in soil science and plant analysis**, [S.l], v. 38, n.4, p. 1061-1085, 2007.

AYARS, J.E. *et al.* Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, [S.l], v. 42, n. 1, p. 1–27, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377499000256>. Acesso em: 30 mar. 2024.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Traduzido por H.R. Gheyi; J.F. Medeiros; F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BEZERRA, E.A. Falta de água potável ameaça a humanidade. **Web artigos**. [S.l], v.1, n.1, p. 1-10, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos: documento de introdução - iniciando um processo de debate nacional**. Brasília, 2001.

DE SOUZA, F. R. *et al.* Quantidade de cálcio, magnésio e potássio em águas da chapada do Apodi. Anais congresso. **IV Encontro Internacional Inovagri**. 2017.

EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.627 p. : il.; ISBN 978-85-7383-430-7.

FAN, J. *et al.* Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China. **Agricultural Water Management**, [S.l], v. 241, n. 8, p. 106-115, 2020.

FERNANDES, M.A.B., *et al.* A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi-CE. **Revista águas subterrâneas**, Ceará, v.19, n. 1, p. 20-32, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v19i1.1349>. Acesso em: 30 mar. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 10 mar. 2024.

LACERDA, J.J. *et al.* Crop growth response and dynamics of inorganic phosphorus fractions after application of reactive Arad phosphate rock in Oxisol with different land use histories. **African Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 8, n. 26, p. 3454-3461, 2013.

LANGONI, J. A., *et al.* Produtividade de cafeeiros fertirrigados sob diferentes níveis de adubação na região do cerrado mineiro na primeira safra. **Revista de Ciências Agroambientais**, Monte Carmelo, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2019. Disponível em < <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/2128>. Acesso em 15 mar. 2024.

LIMA, L.A.; SILVA, E. Irrigação por gotejamento em café. **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v.48, n.7, p.50-55, 2000. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/cafe/Irigacao-por-gotejamento.html>. Acesso em: 30 mar. 2024.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres, São Paulo, 2006. 638p.

MANTOVANI, E. C. BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Editora UFV, Viçosa – MG, 2009. 355 p.

MOTA, J.C.A. *et al.* Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi: RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v.31, n.6, p. 445-454, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300004>. Acesso em: 30 mar. 2024.

MOTA, J.C.A., ASSIS JÚNIOR, R.N. D., AMARO FILHO, J., LIBARDI, P.L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v.32, n.1, p. 49-58, 2008.

NASERI, Saeed; MOGHADASI, Jamshid; JAMIALAHMADI, Mohammad. Efeito da temperatura e da concentração de íons cálcio na redução da permeabilidade devido à precipitação composta de bário e sulfato de cálcio em meios porosos. **Revista de Ciência e Engenharia de Gás Natural**, v. 299-312, 2015.

NATASHA, G. Environment: The disappearing nutrient. **Nature**, São Paulo, v. 461, n.9, p. 716-718, 2009. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/461716a.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

NOVAIS, F.N., SMYTH, T.J., NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.N. *et al.* **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471–550.

OLIVEIRA, A.A.S.De. **Efeito da concentração de fósforo da solução de equilíbrio utilizada para análise de fósforo remanescente em solos da região do Nordeste do Brasil**. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/f2c6fa44-fe97-4849-9b6c-2d0b53454bc3>. Acesso em: 30 mar. 2024.

OLIVEIRA, M.De., MAIA, C. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 17-21, 1998.

OLIVEIRA, O., MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.2, n.1, p.17-21, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p17-21>. Acesso em: 30 mar. 2024.

OLIVEIRA, R.Da.C. **Avaliação do aquífero cárstico Jandaíra na região de Baraúna, Rio Grande do Norte**. 2017. 96f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós- Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, RN, 2017.

PENN, C.J., CAMBERATO, J.J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. **Agriculture**, [S.l], v.9, n.6, p. 12-24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>. Acesso em: 30 mar. 2024.
PENN, C.J., CAMBERATO, J.J. A critical review on soil chemical processes that control how soil ph affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**, Switzerland, v. 9, n. 6, p. 1–18, 2019.

PIERZYNSKI, G. M.; MCDOWELL, R. W.; SIMS, J.T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J.T.*et al.* **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: American Society of Agronomy, 2005. p.53-86.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. v. 1. 407p

RIBEIRO, M.S. *et al.* Avaliação da qualidade e tratamento das águas subterrâneas para irrigação em jaíba e janaúba-precipitação e corrosão. **Águas Subterrâneas**, [S.l], v.3, n.1, p. 1-12, 2008.

SILVA JÚNIOR, L.G.De.A., GHEYI, H.R., MEDEIROS, J.F.De. Composição Química De Águas Do Cristalino Do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 11–17,1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p11-17>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SILVA, M.R., IGNACIO, L.A., SILVA, G.A.Da. Desenvolvimento de mudas de maracujá amarelo em função de diferentes doses fósforo reativo. **Revista de Agronegócio**, São Paulo, v.6, n.1, p.41-50, 2017. Disponível em: https://www.fatecjales.edu.br/revista-agro/images/artigos/1a_edicao/volume6/desenvolvimento-de-mudas-de-maracuja-amarelo-na-utilizacao-de-diferentes-doses-fosforo-reactivo.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.

WEIHRAUCH, C., OPP, C. Ecologically relevant phosphorus pools in soils and their dynamics: the story so far. **Geoderma**, [S.l], v. 32, n. 5, p. 183-194, 2018.

XIAO, Y. *et al.* Increasing phosphorus availability by reducing clogging in drip fertigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121319, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121319>. Acesso em: 30 jan. 2024.

Yang Xiao, Changjian Ma, Mengyao Li, Lili Zhangzhong, Peng Song, Yunkai Li. Interaction and adaptation of phosphorus fertilizer and calcium ion in drip irrigation systems: the perspective of emitter clogging, Agricultural Water Management. **Science direct**. Volume 282,2023,108269, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108269>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423001348>)

YANG, L.J., ZHANG, Y.L., LI, F.S., LEMCOFF, J.H. Soil Phosphorus Distribution as Affected by Irrigation Methods in Plastic Film House. **Pedosphere**, [S.l], v. 21, n. 6, p. 712-718, 2011. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(11\)60174-4](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(11)60174-4). Acesso em: 30 mar. 2024.

ZHAO, Y., LI, Y., YANG, F. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements. **Science of the Total Environment**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 141-161, 2021.