



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

GIOVANA SOARES DANINO

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA IRRIGAÇÃO DO  
GIRASSOL EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS**

MOSSORÓ

2023

GIOVANA SOARES DANINO

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA IRRIGAÇÃO DO  
GIRASSOL EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tecnologia em Nutrição de Plantas e Soluções para Convivência com a Seca e Salinidade

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista.

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D186p Danino, Giovana Soares.

Potencial de aplicação da água produzida na irrigação do girassol em diferentes fases fenológicas / Giovana Soares Danino. - 2023.

52 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis de Oliveira.  
Coorientador: Rafael Oliveira Batista.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2023.

1. Reúso de água. 2. Efluente industrial. 3. Oleaginosa. 4. Desempenho agrônômico. 5. Risco ambiental. I. de Oliveira, Francisco de Assis, orient. II. Batista, Rafael Oliveira, co-orient.

III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

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.

GIOVANA SOARES DANINO

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA IRRIGAÇÃO DO  
GIRASSOL EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tecnologia em Nutrição de Plantas e Soluções para Convivência com a Seca e Salinidade


Defendida em: 05 / 07 / 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

FRANCISCO DE ASSIS DE OLIVEIRA:81285558472  
Assinado de forma digital por FRANCISCO DE ASSIS DE OLIVEIRA:81285558472  
Dados: 2023.07.06 18:30:06 -03'00'


---

Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira (UFERSA)  
Presidente

Documento assinado digitalmente  
 RAFAEL OLIVEIRA BATISTA  
Data: 06/07/2023 18:23:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)  
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente  
 RUZA GABRIELA MEDEIROS DE ARAUJO M  
Data: 06/07/2023 16:01:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo (Pesquisadora Visitante)  
Membro Examinador



---

Dra. Iarajane Bezerra do Nascimento (Externa à instituição)  
Membro Examinador

*José Arruda Soares (In Memoriam).*

*José Gomes Filho (In Memoriam).*

*Maria Leticia Rodrigues (In Memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não sou nada.

Agradeço aos meus pais, Ricardo e Cristiane, ao meu namorado Pedro e a todos os meus amigos e familiares que me deram forças para não desistir, apesar das adversidades que ocorreram no decorrer da conclusão deste mestrado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira, que esteve sempre ao meu lado, ajudando desde a implantação do projeto, puxando a minha orelha quando necessário, mas sempre sanando todas as minhas dúvidas. Com certeza me espelharei no senhor para seguir não só a minha carreira acadêmica como a minha carreira profissional. Muito obrigada! Não posso deixar de agradecer ao Sérgio, que foi meu braço direito, estando todos os dias comigo em campo cuidando e observando meu experimento.

Agradeço ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH - ANP) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por me conceder a bolsa de estudo, além de dar todo o suporte financeiro ao projeto e não só proporcionar, como também nos incentivar a tantas experiências profissionais enriquecedoras. Gratidão.

Ao PRH 55.1, por todo o apoio e oportunidades que nos foram concedidas. Em especial gostaria de agradecer a Prof. Dra. Ruza Macedo, por ter me dado todo o suporte na elaboração e condução do experimento, além de sempre ser uma pessoa com quem eu pudesse contar nessa rotina puxada de campo e laboratório, sendo sempre muito cuidadosa e preocupada com o bem-estar de todos ao seu redor. Agradeço também ao Prof. Dr. Frederico do Carmo, por sempre nos impulsionar a sermos profissionais melhores e sempre estarmos preocupados com a execução do projeto.

Agradeço a todos os meus amigos da família LASAPSA, um complexo de laboratórios onde fui muito bem recebida e foi minha segunda casa por muito tempo. Agradeço também ao Laboratório de Nutrição Animal da UFRN por toda a parceria e também a EMBRAPA por me ceder as sementes de girassol para a execução do experimento. A todos que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível e, de repente, você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

## RESUMO

A maior parte dos campos de produção de petróleo e gás localizados na região semiárida do Rio Grande do Norte é classificada como maduros, sendo uma das principais características a produção de grandes volumes de água produzida (AP), importante efluente residual que pode ser considerado fonte de água viável para a irrigação agrícola. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é avaliar a potencialidade do uso da AP na cultura do girassol BRS 323 em diferentes fases fenológicas, no município de Mossoró - RN. O experimento foi desenvolvido ao ar livre, em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Cada repetição foi representada por quatro vasos com uma planta cada, além de duas linhas laterais com 16 vasos que serviram como bordadura, totalizando 160 vasos. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de água de abastecimento e AP sintética em diferentes proporções de acordo com as fases fenológicas da cultura. A fim de atingir os objetivos da pesquisa, as características avaliadas foram o crescimento, produção e as análises físico-químicas do solo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e verificando-se as significâncias, os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de comparação de médias (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR. Não houve diferença significativa em relação ao número de folhas, diâmetro do caule e o teor de clorofila a, b e total. As últimas três fases fenológicas também não obtiveram diferença significativa para a altura do girassol. A área foliar, o peso do capítulo, o peso de 100 sementes, o peso das sementes boas e a massa seca de folha, caule, capítulo e total tiveram efeito significativo a 1% de probabilidade. Somente no diâmetro do capítulo houve diferença estatística a 5%. Com relação aos atributos do solo, os únicos que não demonstraram diferenças foram o pH e o PST. Conclui-se que a AP sintética é uma fonte viável de água principalmente para o semiárido potiguar, quando aplicada a partir do florescimento ou apenas na fase de crescimento.

**Palavras-chave:** Reúso de Água. Efluente Industrial. Oleaginosa. Desempenho Agrônomo. Risco Ambiental.



## ABSTRACT

Most of the oil and gas production fields located in the semi-arid region of Rio Grande do Norte are classified as mature, one of the main characteristics being the production of large volumes of produced water (PW), which is an important residual effluent that can be considered a viable water source for agricultural irrigation. In this context, the objective of this study is to evaluate the potential of the use of AP in the sunflower BRS 323 in different phenological phases, in the municipality of Mossoró - RN. The experiment was developed outdoors, in randomized blocks, with eight treatments and four replications. Each repetition was represented by four vases with one plant each, as well as two lateral lines with 16 vases that served as a border, totaling 160 vases. The treatments were composed by the application of water supply and synthetic PW in different proportions according to the phenological phases of the crop. In order to achieve the objectives of the research the evaluated characteristics were the growth, production and physicochemical analysis of the soil. The data obtained were submitted to analysis of variance (ANOVA) and once the significance was verified, the treatments were compared with each other by the mean comparison test (Scott-Knott,  $p \leq 0.05$ ). Statistical analyses were performed using the statistical program SISVAR. There was no significant difference in relation to the number of leaves, stem diameter and chlorophyll content a, b and total. The last three phenological phases also did not obtain significant difference for the height of the sunflower. Leaf area, chapter weight, weight of 100 seeds, weight of good seeds, and dry mass of leaf, stem, chapter and total had a significant effect at 1% probability. There was a statistical difference of 5% in the diameter of the chapter that. Regarding to soil attributes, the only ones that did not show differences were pH and PST. It is concluded that synthetic PW is a viable source of water mainly for the semi-arid region of Rio Grande do Norte, when applied from flowering or only in the growth phase.

**Keywords:** Water Reuse. Industrial Effluent. Oilseed. Agronomic Performance. Environmental Risk.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Localização do experimento.....	24
Figura 2	–	Resumo meteorológico do município de Mossoró durante o experimento.....	25
Figura 3	–	Croqui da área experimental.....	28
Figura 4	–	Fases fenológicas do girassol.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Composição química da água produzida (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e concentração de sais utilizados.....	26
Tabela 2	–	Caracterização química da água de abastecimento (AB), no campus da UFRSA.....	26
Tabela 3	–	Caracterização química do solo inicial.....	27
Tabela 4	–	Descrição dos tratamentos aplicados no experimento.....	28
Tabela 5	–	Altura (cm) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	33
Tabela 6	–	Número de folhas do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	34
Tabela 7	–	Diâmetro de caule (mm) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	35
Tabela 8	–	Área foliar total (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	36
Tabela 9	–	Índice relativo de clorofila (IRC) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	38
Tabela 10	–	Resumo da análise de variância e valores médios para diâmetro do capítulo (cm), peso do capítulo (g), peso de 100 sementes (g) e o peso das sementes boas (g) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	39
Tabela 11	–	Resumo da análise de variância (quadrados médios) e valores médios para massa seca de folha (MSFolha, g), massa seca de caule (MSCaule, g), massa seca de capítulo (MSCapítulo, g), massa seca total (MSTot, g) e a percentagem da massa seca do capítulo (MSCapítulo, %) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	41
Tabela 12	–	Atributos físico-químicos do solo após a aplicação de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água de abastecimento
Al <sup>3+</sup>	Alumínio
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AP	Água produzida do petróleo
bbl/d	Barril por dia
°C	Graus
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
Cl <sup>-</sup>	Cloreto
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonato
CTC	Capacidade de troca de cátions
cv	Cavalos
cv.	Cultivar
DAS	Dias após a semeadura
dS m <sup>-1</sup>	Decisiemens por metro
ETc	Evapotranspiração da cultura
g	Grama
h	Hora
HCO <sub>3</sub>	Bicarbonatos
H+Al	Acidez potencial
K <sup>+</sup>	Potássio
Kg	Quilo
L	Litro
LASAP	Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta
m	Metro
m	Saturação por alumínio
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
mg dm <sup>-3</sup>	Miligramma por decímetro cúbico
mg L <sup>-1</sup>	Miligramma por litro
m s <sup>-1</sup>	Metro por segundo
MS	Massa seca
Na <sup>+</sup>	Sódio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PST	Porcentagem de sódio trocável
RN	Rio Grande do Norte
SB	Soma de bases

SEAPA	Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	Sulfato
T	CTC efetiva
TSD	Total de sais dissolvidos
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
V	Saturação por bases

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 A ÁGUA E O SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	16
2.2 A GERAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA.....	17
2.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	18
2.4 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA PARA IRRIGAÇÃO.....	20
2.5 IMPORTÂNCIA DO GIRASSOL NO BRASIL.....	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.2 ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO.....	26
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA.....	26
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	27
3.5 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS.....	27
3.6 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS.....	29
3.6.1 Altura da planta.....	29
3.6.2 Número de folhas.....	30
3.6.3 Diâmetro do caule.....	30
3.6.4 Área foliar.....	30
3.6.5 Índice relativo de clorofila .....	30
3.6.6 Diâmetro do capítulo.....	31
3.6.7 Dados de produção.....	31
3.6.8 Massa seca.....	31
3.6.9 Caracterização química do solo.....	31
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
4.1 ALTURA DA PLANTA.....	33
4.2 NÚMERO DE FOLHAS.....	34
4.3 DIÂMETRO DO CAULE.....	35
4.4 ÁREA FOLIAR.....	36
4.5 ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA.....	37
4.6 DADOS DE PRODUÇÃO.....	39
4.7 MASSA SECA.....	40
4.8 ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO.....	42
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de petróleo é de cerca de 80 milhões de barris de óleo por dia, resultando na geração de 250 milhões de barris de água produzida do petróleo (AP) e deste valor, em média, 40% são descartados no meio ambiente (AL-SALMI et al., 2020). Essa descarga de AP na natureza, se for realizada de maneira incorreta, pode acarretar graves impactos ambientais, razão pela qual padrões regulatórios rigorosos devem ser adotados para o descarte dessa água, resultando em um grande desafio para a indústria de petróleo e gás (AL-SALMI et al., 2020).

No Estado do Rio Grande do Norte, a maior parte dos campos de produção de petróleo e gás é classificada como maduros. Uma das principais características desses tipos de campos é a produção de elevados volumes de AP juntamente com o óleo. Além disso, o petróleo é o fluido de interesse econômico e neste caso a água não possui nenhum valor comercial. Desta forma, os processos relacionados à gestão e ao tratamento desta água resultam em custos elevados, proporcionais aos níveis produzidos, além da complexidade dos métodos de tratamento (ASSUNÇÃO; VIEIRA; HO, 2020).

