


Organizadores
CARLA MICHELLE DA SILVA
RACHEL BORGES DA SILVA
ANTÔNIO VEIMAR DA SILVA
LAYLLES COSTA ARAÚJO

ÁGUAS NO SERTÃO

**IRRIGAÇÃO PARA O
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**



Organizadores
CARLA MICHELLE DA SILVA
RACHEL BORGES DA SILVA
ANTÔNIO VEIMAR DA SILVA
LAYLLES COSTA ARAÚJO

ÁGUAS NO SERTÃO

IRRIGAÇÃO PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

© 2025 – Editora MultiAtual

www.editoramultiatual.com.br

editoramultiatual@gmail.com

Organizadores

Carla Michelle da Silva

Rachel Borges da Silva

Antônio Veimar da Silva

Laylles Costa Araújo

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Capa: Freepik/MultiAtual

Revisão: Respective autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Rícael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Águas no Sertão: Irrigação para o Semiárido Brasileiro
/ Carla Michelle da Silva; Rachel Borges da Silva; Antônio Veimar da Silva; Laylles Costa Araújo (organizadores). – Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2025. 163 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-6009-178-8
DOI: 10.29327/5548639

1. Irrigação, drenagem, diques, reservatórios. 2. Ecologia aquática / Água / Ciclo da água / Poluição das águas. I. Silva, Carla Michelle da. II. Silva, Rachel Borges da. III. Silva, Antônio Veimar da. IV. Araújo, Laylles Costa. V. Título.

CDD: 371.104
CDU: 631/63

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora MultiAtual
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.editoramultiatual.com.br
editoramultiatual@gmail.com

Formiga - MG
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.editoramultiatual.com.br/2025/05/aguas-no-sertao-irrigacao-para-o.html>



**ÁGUAS NO SERTÃO:
IRRIGAÇÃO PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Organizadores

Carla Michelle da Silva

Rachel Borges da Silva

Antônio Veimar da Silva

Laylles Costa Araújo

AUTORES

ANTÔNIO VEIMAR DA SILVA

CARLA MICHELLE DA SILVA

ELLEN DA SILVA MELO

ERNANDO SÁVIO RODRIGUES DE MELO

GILCIMAR DE CARVALHO FERREIRA

ISAAC MATHEUS DE SOUSA LINO

MANUEL EDUARDO MARQUES DA SILVA

MARCUS RICHARD MARREIROS MACEDO

RACHEL BORGES DA SILVA

TIAGO LIMA RODRIGUES

VANESSA MENDES DA SILVA

VITÓRIA JANNE GOMES MENDES

APRESENTAÇÃO

A obra *Águas no Sertão: Irrigação para o Semiárido Brasileiro* nasce da urgente necessidade de compreender, refletir e propor caminhos para o uso sustentável da água em uma das regiões mais desafiadoras e resilientes do país: o semiárido. Trata-se de um território onde a escassez hídrica se entrelaça com a sabedoria dos povos tradicionais, a força produtiva da agricultura familiar e os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Este livro é, portanto, um convite ao diálogo entre ciência, tecnologia, saberes locais e políticas públicas que tenham como foco o desenvolvimento sustentável.

Ao longo dos seis capítulos, os autores – professores e estudantes comprometidos com a transformação social – apresentam reflexões e dados sobre a variabilidade climática, o uso racional da água, os sistemas de irrigação e suas potencialidades no contexto da agricultura familiar. A obra também aborda a convivência com o semiárido, trazendo exemplos de práticas exitosas, políticas públicas de incentivo e inovações voltadas à gestão participativa dos recursos hídricos.

A obra valoriza a irrigação não apenas como uma técnica agrícola, mas como uma ferramenta estratégica de transformação social e ambiental. Por isso, os textos dialogam com a educação ambiental, a organização comunitária, o protagonismo local e o papel das instituições públicas na implementação de soluções efetivas para a escassez hídrica.

Este livro é, portanto, uma construção coletiva que expressa a diversidade de olhares, saberes e experiências de seus autores e autoras. A interdisciplinaridade presente nos textos enriquece o debate e demonstra que os desafios da água no semiárido exigem abordagens integradas, que conectem a engenharia, a pedagogia, a agronomia, a geografia, o direito e outros campos do conhecimento.

O livro está estruturado em seis capítulos que se complementam e se entrelaçam em torno de um tema comum: o uso consciente da água e a construção de um desenvolvimento sustentável no semiárido brasileiro. Cada capítulo aprofunda questões essenciais como a realidade hídrica da região, as tecnologias de irrigação mais adequadas, o protagonismo da agricultura familiar, os impactos da variabilidade climática, as políticas públicas voltadas ao campo e os desafios da gestão hídrica. De forma acessível, crítica e prática, a obra oferece um panorama integrado, capaz de dialogar com estudantes, produtores, extensionistas, gestores públicos e todos os que atuam ou se interessam pela

convivência digna e produtiva com o semiárido, valorizando suas singularidades e riquezas.

O capítulo 1, **Águas no Sertão: Compreendendo a Realidade Hídrica do Semiárido Brasileiro**, aborda a escassez de água como um dos principais desafios do semiárido brasileiro. A análise inclui a caracterização das bacias hidrográficas, o comportamento dos aquíferos e a distribuição desigual das chuvas. Além disso, o texto discute como a gestão integrada dos recursos hídricos é fundamental para garantir o abastecimento humano e o desenvolvimento agrícola sustentável na região. São apresentados também dados sobre degradação ambiental, conflitos pelo uso da água e a importância de políticas públicas de convivência com o semiárido.

No capítulo 2, **Sistemas de Irrigação: Um Leque de Opções para o Semiárido**, são apresentadas e comparadas diferentes técnicas de irrigação adequadas ao semiárido, como a irrigação por aspersão, localizada e por sulcos. Os autores analisam a eficiência hídrica de cada sistema, sua viabilidade econômica e a capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas da região. O capítulo também discute aspectos como evapotranspiração, uso racional da água e o papel das tecnologias de monitoramento no aprimoramento do uso dos recursos hídricos no campo.

O terceiro capítulo, **Irrigação e Agricultura Familiar no Semiárido: Um Elo para o Desenvolvimento Sustentável**, destaca o papel central da agricultura familiar na produção de alimentos e como a irrigação pode potencializar sua produtividade e segurança alimentar. São discutidas experiências de sucesso, políticas públicas de fomento (como o PRONAF) e obstáculos enfrentados por pequenos produtores, como o acesso à tecnologia e à assistência técnica. O capítulo reforça que a irrigação, se implementada de forma justa e sustentável, pode contribuir significativamente para o fortalecimento da agricultura familiar no semiárido.

O capítulo 4, **Irrigação e Agricultura Familiar no Semiárido: Um Elo para o Desenvolvimento Sustentável**, aborda a relevância da irrigação no fortalecimento da agricultura familiar no semiárido brasileiro, destacando como a água, quando bem gerida, se torna um vetor de inclusão produtiva e segurança alimentar. São discutidas as particularidades do contexto socioeconômico das famílias agricultoras e os desafios enfrentados, como o acesso à terra, à assistência técnica e ao crédito. O texto enfatiza o papel estratégico da irrigação de pequena escala, adaptada à realidade local, e explora tecnologias sociais como cisternas e sistemas de gotejamento de baixo custo. O capítulo

defende que a irrigação pode ser a ponte entre a produção de base agroecológica e os mercados locais, promovendo sustentabilidade ambiental, geração de renda e permanência das famílias no campo.

O capítulo 5, **Projetos Governamentais e Políticas Públicas para o Semiárido**, faz uma retrospectiva das políticas públicas implementadas no semiárido brasileiro, desde a criação do DNOCS até programas recentes de convivência com a seca. Destaca o papel de iniciativas como o P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas), PRONAF, e políticas de irrigação voltadas para a agricultura familiar. Os autores também analisam os avanços e as limitações dessas políticas, ressaltando a importância da participação social e da descentralização na formulação de estratégias eficazes e inclusivas.

No sexto e último capítulo, **O Futuro das Águas do Semiárido: Desafios e Inovações para a Gestão Hídrica**, são apresentados os principais desafios e perspectivas para o futuro da gestão hídrica no semiárido brasileiro. A partir da análise das mudanças climáticas, da escassez de água e da crescente pressão sobre os recursos hídricos, o texto discute soluções que integram inovação tecnológica, políticas públicas e participação comunitária. Aborda temas como a necessidade de modernização dos sistemas de irrigação, o uso de tecnologias digitais para monitoramento hídrico e a importância da educação ambiental para a construção de uma cultura de uso consciente da água. O capítulo conclui ressaltando que a resiliência hídrica da região depende de ações integradas que aliem ciência, tradição e compromisso político com o semiárido.

Esperamos que esta obra possa contribuir para o fortalecimento do debate sobre a convivência com o semiárido, para a construção de políticas públicas mais justas e para a formação de profissionais sensíveis às especificidades socioambientais da região. Que ela possa também inspirar estudantes, gestores, agricultores e comunidades a se engajarem na construção de alternativas sustentáveis e resilientes para o uso da água.