Segundo Vianna (2018), a atual conjuntura global tem imposto às empresas de exploração e produção de petróleo um cuidado especial com o desenvolvimento sustentável de sua produção, o que resulta na internalização de custos e na adoção de processos produtivos com instrumentos tecnológicos que possibilitem a diminuição dos riscos de poluição.

As alternativas usualmente adotadas para a destinação final da AP são o descarte, a injeção e o reúso. O reúso dessa água apresenta-se como alternativa viável para desenvolver e solucionar problemas, uma vez que seu reaproveitamento pode ser utilizado em atividades de grande relevância socioeconômica, como sua utilização em irrigações de culturas agrícolas não comestíveis, como as oleaginosas, principalmente no semiárido nordestino brasileiro, que sofre muito com a escassez hídrica (MILLER et al., 2020).

O mundo contemporâneo tem sofrido muito com a escassez de água, não só em termos de quantidade, como também em qualidade, com impactos diretos no bem-estar da população, no funcionamento dos ecossistemas e no desenvolvimento socioeconômico. A demanda por alimentos está sendo acelerada a uma velocidade bem maior do que a produção agrícola, evidenciando a necessidade urgente de desenvolver novas estratégias para a agricultura irrigada (PORTO et al., 2019).

Para a utilização da água na irrigação, alguns parâmetros devem ser considerados a respeito de sua qualidade, como é o caso da toxicidade por íons específicos, condutividade elétrica, salinidade total, sodicidade, relação de adsorção de sódio, conteúdo de cloro, conteúdo de boro, microelementos, sua dureza e seu pH (ALMEIDA, 2010).

Por isso, é necessário todo um cuidado quando o cultivo é de plantas cujos produtos são consumidos diretamente pelo homem ou por animais, considerando que as plantas absorvem os minerais do solo, inclusive os metais pesados, que podem ficar retidos nas raízes ou ser transportados pelos vasos do xilema para as partes aéreas das plantas. É por este motivo que a AP deve passar por um tratamento prévio antes de ser utilizada como fonte de irrigação e, conseqüentemente, ser aplicada ao solo (CRISOSTOMO et al., 2018).

A cultura do girassol (*Helianthus annuus*), além de se apresentar como opção para a rotação de culturas, serve de matéria-prima para a produção de biodiesel. Sua maior tolerância à seca e menor incidência de pragas e doenças são alguns dos fatores que têm possibilitado sua expansão e consolidação como cultura economicamente viável nos sistemas de produção (EMBRAPA, 2022).

Considerando a importância do biodiesel na matriz energética brasileira e a necessidade de matérias-primas que não sejam de interesse da indústria de alimentos para a sua produção, o objetivo do trabalho foi analisar a potencialidade do uso da AP na cultura do girassol em diferentes fases fenológicas, avaliando seu crescimento, produção e as características físico-químicas do solo após a utilização de AP para irrigação.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ÁGUA E O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido brasileiro ocupa uma área de 1.182.697 km<sup>2</sup>, o equivalente a 12% do território nacional, e abriga cerca de 28 milhões de habitantes, sendo um dos semiáridos mais povoados do mundo. O clima semiárido é caracterizado por precipitações pluviométricas escassas, irregulares, concentradas em um curto período de tempo e cujas médias são abaixo da evapotranspiração potencial (SUDENE, 2021).

Esta região é rica sob vários aspectos, como o social, cultural, ambiental e o econômico. Ela conta com mais de onze mil espécies vegetais catalogadas, o seu bioma predominante é a Caatinga, os produtos da extração vegetal desempenham importante papel para a geração de renda e, mesmo com a limitação na disponibilidade de pastagens, a região detém de aproximadamente 58,1% de todo o rebanho bovino do Nordeste. Dessa maneira, a oferta de água para usos múltiplos está aquém da sua demanda, impactando negativamente as atividades econômicas, em especial a agrícola e industrial (INSA, 2019).

A água destinada para o consumo humano sempre foi uma das grandes limitações para a população dessa região. No atual quadro de escassez hídrica, em virtude da maior seca na região no período de 2012 a 2017, as questões referentes ao acesso à água a partir de poços preexistentes, predominantemente de qualidade salobra ou salina, surgiram como um elemento de inovação. E sem dúvidas essas águas são de vital importância como componentes essenciais do complexo dos recursos hídricos, em especial para as regiões áridas e semiáridas do mundo todo, por assegurar mais uma alternativa como recurso para o desenvolvimento (PORTO et al., 2019).

Nesse contexto, apesar de ser um bem renovável, a água não é um recurso inesgotável e é essencial para a sustentação da vida, havendo motivo de preocupação mundial pelos sinais evidentes de escassez e deterioração. Segundo Soares (2013), além do crescimento populacional, ocorre aumento nos setores produtivos, responsáveis pelo maior consumo de água, contribuindo para o agravamento dos impactos. Essa situação tem conduzido a uma reformulação na concepção da conservação e gerenciamento no uso da água, apresentando novos desafios a toda a sociedade (YU et al., 2010).

Atualmente, é necessária a ampliação de projetos destinado à educação ambiental sustentável e ao uso responsável dos recursos hídricos, objetivando a diminuição do consumo e da poluição das águas. De acordo com Soares (2013), visando ao melhor uso e

reaproveitamento deste bem tão precioso ao nosso planeta, poderiam ser criadas formas de fomentar junto ao poder público a mobilização social para a criação de políticas públicas que contribuiriam para a redução da pegada hídrica, técnicas de produção menos exigentes em água, além de algumas simples mudanças nos padrões e hábitos de consumo da população.

No caso da agricultura, a irrigação é utilizada para proporcionar a segurança e o incremento da produção, além de aumentar a renda dos agricultores. Na região semiárida do Rio Grande do Norte, as águas disponíveis para a irrigação são em sua maioria salinas ou salobras, sendo novos impactos instaurados com o passar dos anos e das constantes aplicações de sais nos solos (MONTE et al., 2019).

Novas alternativas estão sendo criadas dia após dia para minimizar esses impactos e uma delas é a utilização da AP para a irrigação de culturas com fins não alimentícios, como é o caso do girassol, que tem como produto final o óleo, em sua maioria reutilizado na própria indústria, como parte da composição do biocombustível.

## 2.2 A GERAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA

Segundo informações da base de dados da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP, 2023), no mês de março de 2023 a produção de petróleo do Brasil foi de 3,115 milhões bbl/d, sendo o estado do Rio Grande do Norte responsável pela produção de 31.692 bbl/d. A Bacia Potiguar é a tradicional produtora de petróleo, com predominância na geração de óleos variando entre 33° e 43° API. Esta Bacia está localizada no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, ao longo dos Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará e conta, atualmente com 68 campos produtores, apresentando grande importância no cenário nacional (ANP, 2023).

Ao longo da exploração de petróleo das jazidas *onshore* ou *offshore*, existe a geração concomitante de AP, maior fonte de resíduos da indústria do petróleo. Assunção, Vieira e Ho (2020) apontam que em média a cada m<sup>3</sup>/dia de petróleo produzido são gerados de 3 a 4 m<sup>3</sup> de AP, acrescentando que a produção mundial de AP é estimada em cerca de 250 milhões de bbl/d, em comparação com o petróleo que é produzido, cerca de 80 milhões de bbl/d.

A AP é o efluente de maior complexidade na indústria petrolífera, pois é um subproduto carregado durante a produção do petróleo e passa pelo processo de separação nas estações coletoras e de tratamento (AMINI et al., 2012). A qualidade deste efluente está intimamente ligada à composição do petróleo, tendo como principais compostos constituintes

o óleo, minerais dissolvidos da formação, compostos químicos residuais da produção, sólidos da produção, gases dissolvidos e microrganismos (MOTTA et al., 2013).

Este efluente pode ser reaproveitado diversas vezes durante a exploração do petróleo ou descartado de acordo com o volume de resíduos encontrados em sua composição. Para a definição desse destino, é necessário tratá-la utilizando métodos físicos, químicos e/ou biológicos. Desta forma, a gestão da AP é um problema inerente ao processo de produção do petróleo, principalmente sob o ponto de vista econômico já que incorre em custos para ser gerenciada (SILVA et al, 2022).

Clark e Veil (2009) apontam que em campos *offshore* a maior parte da AP é tratada e descartada no mar. Já nos campos *onshore*, a maior parte do resíduo é aproveitada para injeção durante os processos de recuperação. Nas unidades produtoras do Rio Grande do Norte, a falta de destinação da AP é um fator preocupante. A AP oriunda desses poços possui em sua grande maioria baixa condutividade elétrica quando comparada a de outros estados, tornando-se uma alternativa a utilização dessa água para fins de irrigação e produção de culturas, principalmente as oleaginosas.

### 2.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE

De acordo com Vianna (2018), o cenário mundial tem imposto às empresas petrolíferas um cuidado especial com o desenvolvimento sustentável, o que resulta na internalização de custos e na adoção de processos produtivos com tecnologias que possibilitem a diminuição dos riscos de contaminação. No caso da exploração e produção de petróleo, paralelamente à extração do óleo e gás, resulta dessa atividade a geração de efluentes, devendo ser cumpridas algumas normas para o correto descarte no meio ambiente.

A Lei do Petróleo (9.478/97) dispõe sobre a Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio de petróleo. Em 2010, esta lei sofreu algumas alterações pela lei 12.351/2010, mas não alterou seu fundamento no que diz respeito às obrigações do setor com relação às questões ambientais, sobre as quais fica definido que é objetivo da Política Energética Nacional proteger o meio ambiente e garantir a conservação de energia, cabendo às concessionárias adotar as medidas necessárias à preservação dos reservatórios e de outros recursos naturais (BRASIL, 2010).

Cunha et al. (2011) relataram que o reúso desse efluente está vinculado às especificações locais, devendo respeitar a condição do país relacionada à gestão administrativa e de recursos hídricos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a

Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, é necessário modificar essa gestão das águas, passando de um modelo de tratamento e eliminação, para um modelo de redução, reutilização, reciclagem e recuperação dos recursos hídricos (VERDÉLIO, 2017).

Apesar de não termos normas tão específicas para o descarte no meio hídrico, superficial e subterrâneo, devemos seguir os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), como a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências (MMA, 2005). A Resolução CONAMA 393/2007, de 8 de agosto de 2007, é a única focada especificamente na regulamentação dos padrões e práticas relacionadas à AP, entretanto dispõe exclusivamente sobre o descarte deste efluente em plataformas marítimas, não sendo aplicável a outros empreendimentos da mesma natureza (MMA, 2007).

A Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução CONAMA 357/2005 (MMA, 2011). A fim de que a AP seja utilizada para a irrigação, é necessário que ela se enquadre primeiramente à Resolução CONAMA 430/2011, removendo todos os contaminantes tóxicos e orgânicos, e somente depois se enquadrar na Resolução CONAMA 357/2005, podendo, dessa forma, ser utilizada sem danos ao meio ambiente.

Conforme Almeida (2010), vários parâmetros são considerados para avaliar a qualidade da água na irrigação: eles devem contemplar um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que definem sua adequação ou não para o uso. As determinações realizadas na água são: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), total de sais dissolvidos (TSD), os íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), os cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2+}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Em dois de fevereiro de 2017 foi elaborada pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente COEMA 02/2017, que dispõe sobre padrões e condições para o lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (SEMACE, 2017). A resolução presente trata das condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede de esgoto, atendendo aos princípios e objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente.

Considerando que as empresas da área de petróleo e gás destinam inúmeros recursos financeiros para o tratamento e descarte correto da AP, vemos a utilização deste efluente

como uma solução não só para o problema da crise hídrica que vem atingindo vários municípios do RN, como também para a qualidade das águas encontradas nas propriedades.

#### 2.4 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA PARA IRRIGAÇÃO

A Califórnia é o estado mais populoso dos Estados Unidos e há muitos anos vêm sofrendo uma grave crise hídrica, fazendo com que o governo produza mudanças na legislação e na infraestrutura para que o estado possa continuar tendo acesso á água. Uma alternativa encontrada foi a construção de tubulações que interligam reservatórios e permitem que a água chegue de uma região a outra. Além disso, a Califórnia também utiliza a técnica da dessalinização e conta com mais de 11 usinas. Devido a isso, há mais de 20 anos eles utilizam a AP tratada para a irrigação de culturas como a amêndoa, pistache, batata, tomate, dentre outras (REDMON et al., 2021).

A empresa Chevron, detentora dos campos de petróleo dessa região, é a responsável por tratar a AP e distribuí-la para os agricultores, que vão misturá-la com águas de outras fontes para diminuir a salinidade, se adequando às normas para posteriormente ser utilizada na irrigação (ONISHI, 2014).

Em 2015, nos Estados Unidos, foi elaborado um projeto com o objetivo usar a AP gerada em um campo petrolífero do Texas na irrigação do algodão. O foco foi avaliar o crescimento das plantas, a resposta da produção com a irrigação utilizando AP tratada e misturada com a água subterrânea (1:4), além de determinar seu efeito nas propriedades químicas do solo. O resultado desta pesquisa mostrou que a mistura com a AP tratada não reduziu o rendimento do algodão, nem a qualidade da sua fibra (LEWIS; MOORE; WEATHERSBY, 2015).

Pinheiro et al. (2014) descreveram um projeto piloto de reúso de AP do Campo de Fazenda Belém – Ceará, para realizar a irrigação de espécies ornamentais e oleaginosas, consequentemente para a posterior produção de biodiesel. Além disso, outra pesquisa também foi realizada na mesma região, onde foram produzidas hastes florais de abacaxizeiro ornamental (*Ananas comosus*), com o objetivo de estudar a nutrição das plantas e os efeitos da irrigação com AP na concentração de íons solúveis e trocáveis no solo (CRISOSTOMO et al., 2018).

No Brasil, outros trabalhos também vêm sendo realizados utilizando a AP como fonte de água para a irrigação de culturas como a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), alfafa (*Medicago sativa*), milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum*

*bicolor*) (ATIA et al., 2019). De acordo com os estudos realizados até o momento, há possibilidade de reúso da água produzida para a irrigação de cultivos específicos. A limitação ainda se deve à escolha adequada do tratamento, uma vez que não há uma única técnica que resulte na adequação da água para sua reutilização. Além disso, com o passar do tempo os aspectos da AP vão se alterando, tornando necessário realizar o monitoramento constante da AP, pois pode haver mudanças de parâmetros físicos, químicos e de toxicidade (FERNANDES et al., 2022).

## 2.5 IMPORTÂNCIA DO GIRASSOL NO BRASIL

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma dicotiledônea anual da família Asteraceae. Seu gênero possui 49 espécies e é originário da América do Norte. Estudos indicam que os indígenas norte-americanos usavam as plantas com propósitos de alimentação, medicinais e também decorativos (SELMECZI-KOVACS, 1975). No século XVI, foi levado por conquistadores espanhóis para o continente europeu, sendo utilizado como planta ornamental. A cultura foi levada para Rússia no século XVIII e em meados de 1830 foi iniciada a produção do óleo de girassol, que ganhou destaque na economia mundial após a 1ª Guerra Mundial (CÂMARA, 2014). No Brasil, seu cultivo foi iniciado somente no século XIX na região Sul, onde a cultura enfrentou grande competição com outras culturas como o algodão e o milho, além da falta de pesquisas que dificultaram sua produção (LIRA et al., 2020).

O sistema radicular do girassol é pivotante, sendo formado por um eixo principal e raízes secundárias abundantes, capazes de explorar grande volume de solo e, conseqüentemente, absorver água e nutrientes disponíveis em solos profundos. Devido a essa sua capacidade, o sistema radicular do girassol contribui para que esta planta seja mais tolerante à seca, comparando com outras espécies produtoras de grãos (CASTRO et al., 1996).

O girassol é uma planta de haste única, não ramificada, ereta, pubescente, vigorosa, cilíndrica e com interior maciço. Sua coloração é verde até o final do florescimento, quando passa à coloração amarelada e pardacenta no momento da colheita. A altura pode variar de 60 a 220 cm, suas folhas variam em números e formas, a inflorescência é do tipo capítulo e as flores são dispostas ao longo do receptáculo floral, o qual apresenta brácteas imbricadas, compridas, ovais, ásperas e pilosas (ROSSI, 1998).

O órgão da planta de maior importância econômica é o fruto, chamado de semente. O fruto do girassol é seco, do tipo aquênio, oblongo, geralmente achatado, composto pelo

pericarpo e pela semente propriamente dita. Conforme a cultivar, o fruto é variável quanto ao tamanho, cor e teor de óleo (PEIXOTO, 2004).

A semente de girassol é rica em óleo, que se destaca por suas excelentes características nutricionais e funcionais à dieta humana e animal. Em cada tonelada de sementes, extraem-se em média 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta para os animais, com 45% a 50% de proteína bruta (TIPEWA, 2017). Segundo a EMBRAPA (2018), este é um óleo que possui alta relação de ácidos graxos poli-insaturados/saturados (65:11%), em média, sendo que o teor de ácidos graxos poli-insaturados é constituído em sua quase totalidade pelo ácido graxo linoleico. Estes ácidos graxos não são produzidos pelo nosso organismo e devem ser ingeridos por meio dos alimentos.

No Brasil, o girassol possui grande potencial de expansão, devido à enorme gama de aplicações em diferentes áreas, como produção de ração, silagem, óleo para consumo humano, floricultura, alimentação animal e matéria-prima para a produção de biodiesel (PEREIRA et al., 2008). Portanto, a inserção dessa cultura pode ser uma excelente alternativa de exploração comercial, principalmente para a agricultura familiar regional ajudando no processo de inclusão social dos pequenos produtores, aumentando a fonte de renda, gerando mão de obra e matéria-prima para inúmeras aplicações industriais.

No Brasil, na safra de 2020/21 a área plantada com girassol foi de 31,7 mil hectares, com a produção de 36,2 mil toneladas de grãos (CONAB, 2021). A previsão para a safra 2021/22 é de que haja aumento de mais de 24% em área plantada e que também haja aumento de mais de 13% da produção de grãos (CONAB, 2021). De acordo com a edição do Agro em Dados, informativo mensal elaborado pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), o estado de Goiás passou a liderar o ranking nacional de produção de girassol, sendo responsável por 70,1% da produção nacional de girassol (SEAPA, 2021).

A cultura do girassol é estudada por vários autores, sob a temática de água residuária. Oliveira et al. (2017) estudaram o desenvolvimento de duas cultivares de girassol ornamental irrigadas com água residuária, provenientes da estação de tratamento de esgoto e observaram que o crescimento das plantas não foi afetado pelo uso de água residuária, indicando que esta cultura tem potencial de ser irrigada com água de qualidade inferior. Rego (2018), trabalhando com diferentes misturas de AB com água da piscicultura em três cultivares de girassol ornamental (Bonito de Outono Sortido, Sol Vermelho e Sol Noturno), verificou que o aumento da proporção de efluente de piscicultura reduziu a massa fresca da parte aérea e o diâmetro do caule do girassol ornamental, ao passo que o efeito sobre a altura das plantas dependeu da cultivar. Ainda conforme Rego (2018), a aplicação de efluente de piscicultura na

fertirrigação do girassol, bruto ou diluído em água de abastecimento, não influenciou as características de qualidade comercial das flores do girassol ornamental.

Melo et al. (2020) estudaram o efeito do uso de água cinza em diferentes proporções com AB, verificando ser possível a produção de flores de boa qualidade, economizando água potável e diminuindo a deposição de efluentes no meio ambiente.

Na literatura nacional existem poucos estudos utilizando AP na cultura do girassol, a exemplo nos trabalhos apresentados por Costa et al. (2019), Silva (2018) e Santos (2022). Costa et al. (2019), trabalhando com a AP não tratada e diluída em água de abastecimento (AB), verificaram que não houve diferença atrativa no crescimento do girassol. Por outro lado, Santos (2022), utilizando diluições de água produzida tratada, observou que o uso de AP diluída afetou apenas o diâmetro do caule e o diâmetro do capítulo. Também trabalhando com AP tratada, Silva et al. (2019) observaram que apenas o diâmetro do capítulo foi afetado de acordo com a diluição utilizada.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado entre maio e agosto de 2022, em área experimental do Departamento de Ciências Agrônomicas e Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRS, em Mossoró - RN ( $05^{\circ} 12' 03,9''$  LS;  $-37^{\circ} 19' 37,98''$  LO) (Figura 1).

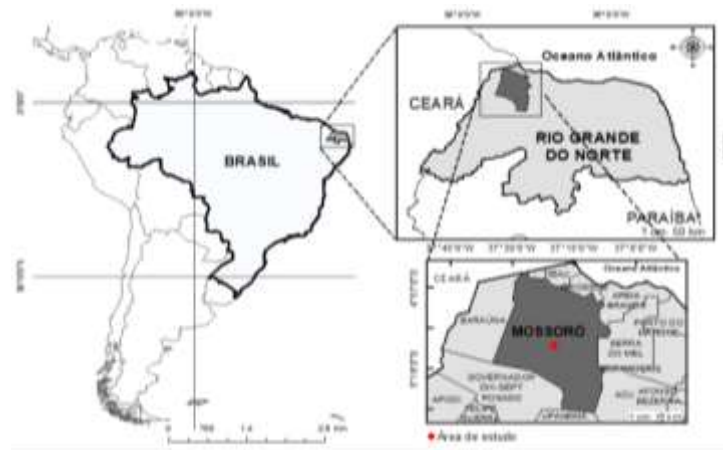


Figura 1. Localização do experimento.

Fonte: Costa et al. (2018).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BSh (quente e seco), (DUBREUIL et al., 2018), com precipitação pluviométrica irregular, média anual de 794 mm e temperatura média de  $26,5^{\circ}\text{C}$  (ALVARES et al., 2013). Durante a condução do experimento, foram anotados os dados de temperatura (Figura 2A), umidade relativa do ar (Figura 2B) e precipitação (Figura 2C).