Por fim, este livro é um tributo ao sertanejo, que transforma a aridez em potência, e um apelo à responsabilidade coletiva com o uso consciente de um bem tão essencial quanto escasso: a água.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

ÁGUAS NO SERTÃO: COMPREENDENDO A REALIDADE HÍDRICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Isaac Matheus de Sousa Lino; Tiago Lima Rodrigues; Manuel Eduardo Marques da Silva; Ernando Sávio Rodrigues de Melo; Gilcimar de Carvalho Ferreira; Carla Michelle da Silva **12**

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: UM LEQUE DE OPÇÕES PARA O SEMIÁRIDO

Ellen da Silva Melo; Vanessa Mendes da Silva; Ernando Sávio Rodrigues de Melo; Manuel Eduardo Marques da Silva; Marcus Richard Marreiros Macedo; Carla Michelle da Silva **30**

CAPÍTULO 3

IRRIGAÇÃO INTELIGENTE: MANEJO PARA ALTA PRODUTIVIDADE E USO RACIONAL DA ÁGUA

Manuel Eduardo Marques da Silva; Ernando Sávio Rodrigues de Melo; Vanessa Mendes da Silva; Tiago Lima Rodrigues; Rachel Borges da Silva; Carla Michelle da Silva **56**

CAPÍTULO 4

IRRIGAÇÃO E AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO: UM ELO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Gilcimar de Carvalho Ferreira; Marcus Richard Marreiros Macedo; Isaac Matheus de Sousa Lino; Vitória Janne Gomes Mendes; Ellen da Silva Melo; Carla Michelle da Silva **83**

CAPÍTULO 5

PROJETOS GOVERNAMENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SEMIÁRIDO

Carla Michelle da Silva; Antônio Veimar da Silva **114**

CAPÍTULO 6

O FUTURO DAS ÁGUAS DO SEMIÁRIDO: DESAFIOS E INOVAÇÕES PARA A GESTÃO HÍDRICA

Rachel Borges da Silva; Vitória Janne Gomes Mendes; Marcus Richard Marreiros Macedo; Vanessa Mendes da Silva; Ellen da Silva Melo; Carla Michelle da Silva **132**

ORGANIZADORES

161

CAPÍTULO 1

ÁGUAS NO SERTÃO: COMPREENDENDO A REALIDADE HÍDRICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Isaac Matheus de Sousa Lino

Tiago Lima Rodrigues

Manuel Eduardo Marques da Silva

Ernando Sávio Rodrigues de Melo

Gilcimar de Carvalho Ferreira

Carla Michelle da Silva

1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O Semiárido brasileiro abrange uma grande área do território nacional, incluindo grande parte do Nordeste e porções do Norte de Minas Gerais. Essa região é caracterizada por um clima tropical, com peculiaridades que afetam diretamente as condições de vida, o desenvolvimento econômico e as atividades agrícolas locais.

A região Nordeste, contém a maior parte do Semiárido, no qual é formado por um conjunto de espaços com característica de balanço hídrico sendo negativo, resultado das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h ano⁻¹, temperaturas médias anuais de 23 a 27 °C, evaporação de 2.000 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50% (Brito *et al.*, 2007).

Segundo dados do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) na última delimitação de 2024, são no total 11 estados, mais de 1400 municípios, e cerca de 31 milhões de habitantes presentes no atual semiárido.

1.2 Clima e índices pluviométricos

O clima constitui a característica mais importante do Semiárido, principalmente devido as secas estacionais e periódicas (Mendes, 1997). Que muitas vezes definem a produção nas cidades inseridas nessa área do país.

Atualmente, os índices pluviométricos no semiárido brasileiro continuam sendo marcados por uma significativa irregularidade, com a média anual de precipitação variando entre 250 mm e 800 mm, dependendo da localização. Essa precipitação se concentra em um curto período do ano, geralmente em torno de quatro meses, e é seguida por longos períodos de seca, que podem se estender por até oito meses. A variabilidade interanual também é elevada, resultando em anos com chuvas abaixo da média, como durante os eventos de secas prolongadas (IRPAA, 2024).

Um dos eventos que mais afetaram a pluviosidade e clima no semiárido nos últimos anos foi o *El Niño* e que é uma anomalia do sistema climático que representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera, tendo como consequência alterações no tempo e no clima em todo o Planeta (Aragão, 2000).

Os eventos mais expressivos de *El Niño* coincidem com as secas mais prolongadas no Nordeste brasileiro. Eles demarcam ciclos que alteram as condições de tempo e clima e modificam negativamente as precipitações na Região (Patrocínio, 2008).

O impacto causado pelo fenômeno ENOS (*El Niño* oscilação sul) é perceptível na alteração do regime de chuvas e no volume total de precipitação acumulada, podendo resultar em secas severas que afetam diretamente as atividades humanas na região do Nordeste brasileiro. Isso é especialmente preocupante, dado que uma parcela significativa da população depende largamente da agricultura de subsistência (Molion; Bernardo, 2002).

1.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração é outro grande fator muito relacionado ao clima extremo do semiárido. Colocando de uma forma geral, quanto maior os fatores de disponibilidade de energia solar, a temperatura do ar e o vento e quanto menor a umidade relativa do ar, conseqüentemente maior será a taxa de evapotranspiração (Fietz; Fisch, 2009).

E com isso maior será a perda de água na região pela transpiração e evaporação da água no solo. Além disso, a proximidade da linha do Equador, onde a incidência solar é mais direta, aumenta a intensidade da insolação no semiárido, agravando ainda mais a evapotranspiração. Esse cenário climático, associado a precipitações mal distribuídas, torna essencial o uso de técnicas de manejo de irrigação que considerem a alta demanda hídrica das culturas devido às elevadas taxas de evapotranspiração (Zanella, 2014).

Outro ponto que tem sido levantado é o uso de tecnologias para a determinação da evapotranspiração, como por exemplo o de Teixeira *et al.* (2017) que analisou a evapotranspiração em Petrolina-PE e Juazeiro-BA, utilizando dados de sensoriamento remoto e estações meteorológicas. Levantando resultados que indicaram que, as chuvas anuais atenderam apenas 19% da demanda atmosférica, sendo a irrigação essencial, para suprir a evapotranspiração e garantir a produção agrícola na região.

Além disso, pesquisas utilizando o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) têm se mostrado eficazes para mapear a evapotranspiração em áreas semiáridas, como o estudo realizado na bacia do Rio São Gonçalo, onde foram identificadas variações significativas na evapotranspiração real (ET_r) ao longo do ano, influenciadas pela vegetação e disponibilidade de água (Bezerra *et al.*, 2021).

1.4 Déficit hídrico no semiárido

Devido a seu clima, com chuvas irregulares focadas em poucos períodos do ano, o semiárido enfrenta um sério problema com déficit hídrico, podendo ser igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (Pimenta, 2020).

O déficit nessas regiões tem aumentado anualmente, devido a vários fatores: em primeiro lugar, o crescimento populacional, que eleva a demanda por água para consumo, somado às mudanças no ciclo hidrológico ocasionadas pelo uso inadequado e ocupação do solo. Também pelas transformações no estilo de vida da população local, juntamente com o processo de urbanização. Além das mudanças climáticas, que intensificam a escassez de água, resultando em maior competição por esse recurso entre os setores agrícola, industrial e urbano (Ali; Talukder, 2008).

Isso traz também muitas pesquisas sobre técnicas para melhorar essas condições, sendo um exemplo a aplicação de silício sendo aplicado com resultados positivos em uma grande diversidade de culturas, como arroz, sorgo milho entre outros (Araujo, 2022).

O déficit hídrico e seus diversos fatores relacionados, trazem grandes perdas de produtividade e qualidade dos produtos. Não só isso, os solos de textura arenosa podem ampliar o problema pelas suas baixas condições de retenção de água além de geralmente possuírem excessos de drenagem interna, tornando dessa forma a falta de reposição de água no solo pela precipitação pluvial ou por irrigação, um resultado irreparável para o déficit hídrico (Cordeiro, 2019).

Adicionalmente, o semiárido brasileiro historicamente lida com desafios relacionados à escassez hídrica, é marcado por eventos climáticos extremos, principalmente no que diz respeito a secas severas. Esse e outros fenômenos como certos períodos de alta pluviosidade configuram-se como alguns dos principais desastres climáticos da região, devido às significativas perdas sociais e econômicas que provocam (Carmo; Lima, 2020).

2 DISPONIBILIDADE E DEMANDA DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO

A água é um recurso natural vital para a manutenção da vida em áreas áridas e semiáridas, sendo, por isso, uma fonte de crescente preocupação global, devido aos claros sinais de déficit crescente e degradação desse recurso (Soares; Campos, 2013).

No Semiárido, qualquer ação voltada para a garantia de água deve levar em conta aspectos fundamentais como fonte, transporte e tratamento. Com a escassez de rios perenes, essa região possui o menor percentual de água reservada no país, em torno de 3%. Assim, a água de chuva, com precipitações médias variando entre 400 e 800 milímetros anuais, torna-se a principal fonte de abastecimento. Com isso em vista os açudes se tornam as principais fontes de abastecimento no Semiárido, com a água transportada por adutoras até estações de tratamento urbano e, posteriormente, às residências. Contudo, as etapas de tratamento e distribuição são vulneráveis, e, em alguns casos, a água chega sem tratamento, frequentemente contaminada por produtos químicos e metais pesados (ASA, 2019).

Outro entrave, é a perfuração de poços artesianos no Nordeste que enfrenta limitações significativas devido à predominância do embasamento cristalino na região, que restringe a potencialidade das águas subterrâneas. Poços perfurados nessa formação geológica geralmente apresentam baixa vazão e elevados teores de sais, o que compromete a qualidade da água disponível (Zanella, 2014). Além disso, a água

subterrânea em muitos locais do semiárido nordestino é salobra, dificultando seu uso para atividades humanas, e os poços costumam apresentar vazões em torno de 1 m³/h (Cirilo, 2008).

Essa limitação geológica se agrava pelo clima semiárido da região, caracterizado por baixa disponibilidade hídrica superficial. A variabilidade temporal dos índices pluviométricos e a predominância de solos rasos sobre formações cristalinas dificultam as trocas de água entre rios e o solo adjacente, reduzindo a recarga dos corpos d'água (Cirilo, 2008). Como consequência, a região apresenta uma extensa rede de rios intermitentes, o que gera escassez de água em determinados períodos do ano e eleva o nível de insegurança hídrica para as populações locais (ANA, 2019).

A maior parte dos recursos hídricos superficiais disponíveis no Nordeste provém de mananciais, especialmente em estados como Pernambuco, onde mais de 83% dos municípios dependem exclusivamente dessas fontes para o abastecimento urbano (Atlas de Abastecimento Urbano do ANA, 2010). Entre os mananciais, destacam-se os aluviões — formações sedimentares depositadas nas calhas dos cursos d'água — que representam reservas significativas de água no semiárido. Esses sedimentos atuam como barreira natural contra a evaporação, protegendo a água armazenada e aumentando sua disponibilidade (Cirilo *et al.*, 2010; Cabral *et al.*, 2016).

Apesar das limitações impostas pelas rochas cristalinas, que ocupam cerca de 80% da região e apresentam baixa porosidade e manto de decomposição pouco espesso, falhas e fraturas tectônicas permitem o acúmulo de água subterrânea, tornando-a uma fonte acessível para as comunidades locais (Zanella, 2014). Em contrapartida, em áreas com formação sedimentar, como a Bacia Sedimentar do Parnaíba, no Piauí, o potencial para exploração de águas subterrâneas é mais elevado, mesmo sob condições climáticas semiáridas, devido à maior capacidade de armazenamento desses aquíferos (Zanella, 2014).