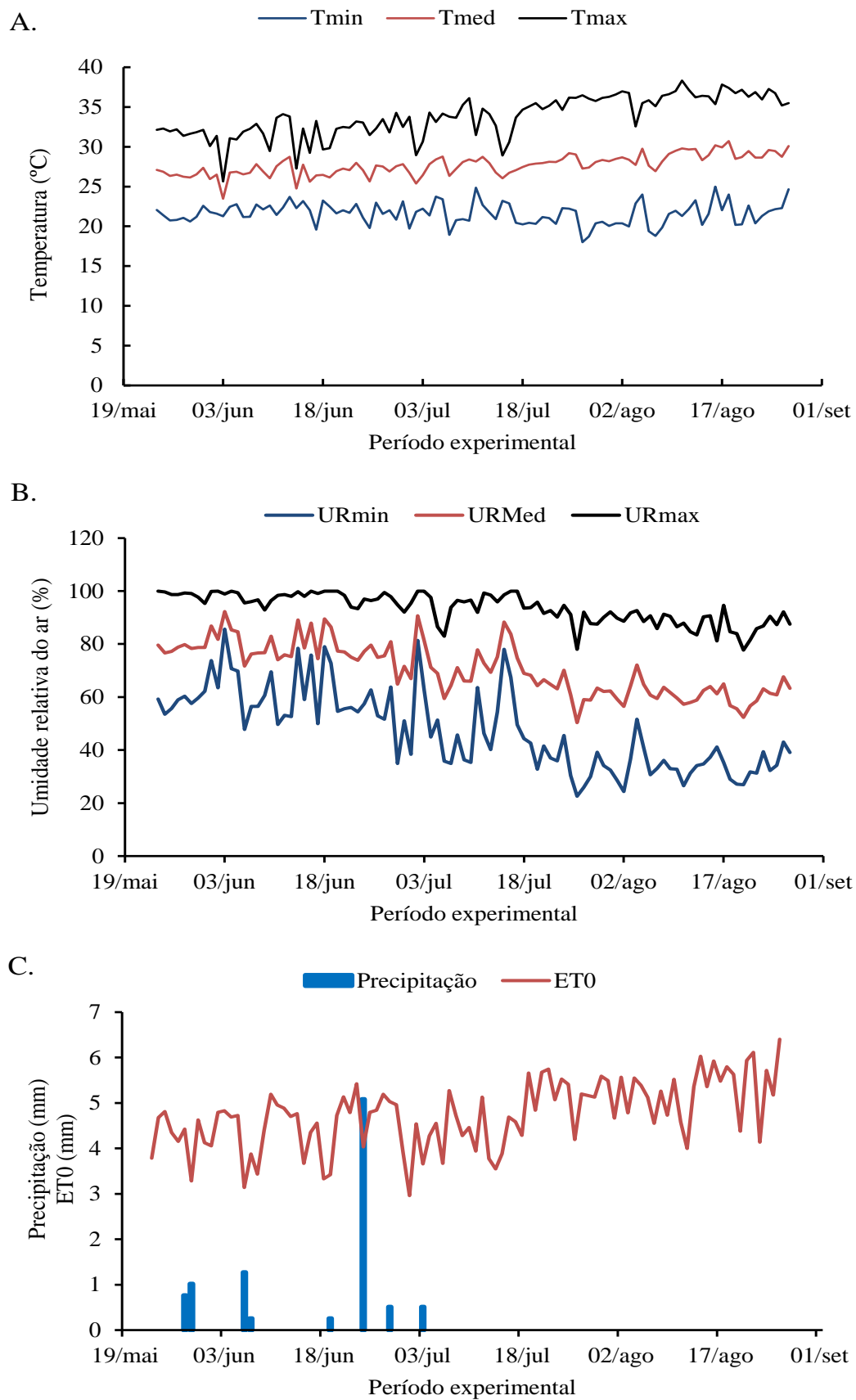


Figura 2. Resumo meteorológico do município de Mossoró durante o experimento.  
Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

### 3.2 ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO

A AP utilizada neste experimento foi formulada sinteticamente em laboratório, segundo a composição encontrada por Figueredo et al. (2014), em estudo sobre a caracterização da AP nos poços da Bacia Potiguar (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da água produzida (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e concentração de sais utilizados.

Composição química	Média (mg L <sup>-1</sup> )	Reagentes	(g 1000L <sup>-1</sup> )
Alumínio	0,13	Cloreto de alumínio	1,162
Bário	0,84	Boráx	3,88
Boro	0,44	Ácido bórico	2,519
Cálcio	169,87	Cloreto de cálcio	425,74
Cloreto	687,47	Sulfato de cálcio	55,89
Ferro	0,24	Cloreto de ferro	0,695
Magnésio	65,76	Sulfato de manganês	0,522
Manganês	0,19	Cloreto de magnésio	557,05
Potássio	47,62	Cloreto de potássio	89,46
Sódio	242,07	Cloreto de sódio	609,5
Sulfato	39,94	Sulfato de zinco	0,222
Zinco	0,09		
CE (dS m <sup>-1</sup> )	3,26		

Fonte: Adaptado Figueredo et al. (2014).

Na Tabela 2, é apresentado o resultado da análise da água de abastecimento utilizada no experimento e no preparo da AP.

Tabela 2. Caracterização química da água de abastecimento (AB), no campus da UFERSA.

CE (Ds m <sup>-1</sup> )	Ph	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		-----mmol m <sup>-3</sup> -----						
0,5	7,8	3,1	1,1	0,3	2,3	1,8	0,2	3,8

CE: Condutividade Elétrica, Ph: potencial de Hidrogênio, Ca<sup>2+</sup>: Cálcio, Mg<sup>2+</sup>: Magnésio, K<sup>+</sup>: Potássio, Na<sup>+</sup>: Sódio, Cl<sup>-</sup>: Cloro, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: Carbonato e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Bicarbonato.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA

A cultura utilizada neste trabalho foi o girassol (*Helianthus annuus*), híbrido simples BRS 323, que apresenta o ciclo precoce (80 a 98 dias), o teor de óleo nos aquênios variando

de 40% a 44%, altura média das plantas varia de 166 a 190 cm e o peso de mil aquênios variando de 60 a 75 g. Além de apresentar boa resistência ao míldio (raça 330) (CARVALHO et al., 2013).

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo foi coletado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à UFERSA, localizada no distrito de Alagoinha, em Mossoró - RN, e classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico (COSTA FILHO et al., 2019). O solo foi destorroado e peneirado em malha de 5 mm, retirando as raízes e material vegetal. Em seguida, foi realizada a coleta de amostra de solo para a caracterização química (Tabela 3), realizada no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA, seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017).

Tabela 3. Caracterização química do solo inicial.

pH (água)	CE dS m <sup>-1</sup>	P -----mg	K <sup>+</sup> dm <sup>-3</sup> -----	Na <sup>+</sup> -----	Ca <sup>2+</sup> -----	Mg <sup>2+</sup> -----	Al <sup>3+</sup> -----	(H+Al) cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	SB	CTC	V	m	PST %
7,50	0,06	28,00	106,30	12,20	1,35	1,35	0,00	0,00	3,03	3,03	100	0	2

pH: Potencial hidrogeniônico, CE: Condutividade elétrica (CE<sub>1:2,5</sub>), P: Fósforo, K<sup>+</sup>: Potássio, Na<sup>+</sup>: Sódio, Ca<sup>2+</sup>: Cálcio, Mg<sup>2+</sup>: Magnésio, Al<sup>3+</sup>: Alumínio, H+Al: Acidez potencial, SB: Soma de bases, CTC: Capacidade de troca catiônica, V: Saturação por bases, m: Saturação por alumínio, PST: Porcentagem de sódio trocável.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

### 3.5 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS

O experimento foi realizado seguindo o delineamento de blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições, sendo que cada repetição foi representada por quatro vasos plásticos com capacidade para 20 litros, com uma planta em cada, totalizando 128 vasos (Figura 3). Também foram adicionadas duas fileiras de plantas, como bordadura, para que não houvesse discrepância nos resultados das parcelas avaliadas. O espaçamento utilizado no experimento é de 1,20 m entre fileiras de plantas e 0,60 m entre plantas.

Os tratamentos foram compostos pelas diferentes estratégias de aplicação da água de abastecimento (AB), fornecida pela CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte), e a água produzida do petróleo sintética (AP), durante as diferentes fases fenológicas da cultura do girassol: Fase 1 – crescimento (duração média de 50 dias) presente na Figura 4A, Fase 2 – florescimento (duração média de 10 dias) representada na Figura 4B,

Fase 3 – enchimento dos grãos (duração média de 20 dias) caracterizada na Figura 4C e Fase 4 – maturação (duração média de 20 dias) simbolizada pela Figura 4D. Portanto, foram utilizados oito tratamentos, descritos abaixo na Tabela 4.

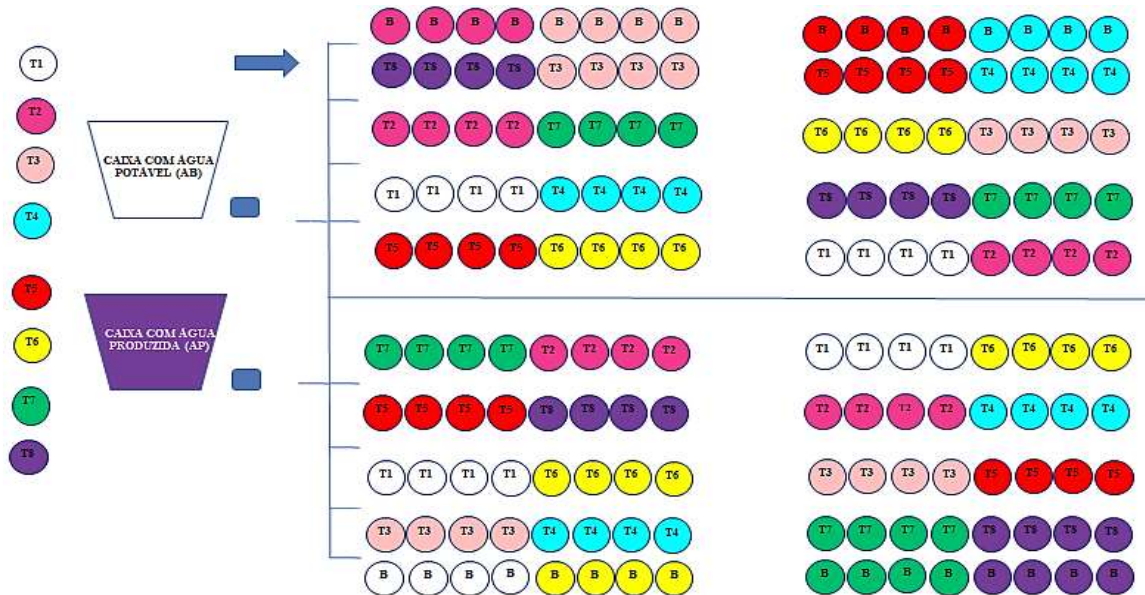


Figura 3. Croqui da área experimental.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

Tabela 4. Descrição dos tratamentos aplicados no experimento.

Tratamentos	Fases fenológicas			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
1	AB	AB	AB	AB
2	AB	AB	AB	AP
3	AB	AB	AP	AP
4	AB	AP	AP	AP
5	AP	AB	AB	AB
6	AP	AP	AB	AB
7	AP	AP	AP	AB
8	AP	AP	AP	AP

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

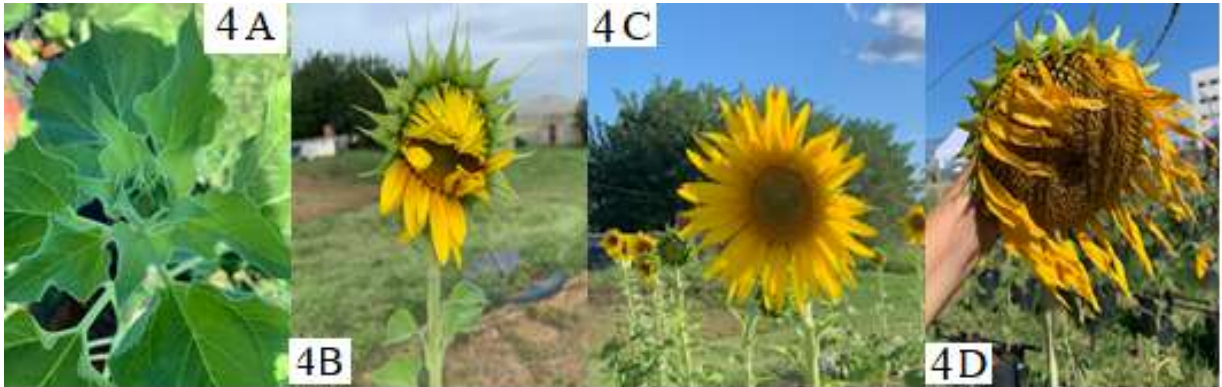


Figura 4. Fases fenológicas do girassol.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2022).

Em cada vaso, foi colocado um sistema de drenagem contendo uma camada de brita nº1 e uma manta de bidim. Foram adicionados 15 litros de solo + 2 litros de esterco bovino curtido, além da adubação química de fundação de acordo com a análise química do solo.

A implantação da cultura foi feita por meio da semeadura direta, colocando-se cinco sementes em cada vaso, padronizando a profundidade de 2 cm. Dez dias após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula em cada vaso.

Da semeadura ao desbaste, foram realizadas irrigações diárias com um regador de crivo fino, utilizando apenas AB. Após 10 dias, foi iniciada a aplicação dos tratamentos.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, utilizando um sistema de irrigação independente para cada tipo de água, composto por um reservatório de 1.000 L, um motobomba (1/2 cv), registros, mangueiras e gotejadores.

### 3.6 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Durante o período experimental, foram realizadas, em intervalos quinzenais, análises de crescimento das plantas de forma não destrutiva, a partir das variáveis descritas abaixo:

#### 3.6.1 Altura da planta

A determinação da altura das plantas (ALT) foi realizada com o auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros, considerando a distância vertical do nível do solo até a altura da inserção do capítulo.

### 3.6.2 Número de folhas

Foi contabilizado o número de folhas (NF) totalmente abertas, considerando todas as folhas emitidas, por meio da contagem direta das folhas.

### 3.6.3 Diâmetro do caule

Com o auxílio de um paquímetro digital, foi mensurado o diâmetro basal do caule (DC), a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo.

### 3.6.4 Área foliar

Inicialmente, foi determinada a área do limbo foliar, a partir de medidas lineares de comprimento (C) e largura (L) do limbo foliar, considerando as duas folhas mais representativas da planta. Foi adotado o modelo matemático proposto por Aquino et al. (2011), apresentado na equação 1. A partir do número de folhas e da área do limbo foliar, determinou-se a área foliar (AfTot) de cada planta (eq. 2).

$$ALF = 0,5477 \times C \times L^{1,0212} \quad (R^2 = 0,96) \quad (1)$$

Em que:

ALF – Área do limbo foliar,  $\text{cm}^2 \text{ folha}^{-1}$ ;

C – Comprimento do limbo foliar, cm;

L – Largura do limbo foliar, cm.

$$AF = ALF \times NF \quad (2)$$

Em que:

AF – Área foliar,  $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ;

ALF – Área do limbo foliar,  $\text{cm}^2 \text{ folha}^{-1}$ ;

NF – Número de folhas.

### 3.6.5 Índice relativo de clorofila

Foi determinado utilizando um medidor portátil, modelo CFL1030, da Falker. As leituras foram realizadas, quinzenalmente, no período da manhã, entre 9h00 e 10h00, em duas

plantas por parcela. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual. Em cada planta, foi realizada a leitura de duas folhas (terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice).

Aos 95 DAS (dias após a semeadura), foram realizadas as análises de forma destrutiva, a partir das variáveis descritas abaixo:

#### 3.6.6 Diâmetro do capítulo

Aos 95 DAS, com o auxílio de uma fita métrica, mensurou-se o diâmetro de cada capítulo (DCap), considerando o valor médio entre as medidas em posições perpendiculares, expresso em cm.

#### 3.6.7 Dados de produção

Após os 95 DAS, os capítulos foram colhidos em cada parcela e depois pesados em balança analítica (PCap). Também foram retiradas todas as sementes do capítulo e pesadas em balança analítica (0,01 g) 100 unidades (P100S) e o total de sementes boas (PSBoas).

#### 3.6.8 Massa seca

O girassol atingiu o ponto de colheita aos 95 DAS, no dia 26 de agosto de 2022. Foram coletadas as plantas de girassol e realizou-se a separação de capítulos (MSCapítulo), caules (MSCaule) e folhas (MSFolhas), para a determinação da massa seca. As plantas foram identificadas e acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65 °C, permanecendo por 72 h. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica (0,01 g). Cada órgão das plantas foi pesado separadamente e a massa seca total (MSTot) foi obtida pelo somatório da massa seca de capítulo + massa seca de caule + massa seca de folhas.

#### 3.6.9 Caracterização química do solo

Para a avaliação da qualidade do solo, foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 10 cm de cada tratamento, com o auxílio de trado tipo holandês, após a colheita do girassol. Em



seguida, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em tamiz com malha de 2 mm.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Água, Solo e Planta (LASAP) da UFERSA, onde foram determinadas as seguintes características químicas do solo: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fósforo (P), potássio ( $K^+$ ), sódio ( $Na^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), alumínio ( $Al^{3+}$ ), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), CTC efetiva (T) e porcentagem de sódio trocável (PST), segundo as recomendações técnicas de Teixeira et al. (2017).

### 3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, verificando-se as significâncias, os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de comparação de médias (Scott-Knott, 5%). As análises estatísticas foram realizadas usando o programa estatístico SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ALTURA DA PLANTA

Na Tabela 5, são apresentados os dados relacionados à análise de significância estatística pelo teste Scott-Knott para a altura do girassol, percebendo-se resposta significativa apenas na primeira época de avaliação (26 DAS), ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5. Altura (cm) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		ALT (26DAS)	ALT (40DAS)	ALT (56DAS)	ALT (89DAS)
Águas	7	20,94*	150,89 <sup>ns</sup>	145,32 <sup>ns</sup>	158,76 <sup>ns</sup>
Bloco	3	17,95 <sup>ns</sup>	266,17*	127,08 <sup>ns</sup>	53,50 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	6,11	86,60	65,81	76,56
CV (%)		9,81	13,52	8,48	9,34
Teste de médias					
Tratamentos					
T1		22,87 b#	60,50 a	96,50 a	96,92 a
T2		26,72 a	74,62 a	103,50 a	105,65 a
T3		28,12 a	76,87 a	103,25 a	97,25 a
T4		26,62 a	70,75 a	98,87 a	95,13 a
T5		23,00 b	63,00 a	89,12 a	87,87 a
T6		27,50 a	74,50 a	94,87 a	91,20 a
T7		24,25 b	65,25 a	88,12 a	88,00 a
T8		22,50 b	65,12 a	90,75 a	87,60 a
Médias		25,20	68,83	95,62	93,70

\* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p>0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p\leq 0,05$ ).

Fonte: A autora.

Na primeira avaliação, os tratamentos T2, T3, T4 e T6 proporcionaram os maiores valores para a altura das plantas. Conforme apresentado anteriormente, os tratamentos aplicados não afetaram a altura das plantas nas demais épocas de avaliação. Portanto, pode-se dizer que durante a primeira fase fenológica a planta ainda estaria mais sensível para o recebimento da AP. Estes dados mostram que o girassol conseguiu crescer e se adaptar às diversas condições.

Esses resultados corroboram, em parte, os apresentados por Costa et al. (2019), os quais, ao analisarem os efeitos da AP tratada no sistema produtivo do girassol, não verificaram efeito do uso de AP sobre altura das plantas. Por outro lado, Silva (2018) e Santos (2022) observaram resposta positiva no uso de AP sobre a altura das plantas.

Oliveira et al. (2017) estudaram o desenvolvimento de duas cultivares de girassol ornamental irrigadas com água residuária, provenientes da estação de tratamento de esgoto e

cultivadas em casa de vegetação, observando que a altura das plantas não foi afetada pelo uso de água residuária.

#### 4.2 NÚMERO DE FOLHAS

O número de folhas não foi afetado pelos tratamentos aplicados em nenhuma das épocas de avaliação (Tabela 6).

Tabela 6. Número de folhas do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		NF (26DAS)	NF (40DAS)	NF (56DAS)	NF (89DAS)
Águas	7	1,54 <sup>ns</sup>	4,77 <sup>ns</sup>	3,51 <sup>ns</sup>	8,57 <sup>ns</sup>
Bloco	3	9,76**	18,03**	13,53**	18,25*
Resíduo	21	1,04	2,18	1,68	5,38
CV (%)		8,35	7,79	6,91	10,15
Teste de médias					
Tratamentos					
T1		11,50 a#	18,00 a	19,25 a	23,50 a
T2		13,25 a	20,00 a	19,37 a	25,25 a
T3		12,87 a	20,75 a	19,12 a	25,00 a
T4		12,37 a	19,75 a	20,12 a	23,33 a
T5		11,87 a	18,75 a	18,62 a	22,00 a
T6		12,50 a	18,62 a	18,75 a	22,00 a
T7		11,87 a	17,87 a	17,50 a	22,25 a
T8		11,62 a	17,87 a	17,37 a	21,15 a
Médias		12,23	18,95	18,76	23,07

Fonte: A autora. \* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Esses resultados são indicativos de que a emissão foliar do girassol é uma variável pouco influenciada pelas condições de cultivo aplicadas. Costa et al. (2019) e Santos (2022) também não encontraram resposta significativa da característica número de folhas em girassol irrigado com diferentes concentrações de AP. Isso provavelmente aconteceu devido à composição da AP, que possui diversos elementos químicos e que para o girassol eles puderam ser absorvidos na forma de nutrientes.

Oliveira et al. (2017) estudaram o desenvolvimento de duas cultivares de girassol ornamental irrigadas com água residuária, proveniente da estação de tratamento de esgoto. E com relação ao número de folhas, observou-se diferença significativa apenas aos 20 DAS, o que foi justificado pela presença da podridão bacteriana, ocorrida durante o experimento.

Costa et al. (2018), utilizando água de esgoto doméstico, e Melo et al. (2020), utilizando água cinza, em ambos os casos trabalhando com girassol ornamental, observaram

respostas positivas utilizando água residuárias sobre o número de folhas, diferindo do resultado obtido no presente estudo.

#### 4.3 DIÂMETRO DO CAULE

A variável diâmetro de caule não foi afetada pelas diferentes estratégias de irrigação utilizando AP, em nenhuma época de avaliação (Tabela 7).

Tabela 7. Diâmetro de caule (mm) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		DC (26DAS)	DC (40DAS)	DC (56DAS)	DC (89DAS)
Águas	7	1,69 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	3,98 <sup>ns</sup>
Bloco	3	3,21 <sup>ns</sup>	9,03*	6,71*	5,84*
Resíduo	21	1,35	1,90	2,07	1,79
CV (%)		11,55	11,24	11,61	11,27
Teste de médias					
Tratamentos					
T1		9,67 a#	12,05 a	12,57 a	12,22 a
T2		10,04 a	12,72 a	12,77 a	13,71 a
T3		11,22 a	13,56 a	13,49 a	11,72 a
T4		10,45 a	12,60 a	13,03 a	11,98 a
T5		9,59 a	11,67 a	12,43 a	12,00 a
T6		10,61 a	12,06 a	11,99 a	10,70 a
T7		9,37 a	11,73 a	11,37 a	10,47 a
T8		9,49 a	11,77 a	11,56 a	12,13 a
Médias		10,06	12,27	12,40	11,86

Fonte: A autora. \* Significativo á 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p>0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p\leq 0,05$ ).

Com o passar dos dias, observa-se que a média obtida durante a última avaliação (89 DAS) foi menor do que a segunda (40 DAS) e a terceira avaliação (56 DAS). Isso se deve ao fato de que o intuito do trabalho foi avaliar o ciclo do girassol por completo, até sua maturação e obtenção de sementes viáveis. Portanto, o girassol precisou atingir sua fase de senescência e só foi retirado do campo quando suas sementes já estavam completamente secas, de forma a que a planta perdesse água e reduzisse o diâmetro de seu caule.

Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Oliveira et al. (2017), os quais também não verificaram resposta significativa para esta variável. Por outro lado, diferem dos apresentados por Costa et al. (2018), trabalhando com água de esgoto, e por Santos (2022), trabalhando com diferentes diluições de AP, os quais observaram resposta significativa para o diâmetro de caule do girassol.

#### 4.4 ÁREA FOLIAR

A variável área foliar foi afetada pelas diferentes estratégias de irrigação com uso de AP em todas as épocas de avaliação, em nível de 1% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8. Área foliar total ( $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		AfTot (26DAS)	AfTot (40DAS)	AfTot (56DAS)	AfTot (89DAS)
Águas	7	526586,05**	715997,04**	3199879,34**	25033636,44**
Bloco	3	86143,98 <sup>ns</sup>	138856,15 <sup>ns</sup>	977985,14 <sup>ns</sup>	1869614,72 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	76079,54	137718,51	390439,62	3639891,77
CV (%)		13,99	11,50	13,65	13,72
Teste de médias					
Tratamentos					
T1		2182,69 a#	3311,75 b	4730,67 c	15842,86 a
T2		2282,31 a	3472,61 b	5297,56 b	17140,64 a
T3		2626,63 a	4038,73 a	6407,26 a	15315,01 a
T4		1777,55 b	3371,25 b	4184,48 c	14337,58 a
T5		1909,89 b	3012,26 c	3908,84 c	9246,89 c
T6		1794,72 b	3070,56 c	4164,69 c	13075,97 b
T7		1592,67 b	2661,72 c	3659,64 c	11762,58 b
T8		1604,15 b	2886,92 c	4268,68 c	12563,75 b
Médias		1971,33	3228,23	4577,73	13910,66

Fonte: A autora. \* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Na primeira época de avaliação (26 DAS), os tratamentos T1, T2 e T3 proporcionaram maiores valores de área foliar em virtude da planta ainda ser muito nova e ter iniciado a irrigação dos três tratamentos com a AB. Portanto, os tratamentos em que as irrigações eram realizadas inicialmente com AP proporcionaram menores valores.