No contexto nacional, a disponibilidade de água subterrânea é estimada em 13.205 m³/s, porém sua distribuição é desigual, assim como ocorre com as águas superficiais. A produtividade dos aquíferos varia amplamente, resultando em regiões com escassez e outras com relativa abundância. O monitoramento das águas subterrâneas no Brasil é descentralizado e menos desenvolvido em comparação ao das águas superficiais. Estados como São Paulo, Ceará, Distrito Federal e Minas Gerais possuem redes próprias de monitoramento, enquanto o Serviço Geológico do Brasil opera a Rede Integrada de

Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), que em 2022 contava com 429 poços distribuídos em 25 aquíferos e 22 unidades federativas (ANA, 2023).

Além disso, é importante destacar o perfil demográfico da região: aproximadamente 38% da população dos municípios do Nordeste reside na zona rural, onde o abastecimento de água por métodos convencionais, como grandes adutoras, não é economicamente viável (Medeiros et al., 2012). Isso reforça a necessidade de estratégias específicas para garantir o acesso à água, considerando as limitações naturais e geológicas da região.

Por fim, em termos de consumo, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2024), cerca de 84% da água retirada no Brasil é destinada à irrigação, que responde por 50,5% do uso total. O abastecimento urbano corresponde a 23,9%, seguido pela indústria (9,4%), criação de animais (8%), termelétricas (5%), abastecimento rural (1,6%) e mineração (1,6%). Esses dados evidenciam a pressão sobre os recursos hídricos e a importância de um manejo eficiente, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido nordestino.

3 IMPACTOS DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO SEMIÁRIDO

A variabilidade climática no semiárido brasileiro representa um desafio significativo para o desenvolvimento socioeconômico da região, impactando especialmente a agricultura, a disponibilidade de recursos hídricos e a segurança alimentar das populações locais. A região semiárida do Brasil, caracterizada por períodos irregulares de chuva e longas secas, sofre com eventos climáticos extremos que têm se tornado mais intensos e frequentes devido às mudanças climáticas globais. Esse cenário afeta diretamente a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponíveis, essenciais para atividades como a agricultura e o abastecimento humano (Tavares *et al.*, 2011).

Entre os maiores impactos dessa variabilidade estão a desertificação, as secas frequentes, o êxodo de áreas e as dificuldades socioambientais decorrentes desses fenômenos e das ações humanas no meio ambiente.

3.1 Desertificação

O clima exerce uma influência significativa na formação dos solos, sendo fundamental para a velocidade e o tipo de intemperismo das rochas. Em condições de temperatura constante, a escassez de água no solo e a intensa erosão, causada pelo regime de chuvas concentradas, resultam em um intemperismo físico e químico reduzido. Como consequência, forma-se um solo raso, com afloramentos rochosos em áreas pontuais (Santos, 2017).

Dessa forma, a desertificação é o processo de degradação das terras em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de fatores ambientais, mudanças climáticas ou atividades humanas, como desmatamento e uso inadequado do solo, que podem transformar áreas predispostas em desertos (Pimentel, 2013). No Brasil, as áreas suscetíveis à desertificação concentram-se no Nordeste, especialmente no Ceará, onde todo o território é vulnerável, com os núcleos críticos em Irauçuba, Inhamuns e Médio Jaguaribe (CGEE, 2016).

3.2 Segurança hídrica no Semiárido

Já a segurança hídrica, consiste na disponibilidade de água suficiente e de qualidade adequada para suprir as necessidades humanas, apoiar atividades econômicas e conservar ecossistemas aquáticos. Esse conceito é guiado por quatro dimensões: econômica, humana, ecossistêmica e de resiliência. Na gestão da água, essas dimensões fundamentam ações para garantir acesso equitativo ao recurso, sua preservação e a mitigação dos impactos de crises hídricas e desastres ambientais. Isso envolve estratégias de prevenção e adaptação para promover o uso sustentável e resiliente da água em cenários de escassez ou eventos extremos (ANA 2024).

Um dos pontos mais importantes a se levantar sobre a segurança hídrica nessa região e sobre as suas secas históricas, que de acordo com dados da ANA, lançados em 2024 tem se tido melhoras significativas.

Segundo o Órgão desde 2017, a situação de seca no Nordeste brasileiro vem apresentando melhoria contínua. Após um período de seca muito severa em 2017, a intensidade diminuiu significativamente em 2021, com cerca de 50% da região ainda

afetada. Em 2022, o fenômeno recuou ainda mais, impactando apenas 2,4% da área em dezembro.

3.3 Êxodo rural associado ao clima

No Nordeste brasileiro, as pequenas propriedades rurais, dependentes da agricultura familiar, enfrentam baixa oferta de oportunidades socioeconômicas, gerando descrença na melhoria da qualidade de vida. Nesse contexto, muitos jovens acabam migrando para áreas urbanas em busca de melhores perspectivas profissionais.

Essa região tem vivenciado intensos movimentos migratórios, principalmente devido ao êxodo rural. Esse processo ocorre quando a população rural se desloca para as cidades em busca de melhores condições de vida, atraída pela possibilidade de lucro financeiro e pelo apelo urbano para as populações de baixa renda (Santos *et al.*, 2009; CasaGrande; Souza, 2012).

Como já descrito muitos desses movimentos se devem ao seu clima, além de também enfrentar problemas estruturais para a sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos, agravados por fatores climáticos como a seca. Esses desafios incluem a degradação do solo, a escassez de água e a redução da biodiversidade, fatores que impulsionam o processo de desertificação na região (Pan-Brasil, 2005).

4 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SEMIÁRIDO: CARACTERÍSTICAS, DESAFIOS DE GESTÃO, COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS.

As bacias hidrográficas do semiárido brasileiro possuem características únicas e enfrentam grandes desafios de gestão. Para apoiar o uso sustentável da água, contam com comitês de bacia e planos específicos de recursos hídricos. Localizadas em uma das regiões mais áridas do país, essas bacias abrangem partes dos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe e Piauí. O semiárido é marcado pela escassez de água e pela irregularidade das chuvas, com uma média anual de precipitação baixa e alta taxa de evaporação, o que contribui para os frequentes períodos de seca (Freitas, 2019).

Diante disso, gestão das bacias hidrográficas no semiárido enfrenta desafios diversos e complexos. A escassez de água obriga os gestores a encontrar maneiras de

distribuir esse recurso limitado entre setores como abastecimento público, agricultura e indústria. Além disso, a sobre-exploração das águas subterrâneas, os conflitos pelo uso da água e a degradação ambiental, incluindo o assoreamento e a contaminação dos corpos d'água, tornam esses desafios ainda maiores. A pressão para atender à crescente demanda hídrica, impulsionada pelo aumento populacional e pela expansão agrícola e industrial, torna indispensável à adoção de práticas de gestão mais eficazes e sustentáveis (Aleixo, 2016).

Tendo em vista isso, os comitês de bacias hidrográficas têm um papel essencial na gestão da água no semiárido, funcionando como espaços de diálogo e decisão que reúnem representantes da sociedade civil, do poder público e dos usuários de água. Esses comitês promovem o uso sustentável e a preservação dos recursos hídricos, estabelecendo normas para o uso da água e mediando conflitos entre usuários. Um dos comitês mais importantes na região é o do Rio São Francisco, que busca garantir que os diversos usos desse rio sejam administrados de forma equilibrada e sustentável (Freitas, 2019).

Nesse sentido, para enfrentar os desafios do semiárido, foram criados Planos de Recursos Hídricos com diretrizes, metas e ações voltadas para uma gestão integrada e sustentável das bacias. Esses planos focam em garantir o abastecimento, conservar os recursos naturais, controlar a poluição e promover o uso racional da água. Entre as ações previstas, destacam-se a construção e manutenção de reservatórios, a instalação de sistemas de irrigação mais eficientes e o incentivo ao uso de técnicas de captação de água da chuva e reuso de água (CBHSF, 2024).

Dessa forma, a gestão das bacias hidrográficas no semiárido brasileiro é crucial para a sustentabilidade da região, onde a água é escassa e a demanda por esse recurso só aumenta. A atuação dos comitês de bacias e a criação de planos de gestão hídrica são essenciais para enfrentar os desafios impostos pelo clima, pela geografia local e pelas necessidades socioeconômicas. A integração entre políticas públicas e a participação ativa da sociedade civil é fundamental para garantir a disponibilidade de água no semiárido, promovendo um desenvolvimento sustentável para a região.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO

As mudanças climáticas influenciam diretamente a disponibilidade de água, o que tem levado pesquisadores ao redor do mundo a desenvolver métodos para prever os impactos dessas alterações nos recursos hídricos. No Brasil, a produção de alimentos depende em grande parte da agricultura irrigada, o que torna essencial uma gestão eficiente da água. No semiárido brasileiro, as crises hídricas já são uma realidade agravada pelas condições climáticas desfavoráveis, evidenciando a necessidade urgente de soluções que otimizem o uso da água, promovendo a sustentabilidade e melhorando a qualidade de vida da população local (Basso, 2020).

Um dos desafios na gestão da água no semiárido é o uso de sistemas de irrigação em projetos públicos que, em muitos casos, não são eficientes no consumo de água. Métodos como a aspersão ou a irrigação por sulcos, por exemplo, acabam desperdiçando mais água em comparação com alternativas mais modernas, como o gotejamento (Castro, 2018). Em uma região onde a disponibilidade de água é limitada, é essencial considerar todas as possibilidades para implementar tecnologias que ajudem a reduzir o consumo desse recurso.

O balanço hídrico é essencial para a gestão e o planejamento hidrológico e agrícola, pois fornece informações valiosas, como a caracterização do clima, delimitação de zonas agroecológicas e controle dos recursos hídricos em microbacias. Essa ferramenta permite analisar as necessidades de água e as demandas e ofertas hídricas ao longo do espaço e do tempo (Silva *et al.*, 2015).

A salinização do solo também é um dos principais problemas associados à agricultura irrigada. De acordo com a FAO e a UNESCO, cerca de metade das áreas irrigadas do mundo – aproximadamente 250 milhões de hectares – enfrenta sérios problemas de salinidade e encharcamento. Anualmente, 10 milhões de hectares irrigados são abandonados devido à degradação do solo (UNESCO, 2003). Esses números são alarmantes, especialmente considerando a necessidade urgente de aumentar a produção agrícola para suprir a crescente demanda por alimentos.