Nas avaliações realizadas aos 40 DAS e 56 DAS, o tratamento T3 foi o único que proporcionou o maior valor, ao passo que os tratamentos com maior aplicação de AP provocaram reduções da área foliar das plantas. Na última avaliação (89 DAS), os tratamentos T1, T2, T3 e T4 promoveram maior desenvolvimento foliar; por outro lado, as plantas submetidas ao tratamento T5 apresentaram menores valores para área foliar. Portanto, observa-se que com o passar dos dias após a implantação do experimento, em todos os tratamentos, houve o incremento de área foliar, evidenciando sua adaptação e constante crescimento, mesmo em condições adversas.

São escassos os estudos sobre o efeito de AP na área foliar do girassol, no entanto é possível encontrar diversos trabalhos mostrando a resposta positiva do uso de água residuária de outras fontes sob essa variável, a exemplo da água do processamento da mandioca

(AQUINO; SILVA; BERGER, 2013; DANTAS et al., 2017) e da piscicultura (MELO et al., 2020).

No entanto, esses autores trabalharam com águas residuárias ricas em matéria orgânica e nutrientes, que favorecem o desenvolvimento foliar das plantas. Por outro lado, no presente estudo utilizaram-se sais para o preparo da água, de forma que o efeito negativo do uso de AP sobre a área foliar das plantas pode ser atribuído à CE da água utilizada ( $3,26 \text{ dS m}^{-1}$ ). Redução da área foliar do girassol em função da salinidade da água de irrigação é relatada por vários autores (OLIVEIRA et al., 2009; NOBRE et al., 2011; GUEDES et al., 2013).

Conforme Castro e Farias (2005), a emissão de folhas e sua velocidade representam uma variável que pode afetar diretamente a interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura, já que a área foliar é um dos principais componentes que se correlacionam com a eficiência fotossintética e é também uma característica imprescindível em estudos de análise de crescimento.

Rigon et al. (2010), ao avaliarem caracteres agronômicos com a produtividade em genótipos de girassol, encontraram no estudo da correlação da área foliar com a produtividade coeficiente de correlação positivo e significativo, considerando essa variável muito eficiente para seleção de genótipos mais produtivos.

#### 4.5 ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA

Na Tabela 9, são apresentados os dados relacionados aos índices relativos de clorofila A, clorofila B e clorofila total, sendo possível observar que não houve resposta significativa para os tratamentos estudados em nenhuma das épocas de avaliação ( $p > 0,05$ ).

De acordo com Mafakheri et al. (2010), o incremento nos teores de pigmentos com o estresse hídrico implica aumento da capacidade para a captação de luz. Porém, eventual excesso de absorção de energia pelo aparato fotossintético pode ocasionar fotoxidação, prejudicando a integridade das membranas.

Tabela 9. Índice relativo de clorofila (IRC) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		CloA (26DAS)	CloA (40DAS)	CloA (56DAS)	CloB (26DAS)	CloB (40DAS)	CloB (56DAS)	CloT (26DAS)	CloT (40DAS)	CloT (56DAS)
Águas	7	4,46 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	11,07 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>ns</sup>	2,97 <sup>ns</sup>
Bloco	3	8,48*	6,01*	108,48**	3,30*	2,42**	64,49**	22,18*	15,94*	19,23**
Resíduo	21	2,21	1,42	0,96	0,86	0,44	0,42	5,75	3,27	2,32
CV (%)		7,27	6,71	5,64	13,52	11,02	7,86	8,76	7,60	5,93
Teste de médias										
Tratamentos										
T1		18,10 a#	17,55 a	16,85 a	5,64 a	5,99 a	7,96 a	23,74 a	23,54 a	24,81 a
T2		20,59 a	18,26 a	16,87 a	7,74 a	6,14 a	7,72 a	27,32 a	24,40 a	24,60 a
T3		21,72 a	19,04 a	17,67 a	7,86 a	6,96 a	8,46 a	29,57 a	26,00 a	26,14 a
T4		20,80 a	17,11 a	18,25 a	7,16 a	5,67 a	8,87 a	27,96 a	22,79 a	27,12 a
T5		20,86 a	17,50 a	17,07 a	7,02 a	5,62 a	8,30 a	27,89 a	23,12 a	25,37 a
T6		21,02 a	18,02 a	17,72 a	7,07 a	6,01 a	8,81 a	28,10 a	24,04 a	26,54 a
T7		20,47 a	17,02 a	17,15 a	6,65 a	5,62 a	8,14 a	27,12 a	22,65 a	25,29 a
T8		20,29 a	17,72 a	17,54 a	6,86 a	6,04 a	8,24 a	27,15 a	23,76 a	25,77 a
Médias		20,48	17,78	17,39	6,88	6,01	8,31	27,36	23,79	25,71

Fonte: A autora. \* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; ns Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Segundo Silva (2019), a eficiência fotossintética está relacionada aos elevados teores relativos de clorofila, influenciando no crescimento e na aclimação das plantas em diversos ambientes. Esta análise também pode ser vista como um indicativo do estado nutricional e da necessidade de aplicação de nitrogênio na cultura de interesse econômico.

Oliveira et al. (2022) observaram que o IRC no tecido foliar do milho aumentou linearmente com o incremento da concentração de água cinza na irrigação, de forma que o maior IRC ocorreu quando as plantas foram irrigadas exclusivamente com a água residuária. Este aumento deve-se à maior disponibilidade de nutrientes, com o uso da água residuária, pois à medida que o teor de nitrogênio do solo aumenta mais clorofila é produzida nas folhas, respondendo com o aumento da intensidade da coloração verde. Comportamento semelhante foi observado por Erthal et al. (2010), trabalhando com água residuária da bovinocultura em capim Tifton-85 (*Cynodon spp.*) e aveia-preta (*Avena strigosa*).

#### 4.6 DADOS DE PRODUÇÃO

Quanto às variáveis referentes à produção, verifica-se que o diâmetro do capítulo (DCap) foi afetado pelos tratamentos aplicados ( $p < 0,05$ ), ao passo que as variáveis peso do capítulo (PCap), peso de 100 sementes (P100S) e peso de sementes boas (PSBoas) foram afetadas significativamente ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância e valores médios para diâmetro do capítulo (cm), peso do capítulo (g), peso de 100 sementes (g) e o peso das sementes boas (g) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		DCap	PCap	P100S	PSBoas
Águas	7	6,28*	14347,87**	2,53**	166,85**
Bloco	3	1,33 <sup>ns</sup>	2699,17 <sup>ns</sup>	1,44*	44,40 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	1,84	1333,02	0,44	25,82
CV (%)		10,35	14,70	7,84	12,07
Teste de médias					
Tratamentos					
T1		13,62 a#	338,47 a	9,62 a	45,75 a
T2		13,70 a	274,53 b	8,91 a	42,75 a
T3		14,52 a	269,80 b	9,31 a	50,21 a
T4		13,60 a	265,64 b	8,63 a	47,97 a
T5		14,05 a	286,80 b	8,74 a	41,44 a
T6		10,70 b	158,09 c	7,51 b	32,18 b
T7		12,02 b	179,86 c	7,77 b	43,18 a
T8		12,60 b	213,33 c	7,62 b	33,26 b
Médias		13,10	248,32	8,51	42,09

Fonte: A autora. \* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).



As variáveis diâmetro do capítulo (DCap) e peso de 100 sementes (P100S) foram afetadas de forma similar pelos tratamentos aplicados. Verificou-se que os tratamentos com menor uso de AP (T1, T2, T3, T4 e T5) proporcionaram maiores valores, ao passo que os menores valores foram obtidos nos tratamentos T6, T7 e T8, os quais continham maior participação de AP, para ambas as variáveis. Dessa forma, percebe-se que tanto o DCap quanto o P100S diminuíram quando a AP foi aplicada em maior volume no ciclo produtivo.

Esse comportamento similar entre essas variáveis ocorreu porque, conforme Castro e Farias (2005), capítulos bem desenvolvidos tendem a ter maior proporção de aquênios grandes e mais pesados. Este fato acontece, segundo Alkio et al. (2003), porque esses aquênios dos capítulos com maior diâmetro têm mais tempo para o enchimento, possibilitando maior aporte de nutrientes, além de ser considerado um indicador para avaliar o desenvolvimento de plantas de girassol e a produtividade de grãos.

Para o peso do capítulo (PCap), verificou-se que apenas o tratamento em que as plantas foram irrigadas durante todo o ciclo com água de abastecimento (T1) diferiu dos demais e apresentou maior PCap. Por outro lado, os tratamentos com maior participação de AP (T6, T7 e T8) proporcionaram menores valores de PCap. Comparando-se o PCap obtidos no tratamento T1 com o PCap médio entre esses tratamentos (183,76 g), verifica-se redução de 45,71%.

Com relação ao peso de sementes boas (PSBoas), verifica-se pouca variação entre os tratamentos aplicados, ocorrendo diferença significativa apenas dos tratamentos T6 e T8 para os demais, sendo que esses provocaram menores valores. Esses resultados concordam parcialmente com os apresentados por Costa et al. (2019), os quais observaram que a aplicação de AP tratada interferiu positivamente no PSBoas.

Considerando que a produção do girassol está relacionada ao peso das sementes, esses dados demonstram que os tratamentos utilizando a AP T2, T3, T4 e T5 foram eficientes em proporcionar a produção semelhante ao tratamento controle (T1), sugerindo que o uso de AP a partir do florescimento não prejudica o rendimento da cultura.

#### 4.7 MASSA SECA

O acúmulo de biomassa do girassol foi afetado pelos tratamentos aplicados, com nível de significância de 1% para as variáveis massa seca de folha (MSFolha), massa seca de caule (MSCaule), massa seca de capítulo (MSCapítulo) e massa seca total (MSTot). Para a

percentagem de massa seca no capítulo (%MSCapítulo), houve resposta significativa em nível de 5% de probabilidade (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância (quadrados médios) e valores médios para massa seca de folha (MSFolha, g), massa seca de caule (MSCaule, g), massa seca de capítulo (MSCapítulo, g), massa seca total (MSTot, g) e a percentagem da massa seca do capítulo (MSCapítulo, %) do girassol irrigado com diferentes combinações de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		MSFolha	MSCaule	MSCapítulo	MSTot	%MSCapítulo
Águas	7	66,53**	54,11**	648,10**	1594,72**	24,14*
Bloco	3	18,58 <sup>ns</sup>	17,20 <sup>ns</sup>	112,71 <sup>ns</sup>	347,80 <sup>ns</sup>	7,94 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	6,89	6,94	64,29	140,59	7,90
CV (%)		20,55	21,13	15,51	15,41	4,16
Teste de médias						
Tratamentos						
T1		18,12 a#	15,91 a	73,43 a	107,47 a	68,25 a
T2		17,14 a	17,55 a	63,21 a	97,90 a	64,67 b
T3		17,13 a	16,56 a	60,78 a	94,47 a	64,55 b
T4		9,36 b	12,31 b	39,30 b	61,00 b	64,74 b
T5		12,62 b	10,08 b	50,50 b	73,22 b	69,18 a
T6		9,17 b	9,28 b	40,47 b	58,95 b	68,39 a
T7		8,48 b	8,43 b	40,39 b	57,30 b	70,39 a
T8		10,16 b	9,63 b	45,54 b	65,35 b	69,81a
Médias		12,77	12,47	51,70	76,96	67,50

Fonte: A autora. \* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

De forma geral, constata-se comportamento similar para as variáveis MSFolha, MSCaule, MSCapítulo e MSTot, nas quais os tratamentos T1, T2 e T3 proporcionaram valores superiores aos demais, e não diferiram entre si (Tabela 11).

Esses resultados mostram que o uso de AP em maior parte do ciclo da cultura pode reduzir o crescimento e acúmulo de biomassa nas plantas. No entanto, seu uso pode ser realizado de forma mais criteriosa.

Os resultados encontrados neste experimento diferem parcialmente dos encontrados por Nobre et al. (2008), Souza (2010) e Andrade et al. (2012), os quais avaliaram a irrigação do girassol com dois tipos de águas (residuária e abastecimento) e observaram que as plantas irrigadas com água residuária tiveram fitomassas fresca e seca da parte aérea superior às irrigadas com AB.

A redução da MS das plantas nos tratamentos que proporcionaram o maior tempo de exposição à AP pode ser atribuída à salinidade dessa água (3,26 dS m<sup>-1</sup>). Destaca-se que o tratamento T5 (AP-AB-AB-AB) teve apenas uma fase contendo água salina (AP) e o restante do ciclo com água de abastecimento. No entanto, vale salientar que a primeira fase da cultura

foi a mais longa (50 dias), de forma que as aplicações seguintes de AB não foram suficientes para reduzir os efeitos do estresse salino. Conforme alguns estudos, o crescimento do girassol sob condições de salinidade do solo ou da água de irrigação é muito afetado, principalmente com a redução da produção de biomassa (TRAVASSOS et al., 2011; SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2019).

O acúmulo de massa seca nas plantas reflete a taxa de fotossíntese líquida verificada durante todo o ciclo da cultura, extremamente influenciada pelas concentrações celulares de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre, os quais participam ativamente dos processos metabólicos de geração de fotoassimilados. Assim, é correto afirmar que a aplicação de efluentes no solo ocasiona, ao sistema solo-planta, o fornecimento de água e nutrientes que poderão ser usados pelas culturas para a produção de matéria seca (SILVA et al., 2016).

A produção de matéria seca também pode estar associada à tolerância da espécie ao contaminante, conseguida de diferentes adaptações bioquímicas que permitem à planta tolerar concentrações elevadas desses elementos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

#### 4.8 ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

Na Tabela 12, estão apresentados os resultados obtidos sobre os atributos físico-químicos do solo ao final do experimento.

Com exceção das variáveis pH e PST, que não apresentaram diferenças significativas, as demais variáveis foram significativas a 1% de probabilidade pelos tratamentos aplicados.

O pH do solo é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas. Os valores ótimos de pH variam entre 6,0 e 6,5, faixa na qual ocorre a disponibilidade máxima de macronutrientes e limitação à disponibilidade máxima dos micronutrientes, bem como redução da acidez do solo (MALAVOLTA, 2006). Neste trabalho, o pH do solo variou de 7,61 a 7,90. Porém, na análise química do solo realizada antes da execução do experimento o pH desse mesmo solo era de 7,50, indicando que o uso de AP nas diferentes estratégias de aplicação não alterou esta característica do solo.

Tabela 12. Atributos físico-químicos do solo após a aplicação de água de abastecimento (AB) e água produzida (AP) em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios										
		pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	SB	CTC	T	PST
Águas	7	0,04 <sup>ns</sup>	0,38**	11772,98**	48726,29**	16040,63**	3,05**	1,36**	7,11**	7,10**	7,10**	12,64 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,02 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	231,20 <sup>ns</sup>	6731,68 <sup>ns</sup>	2504,29 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	7,73 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	0,02	0,04	1670,79	5016,86	2334,05	0,47	0,11	0,57	0,57	0,57	5,50
CV (%)		1,98	25,63	18,16	27,91	21,97	12,71	25,42	9,00	9,01	9,01	20,77
Teste de médias												
Tratamentos												
T1		7,61 a#	1,14 b	224,43 b	288,33 b	241,28 a	5,44 b	1,74 a	8,96 b	8,96 b	8,96 b	11,68 a
T2		7,79 a	1,37 a	212,73 b	488,44 a	342,14 a	5,74 b	2,10 a	10,59 a	10,59 a	10,59 a	14,11 a
T3		7,90 a	0,55 c	188,12 b	191,82 c	164,68 c	5,45 b	0,70 b	7,36 c	7,36 c	7,36 c	9,72 a
T4		7,68 a	0,92 b	201,22 b	287,73 b	226,05 b	4,78 c	1,25 b	7,75 c	7,75 c	7,75 c	12,58 a
T5		7,88 a	0,62 c	317,30 a	262,52 b	259,00 b	7,17 a	1,13 b	10,11 a	10,10 a	10,10 a	11,15 a
T6		7,86 a	0,60 c	281,09 a	136,04 c	141,66 c	5,66 b	0,74 b	7,36 c	7,36 c	7,36 c	8,38 a
T7		7,79 a	0,64 c	233,41 b	213,53 c	206,03 c	5,15 b	0,84 b	7,43 c	7,43 c	7,43 c	12,20 a
T8		7,68 a	0,56 c	142,60 b	161,81 c	178,17 c	4,15 c	2,11 a	7,44 c	7,44 c	7,44 c	10,52 a
Médias		7,77	0,80	225,11	253,78	219,88	5,44	1,33	8,38	8,38	8,38	11,29

Fonte: A autora. \* Significativo á 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; ns Não significativo ( $p > 0,05$ ); # Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). pH: Potencial hidrogeniônico, CE: Condutividade elétrica, P: Fósforo, K: Potássio, Na: Sódio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, SB: Soma de bases, CTC: Capacidade de troca catiônica, T: CTC efetiva e PST: Porcentagem de sódio trocável.

Esses resultados corroboram com os apresentados por Crisostomo et al. (2016), os quais verificam que o pH do solo também não apresentou variações significativas entre os ciclos de cultivo do girassol (BRS 321), utilizando diferentes águas de irrigação (AP tratada por filtração, AP tratada por osmose reversa e água natural do subsolo).

Os valores de fósforo encontrados nesse trabalho o classificam como muito bom em todos os tratamentos. O teor de fósforo encontrado em maior valor ( $317,30 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foi no tratamento T5.

Para a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999), na interpretação da disponibilidade de fósforo, devem ser utilizadas medidas relacionadas com a capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor de fósforo remanescente dos solos.

Para os teores de potássio, o valor mais elevado foi de  $488,44 \text{ mg dm}^{-3}$  no tratamento T2, ao passo que os menores teores de K ocorreram nos tratamentos T3, T6, T7 e T8.

Os maiores teores de sódio foram encontrados nos tratamentos T1 e T2, que receberam em sua maioria a AB.

O excesso de sódio trocável no solo provoca o efeito de dispersão das argilas na presença de água e, por consequência, modifica a estrutura do solo de modo que dificulta a drenagem, originando um ambiente encharcado, desfavorável ao desenvolvimento das plantas devido à ausência de aeração (GOMES et al., 2015).

Para o cálcio, o maior valor encontrado ( $7,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) foi observado no tratamento T5, ao passo que os menores teores ocorreram nos tratamentos T4 ( $4,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e T8 ( $4,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Os maiores teores de magnésio foram obtidos nos tratamentos T8 ( $2,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), T2 ( $2,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e T1 ( $1,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Os nutrientes cálcio, magnésio e potássio têm como característica a interferência que promovem entre si no processo de absorção pelas plantas, sendo as proporções utilizadas na adubação destes tão importantes quanto sua quantidade. O potássio, por exemplo, se estiver presente em alta proporção na solução do solo pode inibir a absorção de cálcio e magnésio pelas plantas (NGUYEN; MANEEPONG; SURANINPONG, 2017).

As variáveis soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e CTC efetiva (T) apresentaram os maiores valores nos tratamentos T2 ( $10,59 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e T5 ( $10,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), seguidos pelo tratamento T1 ( $8,96 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Os demais tratamentos apresentaram menores valores e não diferiram entre si. Os valores dessas variáveis são iguais devido à determinação de índice de alumínio no solo.

A capacidade de troca iônica dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes. A SB de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto  $H^+$  e  $Al^{3+}$  ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ). Portanto, se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas (RONQUIM, 2010).

Echchelh Hess e Sakrabani (2020) observaram que para preservar a estrutura do solo e manter uma produtividade de no mínimo 50% do potencial produtivo é necessário combinar uma água de baixa qualidade, que no caso foi a AP, com outra água de boa qualidade para a irrigação.

Niemeyer et al. (2020) revelaram que para a água lixiviar e provocar o acúmulo de sais no solo há dependência do tipo de água utilizada na irrigação. Houve muito mais enriquecimento desses sais no solo com a utilização da AP sem tratamento, em comparação com o solo que não foi irrigado com a AP.

## 5 CONCLUSÕES

O crescimento do girassol quanto à altura, diâmetro do caule e número de folhas é pouco afetado pelo uso de AP.

A AP é uma fonte viável de água principalmente para o semiárido potiguar, quando aplicada a partir do florescimento ou apenas na fase de crescimento.

Nas condições de cultivo, o uso de AP não alterou negativamente os atributos químicos do solo.

São necessários mais estudos de fertirrigação do girassol com AP avaliando os impactos de outros atributos importantes na planta e no solo, tais como hidrocarbonetos e metais pesados, além de ser de extrema importância o estudo da viabilidade econômica de um projeto como esse.

## REFERÊNCIAS

- AL-SALMI, M.; LAQBAQBI, M.; AL-OBAIDANI, S.; AL-MAAMARI, R. S.; KHAYET, M.; AL-ABRI, M. Application of membrane distillation for the treatment of oil field produced water. **Desalination**, Amsterdam, v. 494, p. 1-7, 2020.
- ALKIO, M.; SCHUBERT, A.; DIEPENBROCK, W.; GRIMM, E. Effect of source-sink ratio on seed set and filling in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 26, n. 10, p. 1609-1619, 2003.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 234, 2010.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2186-2195, 2012.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Bacias**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-de-blocos-exploratorios/4a-rodada-licitacoes-blocos/bacias>. Acesso em: 09 mai. 2023.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>. Acesso em: 09 mai. 2023.
- ANDRADE, L. O.; NOBRE, R. G.; DIAS, N. S.; NASCIMENTO, E. C. S. Crescimento de girassóis ornamental em sistema de produção orgânica e irrigada com água residuária tratada. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2012.
- AQUINO, L. A. D.; SANTOS JÚNIOR, V. C. D.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 832-836, 2011.
- AQUINO, L. A.; SILVA, F. D. B.; BERGER, P. G. Características agrônômicas e o estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 551-557, 2013.
- ASSUNÇÃO, C. S. L. T.; VIEIRA, M. M.; HO, L. L.; The use of control chart for a continuous monitoring of the water-oil ratio in fields of the Potiguar basin/Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringa, v. 42, e42066, 2020.
- ATIA, F. A.; AL-GHOUTI, M. A.; AL-NAIMI, F.; ABU-DIEYEH, M.; AHMED, T.; AL-MEER, S. H. Removal of toxic pollutants from produced water by phytoremediation: Applications and mechanistic study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 32, p. 1-15, 2019.



BRASIL. Governo Federal. **Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre a exploração e a produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, sob o regime de partilha de produção, em áreas do pré-sal e em áreas estratégicas; cria o Fundo Social - FS e dispõe sobre sua estrutura e fontes de recursos; altera dispositivos da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder executivo, Brasília, 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio girassol**. ESALQ/LPV, p. 18, 2014. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200506%20-%20Soja%20Texto%2001%20-%20%20Agronegocio.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B.; OLIVEIRA, M. F.; CARVALHO, H. W. L.; GODINHO, V.; AMABILE, R.; ALVES, R. **Cultivar de girassol BRS 323: híbrido com produtividade e precocidade**. Embrapa Soja – Folder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 2013.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B. A. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA, p. 63, 1996. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77468/1/CNPSO-CIR.-TEC.-13-96.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (org.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja. 2005. p. 163-218.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

CLARK, C. E.; VEIL, J. A. **Produced water volumes and management practices in the United States**. Argonne National Laboratory (ANL), Argonne, IL (United States), 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 1 primeiro levantamento, outubro. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: 13 set. 2022.