O principal desafio da agricultura irrigada no semiárido brasileiro é garantir que a quantidade de água concedida seja adequada às necessidades dos solos aptos para irrigação. Isso envolve assegurar um fornecimento confiável de água para a produção de

alimentos, ao mesmo tempo em que se minimizam as perdas ao longo dos sistemas de irrigação, tanto na condução e distribuição quanto na aplicação da água nas lavouras (Silva *et al.*, 2015).

Outro desafio crítico é o custo elevado de implementação e manutenção de sistemas de irrigação. A infraestrutura para captação, armazenamento e distribuição da água demanda investimentos altos, o que pode ser inviável para pequenos e médios agricultores. Segundo Oliveira *et al.* (2020), a falta de acesso a financiamento adequado e políticas de incentivo para pequenos produtores é um fator limitante para o desenvolvimento da irrigação no Semiárido.

Além disso, há também dificuldades técnicas e de capacitação dos agricultores. A implementação de sistemas de irrigação eficientes, como o gotejamento, exige conhecimento técnico específico para operar e manter o sistema. Em muitos casos, a ausência de assistência técnica adequada impede o uso efetivo das tecnologias de irrigação disponíveis (Valdes, 2004).

No semiárido brasileiro, os reservatórios artificiais têm grande importância social e econômica, mas a degradação desses recursos vem comprometendo seus diversos usos, tornando-se um desafio para a gestão ambiental (Lima *et al.*, 2017). Com o passar dos anos, essas estruturas vêm sofrendo significativas interferências humanas, o que tem gerado problemas ambientais e impactado a qualidade da água.

A tecnologia utilizada para irrigação no semiárido ainda é limitada quando comparada a outras regiões do país. Devido às características climáticas da região, como baixa precipitação, alta evapotranspiração e longos períodos de seca, é essencial o desenvolvimento de tecnologias que otimizem o uso da água. Além disso, é necessário promover uma conscientização sobre o uso sustentável dos recursos hídricos. Há diversas medidas fundamentais para uma gestão eficiente da água, incluindo a regularização das vazões, segurança das barragens, capacitação de profissionais, envolvimento da comunidade e operações integradas (Silva, 2018).

As mudanças climáticas são um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de recursos hídricos, pois afetam o ciclo hidrológico, reduzindo a precipitação e aumentando a evaporação, entre outros impactos. Para compreender melhor como essas alterações climáticas afetam o rendimento das culturas, especialmente nas regiões tropicais, é essencial aprimorar os modelos de cenários climáticos. A adaptação eficaz da agricultura a essas mudanças depende de duas

informações fundamentais: os riscos específicos que as mudanças climáticas representam em diferentes locais e sistemas agrícolas, permitindo priorizar o uso de recursos escassos dedicados à adaptação, e os mecanismos de dano potencial que podem ser causados por essas mudanças. Nesse sentido, os esforços para mapear a vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas são especialmente importantes para países em desenvolvimento, como o Brasil. Além disso, o setor agrícola, que depende diretamente de condições ambientais como temperatura, disponibilidade de nutrientes e acesso à água, tem alta importância econômica para os brasileiros (Lobell *et al.*, 2011).

6. A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO

A educação ambiental desempenha um papel crucial na gestão sustentável da água no semiárido brasileiro, onde o clima e os recursos hídricos escassos desafiam a população local. As iniciativas educativas são essenciais para promover práticas de captação, armazenamento e uso eficiente da água, especialmente em escolas e comunidades rurais. Ações como a captação de água da chuva e o reuso têm demonstrado eficácia e promovem a conscientização sobre a importância da conservação. Assim, a educação ambiental ajuda a reduzir a vulnerabilidade hídrica e melhora a qualidade de vida local, sendo fundamental para adaptar-se aos desafios climáticos e sociais da região (Barbosa, 2015).

Estudos mostram que iniciativas de educação ambiental direcionadas ao Semiárido podem ter um impacto positivo na sustentabilidade hídrica da região. A inclusão de temas como captação de água da chuva e reuso nas escolas e comunidades rurais é uma forma eficaz de aumentar a conscientização sobre a importância de uma gestão responsável dos recursos hídricos. A captação de água de chuva, por exemplo, é uma técnica simples e eficiente, que possibilita o armazenamento de água para os períodos de seca. Essa prática tem sido amplamente promovida por programas como o Programa Cisternas do Governo Federal (ANA, 2019).

Iniciativas como políticas de irrigação sustentável e programas de captação de água da chuva são ações essenciais para apoiar a convivência com a realidade do Semiárido e aumentar a segurança hídrica na região. Além de garantir o abastecimento de água, esses programas incluem atividades de educação ambiental que orientam as

comunidades locais sobre práticas de gestão da água, incentivando-as a se tornarem participantes ativas na preservação dos recursos hídricos.

Estudos sobre a governança da água e o papel das coalizões políticas no semiárido brasileiro mostram que a educação ambiental tem um papel importante no fortalecimento da colaboração entre diferentes setores. Essa integração promove soluções locais e sustentáveis, que atendem de forma eficaz às necessidades específicas da região. Iniciativas desse tipo ajudam as comunidades a se adaptarem às condições climáticas adversas, como as secas prolongadas, e a utilizarem melhor os recursos naturais, diminuindo os impactos negativos no ecossistema local (IPPA Public Policy, 2019).

Iniciativas educacionais, como o projeto “Escola Sustentável” implementado em escolas do Ceará, têm como objetivo reduzir o desperdício de água, envolvendo estudantes e a comunidade em práticas sustentáveis que promovem a conscientização sobre a interação entre sociedade e meio ambiente (Silva, 2020). Com uma abordagem interdisciplinar, o projeto inclui a instalação de sistemas de captação de água da chuva e atividades para o reuso de água, conectando o conteúdo aprendido em sala de aula com a realidade ambiental do Semiárido e inspirando os jovens a encontrar soluções para desafios locais.

A educação ambiental no Semiárido promove práticas agrícolas mais sustentáveis e incentiva a conexão da comunidade com o meio ambiente, incluindo ações como a captação de água da chuva para irrigação durante os períodos de seca (Sales *et al.*, 2021). Esse tipo de iniciativa não só fortalece a resiliência das comunidades locais, mas também contribui para a adaptação às mudanças climáticas, que impactam diretamente a disponibilidade de água na região.

Estudos indicam que a gestão hídrica em áreas semiáridas exige não só investimentos em infraestrutura, mas também a conscientização das comunidades sobre a importância do uso e preservação dos recursos hídricos disponíveis. Iniciativas como o “Água para Todos” e o “Programa de Cisternas”, que instalam cisternas para captar água da chuva, exemplificam o papel da educação ambiental aliada à tecnologia social, promovendo a segurança hídrica e a sustentabilidade para as populações locais (ASA, 2019).

A educação ambiental se torna ainda mais essencial em cenários onde a agricultura depende intensamente da irrigação para garantir a produção de alimentos. Isso reforça a

importância de adotar práticas eficientes e responsáveis, que ajudem a preservar os recursos hídricos e evitar seu esgotamento em longo prazo (MDPI, 2022).

Diante disso, o estudo sobre a educação ambiental no semiárido ressalta a importância da integração entre práticas educativas e políticas públicas para enfrentar os desafios hídricos da região. A educação ambiental se torna fundamental ao promover a conscientização sobre a utilização responsável da água, especialmente em áreas de escassez hídrica. Programas como as cisternas e a gestão comunitária da água são exemplos de como a tecnologia social e o conhecimento local podem ser incorporados para uma convivência sustentável com o Semiárido, melhorando a resiliência das comunidades às variações climáticas e à limitação de recursos.

Essas iniciativas também ajudam a mitigar os conflitos pelo uso da água entre setores diversos, como agricultura e consumo humano, e reforçam o papel da comunidade no cuidado e preservação dos recursos naturais. Em última análise, a educação ambiental não apenas capacita as comunidades, mas também contribui para um desenvolvimento sustentável que valoriza e protege o meio ambiente local, essencial para a segurança hídrica e para a promoção de práticas agrícolas sustentáveis na região.

Referências Bibliográficas

- ALEIXO, B. *et al.* Human Right in Perspective: Inequalities in Access to Water in a Rural Community of the Brazilian Northeast. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 63-84, 2016.
- ALI, M. H; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production: a synthesis. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1201-1213, 2008.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: Relatório Pleno**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 31 dez. 2024.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: Relatório Pleno**. 2024. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/relatorio-conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-atualiza-informacoes-sobre-aguas-do-pais>. Acesso em: 31 dez. 2024.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Nacional de Segurança Hídrica. Agência Nacional de Águas**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-seguranca-hidrica>. Acesso em: 31 dez. 2024.
- ARAUJO, V. S. *et al.* Influência da aplicação foliar de silício no desenvolvimento e produtividade do milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, 2022.
- ASA. ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Acesso a água para populações do semiárido brasileiro**. Disponível em: https://www.asabrasil.org.br/images/UserFiles/File/Acesso_a_agua_para_populacoes_do_Semiarido_brasileiro.pdf. Acesso em: 29 dez. 2024.
- BARBOSA, G. K. A.; SANTOS, E. M. Educação Ambiental no semiárido: uma revisão sistemática das experiências e práticas. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 66-86, 2015.
- BASSOI, L. H.; SILVA, J. E. S. Uso da água em agricultura irrigada no semiárido brasileiro. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 353-372
- BEZERRA, H. N. *et al.* Estimativa da evapotranspiração real diária no semiárido brasileiro utilizando sensoriamento remoto. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 47, 2021.
- BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.
- CABRAL, J, J, S, P, et al. Acumulação de sedimentos e água no leito seco dos Rios no Semiárido. In R. A. P. Braga (Org.), **Águas de Areias**. Recife: Clã, 2016. p. 39-70

CARMO, M. V. N. S; LIMA, C. H. R. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do Índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 233-242. 2020.

CASTRO, C. N. **Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política**. Texto para Discussão, n. 2369. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF, p.252, 2016.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos avançados**. v. 22, n.63, São Paulo, p. 61 – 82, 2008.

CIRILO, J, A; MONTENEGRO, S, M, G, L; CAMPOS, J, N, B. **A questão da água no semiárido brasileiro**. Águas do Brasil: análises estratégicas, v. 1, pp.81-91. São Paulo: Instituto de Botânica. 2010.

CBHSF. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **O site do comitê oferece acesso a relatórios, planos de recursos hídricos e documentos que abordam as ações de gestão e os desafios específicos da bacia do Rio São Francisco**. Disponível em: < <https://cbhsaofrancisco.org.br>. > Acesso em: 22 out. 2024.

CORDEIRO, C, J, S. **Balanço de água no solo para o milho no semiárido Alagoano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –Universidade Federal de Alagoas, 41 p. 2019.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.449-453, 2009.

FREITAS, M. A. S. **Gestão e modelagem hídrica em bacia hidrográfica do semiárido brasileiro**. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 8344-8351, 2019.

IPPA PUBLIC POLICY. **Governance of water and the role of political coalitions in the Brazilian Semi-Arid**. 2019. Disponível em: < <https://www.ippapublicpolicy.org>. > Acesso em: 26 out. 2024.

IRPAA. **As mudanças climáticas e o semiárido brasileiro**. 2024. Disponível em: <https://irpaa.org/modulo/publicacoes/cartas-el-nino>. Acesso em: 21 out. 2024.

LIMA, T. S; CANDEIAS, A. L. B; CUNHA, M. C. C. Bioindicadores e sensoriamento remoto como subsídios à gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1974-1994, 2017.

LOBELL, D. B. *et al*. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 1, p. 42-45, 2011.

MDPI. What do we know about water scarcity in semi-arid zones? A global analysis and research trends. **Water**, v. 14, n. 17, p. 2685, 2022.

MEDEIROS, S, A, *et al.* **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro** 103 p. Campina Grande. INSA. 2012.

MENDES, B, V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do SemiÁrido.** Fortaleza. SEMACE. p108.1997.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 110, 2002.

OLIVEIRA, A.R. *et al.* **Tendência de precipitação pluviométrica no semiárido do nordeste brasileiro: uma revisão de literatura.** XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2020.

PAN-BRASIL. **Programa de combate à desertificação e mitigação da seca.** Brasília: MMA, 2005.

PIMENTA, B. P. P. **Mudanças Climáticas e Secas no Brasil: Uma análise espacial integrada a partir de modelo IEGC e monitoramento climático no semiárido brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Economia) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 113 p. 2020.

PIMENTEL, C. **Feridas no Semiárido. Os dramas da Desertificação.** Revista Pública, n. 71, p. 22-28, 2013.

SALES, J. C. *et al.* Environmental degradation on the Curu river banks in the state of Ceará. **International Journal Semiarid**, v. 4, n. 4, 2021.

SANTOS, M, C. **Cadernos do semiárido: Solos do semiárido do Brasil.** 10 ed. Pernambuco: CREA-PE, p. 60, 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS).** Brasília: CPRM, 2022. Disponível em: <<https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/>>. Acesso em: 25 out 2024.

SILVA, A. E. B. **Tecnologias sustentáveis como ferramenta de gestão hídrica no semiárido nordestino: o caso do bioágua.** Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável – IEDS, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

SILVA, E. R. A. C. *et al.* Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 3, p. 921-937, 2015.

SILVA, F. E. R. Environmental education and sustainability: a pedagogical proposal in the Brazilian Semi-Arid. **International Journal Semiarid**, v. 3, n. 3, 2020.

SILVA, I, G. *et al.* Soil morphological descriptions and sampling of Olho d'água das Onças. **International Journal Semiarid**, v. 5, p. 465-476, 2022.

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

TEIXEIRA, A. H. C. *et al.* **Evapotranspiração no semiárido brasileiro determinada com produtos Modis e estações agrometeorológicas**. Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, Fortaleza, 2017.

VALDES, A. **Impactos e externalidades sociais da irrigação no semi-árido brasileiro**. 1ª ed. Brasília: Banco mundial, 2004.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e recursos hídricos no semiárido. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, v. especial, p. 126-142, 2014.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: UM LEQUE DE OPÇÕES PARA O SEMIÁRIDO

Ellen da Silva Melo

Vanessa Mendes da Silva

Ernando Sávio Rodrigues de Melo

Manuel Eduardo Marques da Silva

Marcus Richard Marreiros Macedo

Carla Michelle da Silva

1. TIPOS DE IRRIGAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

1.1 Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão é um dos métodos mais comuns de irrigação, no qual a água é pulverizada sobre o solo ou plantas, simulando chuva artificial. Esse sistema é amplamente utilizado devido à sua elevada uniformidade na distribuição de água e à sua capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo e culturas (Alencar *et al.*, 2007). No entanto, a eficiência desse sistema pode ser influenciada por fatores meteorológicos e operacionais, como a velocidade do vento, a pressão de trabalho e o tipo de aspersor utilizado (Prado; Colombo, 2010).

Existem diversos sistemas de irrigação por aspersão, cada um com características próprias. Os três mais comuns são a aspersão convencional, o sistema autopropelido e o pivô central. A escolha de um desses métodos depende de fatores como topografia, tipo de solo e necessidade hídrica da cultura, além do custo de implantação e operação (Silva *et al.*, 2011)

A aspersão convencional é composta por vários componentes, como o sistema de captação, bombeamento, tubulação e aspersores, e pode ser classificada em três tipos principais: portátil, semiportátil e fixo.

O sistema portátil permite o deslocamento de todos os componentes, sendo ideal para áreas de pequeno porte e culturas com demanda hídrica variável. Embora tenha um custo inicial relativamente baixo, requer maior quantidade de mão de obra para movimentação dos equipamentos. No sistema semiportátil, a linha lateral pode ser movida, enquanto a linha principal permanece fixa (Bernardo, 2006).

Já no sistema fixo, toda a tubulação é instalada permanentemente no solo, reduzindo a necessidade de mão de obra, mas aumentando o custo inicial (Cunha, 2022).

O sistema de aspersão autopropelido é um método mecanizado em que o equipamento se movimenta por conta própria, sendo ideal para áreas retangulares e declives de até 20%, em solos com boa infiltração e culturas como cana-de-açúcar e pastagem (Moura, 2016). Esse sistema utiliza um aspersor tipo canhão hidráulico e, embora consuma muita energia devido às altas pressões de operação, exige menos mão de obra em comparação com a aspersão convencional. Ele é amplamente utilizado para irrigação complementar em grandes áreas (Barboza, 2022).

O pivô central é um dos sistemas de irrigação mais eficientes, sendo amplamente utilizado em grandes áreas. Ele consiste em uma linha lateral que se move em círculos, irrigando a área ao seu redor. Com uma extremidade fixa no centro da área, o sistema pode alcançar uma uniformidade de aplicação de água superior a outros métodos de aspersão, além de demandar menos mão de obra e consumir menos energia (Marouelli *et al.*, 2013). Contudo, uma desvantagem desse sistema é a dificuldade de irrigar diferentes culturas plantadas de forma escalonada e a limitação de movimentar o equipamento para áreas distantes, embora o uso de pivôs rebocáveis possa minimizar esse problema (Marcuzzo, 2008).

Cada sistema de aspersão possui vantagens e desvantagens específicas. No entanto, fatores como o custo de implantação, a eficiência de irrigação e a demanda por mão de obra também devem ser considerados para garantir o sucesso do sistema.

1.2 Sistema por gotejamento

A irrigação por gotejamento, como descrito Barreto *et al.* (2009), consiste na aplicação de água com baixa intensidade e alta frequência diretamente na região das raízes das plantas, sendo transportada por tubos até os emissores responsáveis pela distribuição. Embora esteja em crescimento e ocupe uma parcela significativa das áreas irrigadas no mundo, seu uso é mais comum em culturas economicamente rentáveis devido ao alto custo de equipamentos, instalação e manutenção.

Esse método reduz perdas por evaporação e escoamento, aumentando a eficiência em comparação aos sistemas de aspersão e superfície (Testezlaf, 2011). Existem dois principais tipos de irrigação por gotejamento: o de superfície, onde as linhas de gotejamento são instaladas sobre o solo, e o subterrâneo, onde as linhas são enterradas, oferecendo diferentes vantagens e desvantagens.

O sistema de superfície se destaca pelo baixo custo de instalação e facilidade de manutenção, mas é suscetível a danos e degradação dos emissores pela exposição ao sol. Já o sistema subterrâneo apresenta maior eficiência hídrica, menor desenvolvimento de ervas daninhas e proteção contra danos, mas envolve custos de instalação mais elevados e maior dificuldade para identificar vazamentos (Testelazlaf, 2011).

A irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) oferece diversos benefícios, como a aplicação eficiente de pequenos volumes de água diretamente na raiz das plantas, melhoria na qualidade das culturas, distribuição eficaz de nutrientes na zona radicular e redução no uso de água por área. Além disso, elimina o escoamento superficial e diminui custos com controle de ervas daninhas e adubação (Ayars *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2014).

A eficácia do SDI na produtividade agrícola e no uso da água depende do manejo, das condições climáticas e das características do solo. Estudos mostram que, quando bem projetado, instalado e mantido, o sistema aumenta o rendimento das culturas, reduz o consumo de água na irrigação e minimiza a evaporação no solo superficial (Wang *et al.*, 2022; Sandhu; Irmak, 2022).

1.3 Sistema de microaspersão

Esse destaca-se como uma solução eficiente para irrigação, combinando características da aspersão convencional e do gotejamento, oferecendo precisão no

fornecimento de água e nutrientes diretamente à zona radicular das plantas. Segundo Rodrigues e Domingues (2017), essa tecnologia otimiza o uso da água, sendo ideal para áreas com escassez hídrica ou terrenos irregulares. Com componentes como fonte de água, sistema de bombeamento e microaspersores, o sistema garante eficiência no uso de recursos, uniformidade na irrigação e redução de doenças.

Além disso, Testezlaf (2011) destaca que a microaspersão, ao criar um microclima favorável, é ideal para diferentes culturas, especialmente em regiões secas. A tecnologia permite a fertirrigação e pode ser aplicada em frutíferas, hortaliças, flores e viveiros. Portanto, a microaspersão contribui para o aumento da produtividade e a sustentabilidade agrícola ao reduzir o consumo de água e otimizar o uso de nutrientes.

É importante frisar que este tipo de irrigação faz parte dos principais sistemas de irrigação localizada, sendo caracterizado por uma pressão operacional inferior a 207 kPa (20,7 mca), vazões que variam de 20 a 100 L h⁻¹, e um alcance dos emissores com diâmetros que vão de 1,50 a 10,00 metros (Lima *et al.*, 2012).

A irrigação por microaspersão é caracterizada pela aplicação de água diretamente na área onde as raízes da planta estão ativas, com vazões pequenas e frequentes, o que ajuda a manter o nível adequado de umidade no solo (Rigo *et al.*, 2011).