COSTA, D. D. O.; VALE, H. S. M.; BATISTA, R. O.; TRAVASSOS, K. D.; PORTELA, J. C. Chemical characteristics of soil irrigated with produced water treatment and underground water. **Dyna**, Medellín, v. 86, n. 210, p. 143-149, 2019.

COSTA, F. G. B.; BATISTA, R. O.; PEREIRA, J. O.; NETO, M. F.; ALVES, S. M. C.; SIMÕES, W. L.; SOUZA, L. DI; PORDEUS, R. V. Productive and morphogenetic characteristics of sunflower irrigated with domestic treated wastewater on northeast semiarid area. **Australian Journal of Crop Science**, Collingwood, v. 12, n. 7, p. 1184-1190, 2018.

COSTA FILHO, G. D.; SILVA, A. C. R.; SOUZA, C. M. M.; MANIÇOBA, F. E.; LIMA, R. N. S.; RÊGO, L. G. S. Formas de ferro em solos representativos da fazenda experimental “Rafael Fernandes”, no município Mossoró-RN. IV REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO: USO SUSTENTÁVEL DO SOLO E SEGURANÇA ALIMENTAR NO NORDESTE BRASILEIRO, 4., 2019, Teresinha **Anais...Teresina**:. NRNE/SBCS, Embrapa Meio-Norte, UFPI, UESPI, IFPI, 2019.

CRISOSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; DE MIRANDA, F. R.; DE ARAGAO, F. A. S.; BARROS, M. E. S. **Irrigação com água produzida**: efeitos sobre características do solo e a produção do girassol. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.

CRISOSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; MIRANDA, F. R.; SOUSA, A.; ARAGAO, F. A. S. **Risco de contaminação do solo e das plantas com metais pesados devido à irrigação com água produzida na extração de petróleo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 183. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.

CUNHA, A. H.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, F.; MILHARDES, A. L.; SILVA, S. O. reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011.

DANTAS, M. S.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E.; REGIS, M.; SILVA, M. M. D.; DANTAS, D. D. C. Growth and seed yield of sunflower on soil fertilized with cassava wastewater. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 963-970, 2017.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, São Paulo, n. 37, n. 37, p. 1-20, 2018.

ECHCHELH, A.; HESS, T.; SAKRABANI, R. Agro-environmental sustainability and financial cost of reusing gasfield-produced water for agricultural irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 227, p. 1-13, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Girassol**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/girassol>. Acesso em: 13 set. 2022.

EMPARN. Empresa de pesquisa agropecuária do Rio Grande do Norte. **Resumo Pluviométrico por estação de coleta em mm – 2022**. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>. Acesso em: 14 mai. 2023.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residual de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 458-466, 2010.

FERNANDES, L. M. C.; FONTENELE, L. A.; DINIZ, M. A. N.; SOUSA, M. D. D. A.; FONSECA, M. C. S. D.; SILVA E SOUSA, P. C.; COSTA, F. G. B. Reuso de água produzida do petróleo na irrigação de plantas: uma revisão integrativa. **Open science research VIII**, Guarujá, v. 8, p. 112-122, 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEREDO, K. S. L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; TEIXEIRA, A. B. R.; PINHO, A. L. S.; VIVACQUA, C. A.; SILVA, D. R. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature fields in the Potiguar Basin–Brazil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 116, p. 109-114, 2014.

GOMES, K. R.; SOUSA, G. G.; LIMA, F. A.; ARAÚJO VIANA, T. V.; AZEVEDO, B. M.; SILVA, G. L. Irrigação com água salina na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) em solo com biofertilizante bovino. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 680-693, 2015.

GUEDES, F., D. H.; DOS SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; DE FARIAS, H. L. Biometria do girassol em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 5, p. 277-289, 2013.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **O Semiárido Brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>. Acesso em: 09 mai. 2023.

LEWIS, K.; MOORE, J.; WEATHERSBY, B. **Agricultural reuse of treated produced water**. Texas: A&M AgriLife Research, 2015.

LIRA, E. G.; AMABILE, R. F.; RAMOS, S. D. R.; FAGIOLI, M.; BRIGE, F. A. A.; SALA, P. I. A. L.; VIEIRA, W. F. Avaliação de genótipos de girassol com base em características morfoagronômicas em ambientes do cerrado brasileiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 23., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 11., 2020, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2020.

MAFAKHERI, A., SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, Collingwood, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MELO, M. R. S.; DIAS, N. S.; MEDEIROS, I. J. N.; TRAVASSOS, K. D.; MIRANDA, N. DE O.; GURGEL, M. T.; LEMOS NETO, H. DE S.; FERNANDES, C. S. Strategies for applying gray water effluent on ornamental sunflower crops. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 27, p. 38537-38544, 2020.

MILLER, H.; DIAS, K.; HARE, H.; BORTON, M. A.; BLOTEVOGEL, J.; DANFORTH, C.; BORCH, T. Reusing oil and gas produced water for agricultural irrigation: Effects on soil health and the soil microbiome. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 722, p. 1-9, 2020.

MMA. 2005. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, nº 053, 18/03/2005, p. 58-63.

MMA. 2007. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. **Resolução CONAMA 393, de 8 de agosto de 2007**. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 09/08/2007.

MMA. 2011. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. **Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa

e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União, 16/05/2011.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. DA P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 15-26, 2013.

MONTE, B. R.; PEREIRA, J. R.; BARRANCO, J. F. Á. A Agricultura irrigada na região do semiárido legal mineiro: um estudo sobre os avanços e impactos ambientais. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, Curitiba, v. 4, n. 6, p. 222-248, 2019.

NGUYEN, H. H.; MANEEPONG, S.; SURANINPONG, P. Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of pummelo. **Journal of Agricultural Science**, Washington, v. 9, n. 12, p. 110-121, 2017.

NIEMEYER, J. C.; MEDICI, L. O.; CORREA, B.; GODOY, D.; RIBEIRO, G.; LIMA, S. D. O. F.; DE CARVALHO, D. F. Treated produced water in irrigation: Effects on soil fauna and aquatic organisms. **Chemosphere**, Oxford, v. 240, p. 124791, 2020.

NOBRE, R. G.; ANDRADE, L. O.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; FIGUEIREDO, G. R. G.; SILVA, L. A. Vigor do girassol (*Helianthus annuus* L.) sob diferentes qualidades de água. **Educação Agrícola Superior**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 58-60, 2008.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 35, n. 3, p. 929-937, 2011.

OLIVEIRA, A. C. B.; DE CARVALHO, C. G. P.; PIRES, R.; DE MORÃES, E. B.; DA SILVA, A. G. Desempenho de híbridos de girassol em espaçamentos reduzidos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 31-37, 2009.

OLIVEIRA, M. K. T.; SOTERO, A. R. H.; RODRIGUES FILHO, R. A.; BATISTA, R. O.; DE OLIVEIRA, F. D. A. Eficiência da água cinza no teor de clorofila em tecido foliar do milho. **Holos**, Natal, v. 2, p. 1-14, 2022.

OLIVEIRA, M. L. A.; DA SILVA PAZ, V. P.; GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, G. X. S. Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 204-219, 2017.

ONISHI, N. **A california oil field yields another prized commodity**. New york times, July, v.7, 2014. Disponível em: [https://www.nytimes.com/2014/07/08/us/california-drought-chevron-oil-field-waterirrigation.html?\\_r=0](https://www.nytimes.com/2014/07/08/us/california-drought-chevron-oil-field-waterirrigation.html?_r=0). Acesso em: 23 jun. 2023.

PEIXOTO, A. M. **Enciclopédia Agrícola Brasileira – Girassol**. São Paulo: Editora EDUSP, 2004.

PEREIRA, V. C.; AMABILE, R. F.; CARVALHO, C. G. P.; BARBOSA, F. S.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Girassol em safrinha no Cerrado do Distrito Federal: desempenho de genótipos. In: Simpósio Internacional Savanas Tropicais, Brasília. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

PINHEIRO, R.; TRAVALLONI, A. M.; MELO JUNIOR, G.; CRISOSTOMO, L. A. L.; AQUINO, O.; ORLANDO, A. E. Projeto piloto de irrigação com água produzida no campo de fazenda Belém. **Anais...** Rio oil & gas-expo and conference, Rio de Janeiro, 2014.

PORTO, E. R.; HERMES, L. C.; FERREIRA, R. S.; VEIGA, H. P.; SAIA, A. **Agricultura biossalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 38p. (Documentos 121.)

REDMON, J. H.; KONDASH, A. J.; WOMACK, D.; LILLYS, T.; FEINSTEIN, L.; CABRALES, L.; VENGOSH, A. Is food irrigated with oilfield-produced water in the california central valley safe to eat? A probabilistic human health risk assessment evaluating trace metals exposure. **Risk Analysis**, v. 41, n. 8, p. 1463-1477, 2021.

RIGON, J. P. G.; CHERUBIN, M. R.; CAPUANI, S.; MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M. Avaliação da correlação entre caracteres agronômicos em genótipos de girassol na região das missões do rio grande do sul, Brasil. **Anais...** IV Congresso Brasileiro de Mamona, Paraíba, 2010.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26p.

ROSSI, R.O. **Girassol.** Curitiba: Tecnagro, 1998.

SANTOS, L. F. **Fertirrigação da cultivar de girassol H-251 com diluições de água produzida do petróleo tratada.** Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

SEAPA - SECRETARIA DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Goiás é responsável por 70% da produção nacional de girassol,** Governo do Estado de Goiás, 2021. Disponível em: <https://www.goias.gov.br/servico/28-agronegocio/125490-agro-em-dados-gois-A1s-%C3%A9-respons%C3%A1vel-por-70-da-produ%C3%A7%C3%A3o-nacional-de-girassol.html>. Acesso em: 13 set. 2022.

SELMECZI-KOVACS, A. Akklimatisation und verbreitung der sonnenblume in Europa. **Acta Ethnographica Academiae Hungaricae**, Budapest, v. 24, n. 1-2, p.47-88, 1975.

SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará. Ceará, Brasil, 2017.

**Resolução COEMA 02, de 02 de fevereiro de 2017.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Fortaleza: Diário Oficial do Estado, 21/02/2017.

SANTOS, L. F. **Fertirrigação da cultivar de girassol H-251 com diluições de água produzida do petróleo tratada.** Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SILVA, F. C. R.; DOS SANTOS, L. C. L.; PEREIRA, K. R. O. Estudo das técnicas aplicadas no tratamento da água produzida de petróleo. **Anais.** Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2022.

SILVA, J. V. L. **Cultura do girassol: análise da produção em Mato Grosso, Goiás e Rio Grande do Sul**, 2018.

SILVA, P. C. C.; DE AZEVEDO NETO, A. D.; GHEYI, H. R.; RIBAS, R. F.; COVA, A. M. W.; DOS REIS SILVA, C. R. Avaliação de métodos de aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para aclimação de plantas de girassol à salinidade. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 8, n. 1-3, p. 1-4, 2019.

SILVA, T. T. S.; LOPES, R. M. B. P.; GUIMARÃES, J. P.; DE LIMA, V. L. A.; DE FARIAS, M. S. S. Efeito da adubação orgânica sobre a matéria seca do girassol irrigado com água residuária. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 11, n. 3, p. 13-17, 2016.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n. 3. p 48-57, 2013.

SOUZA, M. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido - 2021**, Recife, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariadorelatorionv.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. 3. ed. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

TIPEWA, N. C. **Produtividade de colza, girassol e soja em situações culturais diversas: variedades, datas de sementeira e adubação azotada**. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca, Portugal, 2017.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R.; DO NASCIMENTO, A. K.; DIAS, N. D. S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.

VERDÉLIO, A. **Brasil carece de legislação para reúso de água**. 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/brasil-carece-de-legislacao-para-reuso-de-agua-diz-coordenador-da-ana> . Acesso em: 14 mai. 2023

VIANNA, L. F. Resolução Conama nº 393. **Revista Brasileira de Direito do Petróleo, Gás e Energia**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 211-224, 2018.

YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K. S.; GUAN, D. B. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, Birmingham, v. 69, n. 5, p. 1140-1147, 2010.