A distribuição desigual da água nos sistemas de irrigação pode gerar excesso de água em algumas áreas e escassez em outras, o que reduz a disponibilidade hídrica para as plantas e eleva os custos de produção (Nascimento *et al.*, 2017).

Uma das vantagens da microaspersão, que se trata de um sistema de irrigação localizada, é o aumento da produtividade das culturas, devido ao seu potencial de economia de água. Além disso, oferece maior eficiência e uniformidade na aplicação da água, especialmente quando comparada a outros métodos de irrigação (Santos, Antônio José, 2022).

1.4 Outros sistemas (mangueira, sulco)

De acordo com Souza *et al.* (2019), atualmente há diversos métodos de irrigação à disposição dos agricultores. No entanto, sob uma perspectiva sustentável, o produtor rural deve buscar sempre os métodos que melhor se adequem às suas condições específicas, com foco na eficiência, redução de custos de produção, além de minimizar o consumo de

água e energia. Em outras palavras, não se trata de um método ser superior a outro, mas sim de sistemas de irrigação que se ajustam melhor a determinadas circunstâncias.

Com base nos estudos de Melo (2017), O uso de tubos de polietileno com furos perfurados a laser, é bastante comum em sistemas de microirrigação, especialmente quando se busca reduzir os custos fixos e operacionais. Este material pode ser considerado como parte de um sistema de aspersão, composto por linhas laterais de polietileno em formato de fitas flexíveis, com orifícios projetados para funcionar sob baixa pressão (até 100 kPa).

No sistema de tubos perfurados, a água é dispersada através de pequenos furos, formando uma faixa molhada de formato retangular. Esse sistema é basicamente constituído por linhas laterais de polietileno flexível, operando sob pressões baixas (2 a 10 mca), o que, em algumas situações, pode dispensar a necessidade de bombeamento, resultando na redução dos custos operacionais. O princípio de funcionamento hidráulico desses tubos perfurados é semelhante ao dos gotejadores de orifício, mas com a diferença de que a seção de saída do tubo aumenta conforme a pressão interna, devido à elasticidade da parede do tubo (Melo, 2017).

Embora o custo dos tubos de polietileno perfurados a laser seja atrativo, é essencial realizar uma avaliação técnica desse material para garantir que ele seja adequado para a aplicação em sistemas de irrigação (Pinto *et al.*, 2014).

De acordo com Quintanilha (2022), o sistema tradicional de irrigação por sulcos é amplamente utilizado na agricultura familiar devido ao seu baixo custo e à facilidade de adaptação e operação em diferentes áreas. Já Mantovani *et al.* (2009) discorrem que a irrigação por sulco envolve a condução de água através de canais estreitos ou sulcos, que ficam alinhados com as fileiras das plantas. A água é mantida nesses sulcos pelo tempo necessário para que a infiltração umedeça adequadamente o solo na região das raízes. Esse método é versátil e pode ser utilizado para a maioria das culturas, especialmente as que são cultivadas em linhas, como hortaliças, milho, feijão, algodão, trigo, pomares e vinhedos. Ferreira (2011) descreve esse sistema como aquele em que a água é aplicada por meio de canais pequenos, permitindo que ela se escoe e infiltre gradualmente no solo.

Ainda conforme Mantovani *et al.* (2009), ao contrário de outros métodos, a irrigação por sulco não molha toda a área do solo, uma vez que cobre apenas de 30% a 80% da superfície, o que ajuda a reduzir as perdas por evaporação. Isso também diminui a formação de crostas em solos argilosos e permite que o solo seja cultivado e colhido logo

após a irrigação, algo que não é viável com outros sistemas, exceto o gotejamento. Além disso, os autores observam que os sulcos convencionais normalmente exigem a sistematização do terreno, sendo que todos os conceitos discutidos anteriormente se aplicam a esse tipo de sistema.

A economia de água é crucial nesse tipo de irrigação, já que, como destacado por Albuquerque (2010), a irrigação por sulcos apresenta a menor eficiência de aplicação quando comparada a outros sistemas de irrigação, tornando-se um dos principais desafios para esse método.

2. CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A escolha do sistema de irrigação é um processo complexo que deve considerar diversos fatores, como tipo de solo, topografia, cultura, disponibilidade de água e custos de implantação e manutenção. Segundo Bezerra *et al.* (2023), a seleção deve ser baseada em uma análise técnico-econômica, levando em conta não apenas o tipo de solo, mas também as características da cultura, o custo do equipamento e a disponibilidade e qualidade da água. Isso é essencial para garantir eficiência e sustentabilidade no uso da irrigação.

O tipo de solo desempenha um papel fundamental na escolha do sistema de irrigação. Solos com alta permeabilidade, como os arenosos, são mais adequados para a irrigação por aspersão, pois essa técnica permite aplicações frequentes e em pequenas quantidades, otimizando o uso da água em solos que não retêm umidade por longos períodos. Já em solos mais densos, com baixa capacidade de infiltração, a irrigação localizada pode ser a melhor opção, pois maximiza o uso da água diretamente na zona radicular das plantas, sendo especialmente eficiente em áreas menores ou na produção de hortaliças (Silva Júnior, 2022).

A topografia também influencia na escolha do sistema. Em terrenos planos ou com declives suaves, a irrigação por superfície, como o método de sulcos, pode ser uma solução econômica e eficiente, aproveitando a gravidade para distribuir a água. No entanto, é necessário ajustar o comprimento dos sulcos de acordo com a taxa de infiltração do solo, o volume de água disponível e a inclinação do terreno, para evitar erosão e garantir uniformidade na irrigação (Bastos, *et al.*, 2011; Junior, 2014). Já em áreas com relevo mais

acidentado, a irrigação por aspersão é mais versátil e pode ser adaptada a diferentes culturas e condições topográficas (Summitagro Estadão, 2022).

A disponibilidade de água, tanto em quantidade quanto em qualidade, é um critério decisivo. Em regiões com escassez hídrica, a irrigação localizada, como o gotejamento, torna-se uma alternativa valiosa, pois oferece alta uniformidade, baixa demanda de água e maior eficiência, além de reduzir desperdícios e melhorar a produtividade (Busato; Soares, 2010; Testezlaf, 2017). Esse sistema também permite o uso da fertirrigação, otimizando o uso de fertilizantes e água (Vilas Boas, 2016).

Os custos de implantação, operação e manutenção variam conforme o sistema escolhido. A irrigação por sulcos, por exemplo, apresenta menor custo inicial e simplicidade de operação, sendo uma alternativa viável para pequenos agricultores (Junior, 2014). Por outro lado, sistemas mais sofisticados, como o gotejamento, demandam maior investimento, mas podem compensar com redução de consumo de água e energia ao longo do tempo (Kunz *et al.*, 2014).

Dessa forma, a escolha do sistema de irrigação deve ser cuidadosamente planejada, considerando as características do solo, a cultura a ser cultivada, as condições topográficas, a disponibilidade de água e os custos envolvidos. O objetivo é garantir uma irrigação eficiente, sustentável e economicamente viável, que atenda às necessidades da cultura e preserve os recursos hídricos disponíveis.

3. EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A eficiência dos sistemas de irrigação é um fator crucial para garantir a sustentabilidade e a produtividade agrícola, e sua eficácia depende de uma série de critérios como a uniformidade de aplicação, controle de perdas por evaporação e percolação, além do manejo adequado. Campêlo *et al.* (2014) destacam a importância de avaliações periódicas para verificar a vazão e a uniformidade da aplicação da água, garantindo que o sistema funcione de maneira eficiente. Um sistema bem projetado deve ter uma uniformidade de aplicação superior a 90%, considerada excelente para a maioria das culturas (Silva *et al.*, 2012). No entanto, essa uniformidade pode ser afetada por diversos fatores, como a pressão dos emissores e o alinhamento das tubulações.

A eficiência da aplicação de água na irrigação por aspersão depende, principalmente, da distribuição realizada pelos aspersores. Esse processo é influenciado

pelo tipo de aspersor utilizado, a quantidade e o tipo de bocais, bem como pela pressão de operação do aspersor. Além disso, o layout dos aspersores, ou seja, a forma como estão dispostos no campo e o espaçamento entre eles, também são determinantes. A velocidade e a direção do vento desempenham um papel crucial, sendo o fator que mais interfere na uniformidade da distribuição da água e contribui para as perdas por evaporação e deriva durante a irrigação (Oliveira; Figueiredo, 2007).

A agricultura de precisão, aliada ao manejo de irrigação em taxa variável, tem contribuído para melhorar a eficiência no uso da água, ajustando as aplicações conforme a variabilidade espacial do solo (Snyder *et al.*, 2019; West; Kovacs, 2017). No entanto, problemas de mau funcionamento podem levar os produtores a aplicar quantidades excessivas de água, o que, a longo prazo, pode comprometer as reservas hídricas superficiais e subterrâneas. O uso de tecnologias, como imagens térmicas e multiespectrais, permite monitorar o estresse hídrico das culturas e a uniformidade da aplicação, auxiliando na detecção de falhas no sistema de irrigação (Gago *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2019).

O manejo adequado da irrigação requer a coleta precisa de dados sobre o solo, a planta e a atmosfera. Informações atmosféricas, como evapotranspiração e déficit de pressão de vapor, obtidas por estações meteorológicas, são essenciais para calcular a necessidade hídrica das culturas (Navarro-Hellín *et al.*, 2016). Essas informações ajudam a ajustar a quantidade de água aplicada, evitando tanto o excesso quanto a insuficiência de irrigação, fatores que impactam diretamente na eficiência do sistema.

No campo prático, a avaliação dos índices de uniformidade, como o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), são fundamentais para medir a eficiência da irrigação. Santos *et al.* (2015) afirmam que baixos valores desses coeficientes podem indicar perdas por percolação profunda ou desuniformidade nos emissores, prejudicando o desempenho do sistema. Nesses casos, se a cultura possuir um sistema radicular superficial e alto valor econômico, a uniformidade da aplicação deve ser superior a 80% para evitar perdas significativas.

As perdas por evaporação e percolação são fatores que reduzem a eficiência do sistema. Dantas Neto *et al.* (2013) ressaltam que, mesmo com intervalos maiores entre as irrigações, as perdas por percolação podem ser minimizadas em aproximadamente 10% com um manejo adequado. Além disso, o monitoramento contínuo das superfícies

irrigadas e a avaliação da dinâmica das culturas são essenciais para ajustar a quantidade de água aplicada, garantindo uma irrigação eficiente (Ribeiro *et al.*, 2017).

Portanto, a eficiência dos sistemas de irrigação depende não apenas da escolha correta do sistema, mas também de um manejo adequado e constante monitoramento. A alta uniformidade de aplicação, a minimização das perdas por evaporação e percolação, e o uso de tecnologias para acompanhar as condições do solo e das culturas são fundamentais para garantir a sustentabilidade hídrica e a produtividade das lavouras.

4. TECNOLOGIAS INOVADORAS EM IRRIGAÇÃO

A seca persistente no Nordeste brasileiro, agravada pela escassez de chuvas e altas temperaturas, impõe um desafio crucial: a gestão eficiente dos recursos hídricos, especialmente na agricultura, setor que demanda cerca de 75% da água utilizada no país (ANA, 2013).

A irrigação, embora fundamental para garantir a produção agrícola, frequentemente resulta em desperdício, com apenas 37% da água aplicada sendo efetivamente aproveitada pelas plantas (Coelho *et al.*, 2005).

Diante desse desafio, tecnologias inovadoras como a irrigação de precisão, a automação, o uso de drones para mapeamento do solo e a Internet das Coisas surgem como ferramentas poderosas para revolucionar a gestão da água na agricultura. Imagine um futuro onde a própria plantação informa suas necessidades hídricas, sensores detectam precocemente a necessidade de irrigação e drones mapeiam a variabilidade do solo, guiando a aplicação precisa da água. Feitosa *et al.* (2019) sugerem o emprego de tecnologias modernas para otimizar o uso de recursos hídricos subterrâneos no semiárido, destacando métodos como a dessalinização de água marinha e o reaproveitamento de águas residuais.

4.1 Irrigação de precisão

A irrigação de precisão é uma ciência externa para a otimização do uso de recursos hídricos em áreas irrigadas. Seu objetivo é desenvolver tecnologias que aumentem a eficiência do uso da água na agricultura irrigada, aplicando-a em detalhes exatos e no

momento adequado. Assim, a agricultura de precisão tem um papel crucial na gestão dos insumos agrícolas (Gundim *et al.*, 2023).

Nas últimas décadas, as pesquisas sobre supervisão de precisão, impulsionadas pelas mudanças climáticas, desenvolveram diversas estratégias, métodos e tecnologias para reduzir o consumo de água em projetos de supervisão, buscando adaptação à escassez hídrica, seca e à crescente competição pelo uso da água entre os setores agrícola e industrial. A adoção de práticas de economia e uso eficiente da água requer uma abordagem multidisciplinar para quantificar com precisão as necessidades hídricas das culturas, sob diferentes condições de disponibilidade e manejo de água (Gundim *et al.*, 2023).

Diferente da supervisão convencional, a supervisão de precisão, como a supervisão por gotejamento, varia a quantidade de água de forma espacial e temporal. Embora a segurança seja tradicional, uma lâmina de água uniforme em toda a área, a privacidade de precisão se ajusta à aplicação de acordo com as necessidades específicas das plantas. Termos como “Irrigação 4.0” e “uso inteligente da água na agricultura” também foram empregados no contexto da Agricultura 4.0, em conexão com a privacidade de precisão (Brito, 2023).

A Agricultura 4.0 possibilita a geração, registro, monitoramento, armazenamento e interpretação em tempo real de um grande volume de dados relacionados a três áreas principais: solo, planta e clima. A integração dessas tecnologias na agricultura, combinando inovação com práticas agronômicas, permite decisões mais precisas quanto ao momento e à quantidade adequada de água para segurança. Isso contribui para aumentos significativos na produtividade, ao mesmo tempo em que reduz os custos associados ao uso de água e energia (Sanches *et al.*, 2018). As propriedades rurais que adotam tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos produtivos e de gestão são denominadas “fazendas inteligentes”.

Dessa forma, a Agricultura 4.0 é composta por um conjunto de atividades focadas no gerenciamento de sistemas, incluindo o monitoramento de dados meteorológicos por meio de sensores, otimizações no planejamento que abrangem desde o desenvolvimento de sementes até a espiritualidade e a colheita. A Indústria 4.0 também impulsiona o controle de segurança, considerando “onde, quando e quanto irrigar”. Além disso, envolve sistemas agrícolas de maior porte, como tratores e ferramentas para o manejo do solo.

4.2 Automação na irrigação

A automação de sistemas tem ganhado cada vez mais importância na agricultura, especialmente em projetos de agricultura familiar. Isso ocorre devido às características da automação, que buscam entregar resultados essenciais para pequenos produtores que enfrentam desafios como a ineficiência no uso de recursos hídricos, desperdício de energia, tempo e falta de precisão no controle da incerteza (Alvarenga *et al.*, 2014). Nesse cenário, a implementação de uma solução automatizada baseada em Arduino Uno para o processo de supervisão surge como uma alternativa promissora para reduzir o desperdício de água e energia.

Carr *et al.* (2024) destacam o potencial da automação utilizando plataformas como o Arduino Uno, um microcontrolador de baixo custo e fácil programação, para o desenvolvimento de sistemas de irrigação inteligentes e acessíveis aos pequenos produtores. Através da integração de sensores de umidade do solo, temperatura e outros parâmetros relevantes, o sistema automatizado pode determinar a quantidade ideal de água a ser aplicada em cada momento, evitando o desperdício e garantindo as condições ideais para o desenvolvimento das culturas.

As vantagens da automação na irrigação para a agricultura familiar são diversas, incluindo:

- **Eficiência no uso da água:** a aplicação precisa da água, de acordo com as necessidades reais das plantas, reduz o desperdício e contribui para a conservação dos recursos hídricos.
- **Aumento da produtividade:** o fornecimento adequado de água, no momento certo, favorece o desenvolvimento das plantas e resulta em maior produtividade das culturas.
- **Redução de custos:** a otimização do uso da água e de energia elétrica, além da redução da necessidade de mão de obra para irrigação, contribuem para a redução dos custos de produção.
- **Flexibilidade e controle:** os sistemas automatizados permitem programar a irrigação de acordo com as necessidades específicas de cada cultura e as condições climáticas locais.

A automação na irrigação, como demonstrado por Carr *et al.* (2024), apresenta-se como uma ferramenta valiosa para a agricultura familiar, impulsionando a eficiência, a sustentabilidade e a rentabilidade da produção. A democratização do acesso a tecnologias

como o Arduino Uno, aliada à disseminação do conhecimento técnico, tem o potencial de transformar a realidade do campo, empoderando os pequenos produtores e contribuindo para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

4.3 Drones na irrigação

A utilização de drones na agricultura de precisão apresenta diversas vantagens em comparação aos métodos tradicionais. Equipados com sensores multiespectrais, esses dispositivos capturam imagens aéreas de alta resolução que revelam a variabilidade espacial do solo, incluindo características como textura, umidade e composição orgânica (Cavalcante *et al.*, 2022). Quando essas informações são combinadas com dados de georreferenciamento, é possível criar mapas detalhados que identificam as diferentes necessidades hídricas dentro de uma mesma área, otimizando o uso da água e dos insumos agrícolas (Araújo *et al.*, 2017).

Com base nos mapas gerados pelos drones, torna-se viável a implementação de sistemas de irrigação inteligentes, que aplicam água apenas nas áreas que realmente necessitam, na quantidade exata requerida. Essa prática evita desperdícios e assegura a saúde das culturas, promovendo uma irrigação mais eficiente e sustentável. Além disso, sensores específicos acoplados aos drones possibilitam a detecção precoce de estresses hídricos nas plantas, permitindo uma resposta rápida e localizada que minimiza perdas na produção (Awais *et al.*, 2020).

Segundo Cavalcante *et al.* (2022), a utilização de drones na irrigação oferece uma série de benefícios relevantes, tais como:

- Rapidez na coleta de dados: os drones conseguem cobrir grandes áreas em curto espaço de tempo, acelerando o processo de mapeamento e a tomada de decisão.
- Baixo custo operacional: em comparação aos métodos tradicionais de levantamento de dados, os drones apresentam custos significativamente menores.
- Alta resolução espacial das imagens: as imagens capturadas permitem a identificação de detalhes precisos da área mapeada, fornecendo informações valiosas para o manejo agrícola.
- Capacidade de alcançar áreas de difícil acesso: drones podem sobrevoar terrenos acidentados ou com obstáculos, facilitando o mapeamento completo das áreas de cultivo.

Dessa forma, os drones consolidam-se como ferramentas essenciais para a gestão eficiente da irrigação, contribuindo para o aumento da produtividade, a redução de custos e a preservação dos recursos hídricos (Mateo-Aroca *et al.*, 2019). Esses benefícios são especialmente importantes em regiões com escassez de água, onde a otimização do uso hídrico é fundamental para a sustentabilidade da agricultura (Farooq *et al.*, 2019).

4.4 Internet das coisas

A agricultura, tradicionalmente associada a práticas milenares, vive hoje uma verdadeira revolução tecnológica impulsionada pela conectividade. No centro dessa transformação está a Internet das Coisas, uma rede invisível que conecta sensores, máquinas e dados, conferindo inteligência e eficiência ao campo (Veloso, 2023).

Imagine um cenário onde a plantação "conversa" com o agricultor, informando sobre suas necessidades hídricas, nutricionais e até mesmo sobre a presença de pragas. Essa é a promessa da IoT na agricultura: integrar cada etapa do processo produtivo, otimizando recursos, elevando a produtividade e garantindo a sustentabilidade (Veloso, 2023).

De acordo com Di Gennaro *et al.* (2016), dispositivos avançados possibilitam a geração de mapas detalhados das lavouras, identificando anomalias como falta de água, deficiência de nutrientes, doenças ou pragas. Essas informações, processadas por plataformas inteligentes, fornecem insights valiosos para a tomada de decisões relacionadas à irrigação, aplicação de fertilizantes e manejo de pragas, evitando desperdícios e reduzindo o impacto ambiental.

A importância da IoT para o desenvolvimento da agricultura de precisão, que se beneficia da coleta e análise de dados para otimizar as operações agrícolas. A irrigação, por exemplo, pode ser gerenciada de forma inteligente, com sistemas que ajustam a quantidade de água aplicada de acordo com as necessidades específicas de cada área da lavoura, detectadas por sensores (Veloso, 2023).

Segundo Petilio *et al.* (2007), a agricultura de precisão auxilia na gestão eficiente da água, garantindo níveis ideais de umidade no solo e contribuindo para o aumento da produtividade. Sistemas de irrigação inteligentes, baseados em IoT, permitem o uso racional da água, aplicando a quantidade exata no momento certo, garantindo a saúde das culturas e a sustentabilidade da produção.

Estudos apontam que avanços em sensores e comunicações estão aprimorando a IoT, permitindo maior eficiência e precisão na identificação e detecção. A IoT, com sua capacidade de conectar, coletar e analisar dados, oferece ferramentas poderosas para o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente, sustentável e responsiva aos desafios contemporâneos (Magalhães *et al.*, 2020).

5. IRRIGAÇÃO E USO EFICIENTE DA ÁGUA: BOAS PRÁTICAS DE MANEJO

A irrigação é uma ferramenta crucial para a agricultura moderna, especialmente em regiões com escassez hídrica, pois permite o cultivo e aumenta a produtividade das culturas. No entanto, o uso inadequado da água na irrigação pode levar ao desperdício, à degradação dos recursos hídricos e à redução da produtividade. A adoção de boas práticas de manejo é fundamental para garantir o uso eficiente da água na irrigação, conciliando a produção agrícola com a sustentabilidade ambiental (Faggion *et al.*, 2009).

5.1 Planejamento da irrigação: a importância de conhecer a demanda hídrica

O primeiro passo para um sistema de irrigação eficiente é o planejamento adequado, que se baseia no conhecimento da real necessidade hídrica da cultura em cada fase de desenvolvimento. A quantidade de água a ser aplicada varia de acordo com diversos fatores, como o tipo de solo, a espécie vegetal, o clima da região e o estágio de crescimento da planta (Faggion *et al.*, 2009).

Determinar a quantidade ideal de água a ser aplicada, no momento certo, é fundamental para evitar o desperdício por excesso de irrigação. Irrigar além do necessário pode levar à lixiviação de nutrientes do solo, comprometendo a sua fertilidade e aumentando o risco de contaminação de lençóis freáticos por fertilizantes. Além disso, o excesso de água reduz a aeração das raízes, prejudicando o desenvolvimento da planta. A falta de água também é prejudicial, impactando negativamente o desenvolvimento da planta e a produtividade da lavoura (Marouelli, 2011).

5.2 Escolha da época de plantio: uma decisão estratégica para otimizar o uso da água

A escolha do momento ideal para o plantio representa uma decisão estratégica de grande importância na otimização do uso da água na agricultura, que afeta diretamente a produtividade, a eficiência hídrica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Darré *et al.*, 2018). Ao alinhar o ciclo de desenvolvimento das culturas com os padrões climáticos regionais, os agricultores podem mitigar os riscos associados à escassez de água e maximizar o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis (Kisaka *et al.*, 2015). Essa estratégia envolve uma análise cuidadosa das condições climáticas locais, dos padrões de precipitação e das características específicas de cada cultura, visando determinar o período de plantio que proporcione as condições mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Cardoso *et al.*, 2004).

No contexto da gestão da irrigação, a definição precisa do momento de suspender a irrigação, até que as plantas atinjam um determinado limite de potencial hídrico, bem como o momento adequado para retomar a irrigação, são aspectos cruciais para evitar défices hídricos internos desnecessários (DaMatta *et al.*, 2007). Ao otimizar o momento do plantio, os agricultores podem reduzir a dependência da irrigação e minimizar o consumo de água, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e para a sustentabilidade da produção agrícola. Para otimizar o uso da água na agricultura, é fundamental considerar as necessidades hídricas específicas das culturas em diferentes estágios de desenvolvimento e ajustar as práticas de irrigação de acordo (Dong *et al.*, 2024).

Dessa forma, uma análise cuidadosa das condições climáticas locais, dos padrões de precipitação e das características específicas de cada cultura é fundamental para determinar o período de plantio que proporcione as condições mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Ortuani *et al.*, 2019).

5.3 Uso de cobertura do solo: uma estratégia simples e eficaz para conservar a água

A cobertura do solo, utilizando plantas ou outros materiais orgânicos, é uma estratégia simples, barata e eficaz para conservar a água no solo, especialmente em regiões com climas quentes e secos. A cobertura age como uma barreira física contra a

evaporação direta da água do solo causada pelo sol e pelo vento (Dhawi; Aleidan, 2024). Imagine o solo como uma esponja úmida: se deixada exposta ao sol, ela seca rapidamente. A cobertura atua como uma "tampa" nessa esponja, retendo a umidade por mais tempo. Além disso, a cobertura ajuda a moderar a temperatura do solo, protegendo as raízes das plantas de temperaturas extremas e permitindo um melhor desenvolvimento radicular, o que, por sua vez, aumenta a capacidade do solo de absorver e reter água (Gallo *et al.*, 2021).

A cobertura do solo também contribui para a saúde geral do solo e, conseqüentemente, para a conservação da água. Ao decompor-se, a matéria orgânica da cobertura enriquece o solo com nutrientes, melhora sua estrutura e aumenta sua capacidade de infiltração de água. Um solo saudável e rico em matéria orgânica age como uma esponja, absorvendo e retendo água da chuva de forma eficiente, em vez de permitir que ela escorra superficialmente, causando erosão e desperdício. (Baets *et al.*, 2011) discute os benefícios da cobertura do solo na prevenção da erosão. A cobertura também suprime o crescimento de ervas daninhas, que competem com as plantas cultivadas por água e nutrientes, reduzindo ainda mais a perda de água. oferece dicas práticas sobre o plantio de cobertura do solo (Chen *et al.*, 2020).

Além dos benefícios diretos para a conservação da água, a cobertura do solo proporciona outras vantagens, como a redução da necessidade de irrigação, a diminuição do uso de herbicidas e a melhoria da qualidade da água, ao reduzir o escoamento superficial que carrega poluentes para os corpos d'água. Existem diversas opções de cobertura do solo, desde plantas rasteiras e restos de cultura até materiais como palha, casca de árvore e compostos orgânicos (Sojka *et al.*, 1984). A escolha do tipo de cobertura ideal depende das características do local, do tipo de cultura e dos recursos disponíveis. A cobertura do solo é, portanto, uma técnica fundamental para a agricultura sustentável e para a gestão eficiente dos recursos hídricos, especialmente em face das mudanças climáticas e da crescente demanda por água (Loiskandl; Nolz, 2021).

5.4 Reduzindo as perdas por percolação: um manejo eficaz do solo para evitar o desperdício

A percolação, movimento da água através do perfil do solo, é um processo natural que pode levar à perda de água e nutrientes para camadas mais profundas, tornando-os

inacessíveis para as raízes das plantas. A adoção de práticas de manejo que promovam a estrutura do solo, como o cultivo mínimo e a rotação de culturas, contribui para aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água no solo, reduzindo as perdas por percolação (Marouelli, 2011).

Em suma, a implementação de boas práticas de manejo, como o planejamento adequado da irrigação, a escolha estratégica da época de plantio, o uso de cobertura do solo e a adoção de técnicas de conservação do solo, é medida essenciais para garantir o uso eficiente da água na agricultura, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola e a preservação dos recursos hídricos (Faggion *et al.*, 2009).

6. SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A irrigação é fundamental para a produção de alimentos e para a segurança alimentar, porém apresenta desafios significativos em termos de sustentabilidade, especialmente relacionados aos impactos socioeconômicos decorrentes do uso intensivo de água, energia e fertilizantes. A agricultura irrigada responde por cerca de 70% do consumo global de água doce, o que evidencia sua importância, mas também os riscos associados à superexploração dos recursos hídricos (Caitano *et al.*, 2015).

A intensificação da produção agrícola, impulsionada pela irrigação, pode levar à superexploração de aquíferos, à redução da vazão dos rios e a conflitos pelo uso da água, sobretudo em regiões com escassez hídrica. Além do consumo elevado de água, a agricultura irrigada demanda grandes quantidades de insumos agrícolas, como fertilizantes e pesticidas, que aumentam o potencial de danos ambientais, tanto pela exploração dos recursos naturais quanto pela contaminação gerada pelos agroquímicos e pelos processos produtivos desses insumos (Foley *et al.*, 2011). Por isso, é essencial compreender esses impactos para orientar a escolha de tecnologias adequadas, práticas de manejo eficientes e medidas corretivas que maximizem os benefícios sociais e minimizem os danos ambientais.

Outro aspecto relevante é o consumo energético da irrigação, que representa uma parcela significativa do gasto energético nas propriedades rurais. Esse consumo pode ser ainda maior se o processo não for controlado adequadamente, impactando diretamente a rentabilidade do produtor, já que as tarifas de energia influenciam o custo total da irrigação. Não existe um sistema de irrigação ideal em termos de eficiência energética,

pois a escolha depende de fatores como cultura, clima, solo, topografia e disponibilidade hídrica (Turco *et al.*, 2009).

Além do consumo de recursos, a agricultura é uma das principais atividades humanas responsáveis pela contaminação ambiental, afetando o solo e os recursos hídricos (Ongley, 2001; Brown *et al.*, 2000). Problemas como a salinização dos solos e a poluição das águas por nitratos são indicadores claros desse impacto. Resende (2002) destaca que o manejo inadequado ou o uso excessivo de fertilizantes, especialmente em condições desfavoráveis de solo e clima, pode desencadear a eutrofização das águas, causando prejuízos ao meio ambiente, à saúde humana e à biodiversidade. Diante disso, é imprescindível adotar estratégias técnicas, políticas e culturais que conscientizem a sociedade sobre os riscos das práticas agropecuárias inadequadas, promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos naturais.

No Brasil, conciliar a produção agrícola com a preservação dos recursos naturais é um desafio crescente, especialmente considerando a vasta extensão territorial e a diversidade climática do país. Santos *et al.* (2022) ressaltam que as mudanças climáticas têm alterado o regime de chuvas em várias regiões, intensificando eventos extremos como secas e estiagens prolongadas. Nesse contexto, a adoção de tecnologias inteligentes de irrigação surge como uma solução eficaz para mitigar os impactos ambientais e aumentar a eficiência no uso da água.

Os sistemas inteligentes de irrigação vêm ganhando espaço na agricultura brasileira, trazendo benefícios como maior eficiência no uso da água, redução de custos e aumento da produtividade. Sharma *et al.* (2017) afirmam que essas tecnologias permitem a aplicação precisa de água, ajustada às necessidades específicas de cada cultura e tipo de solo, evitando desperdícios e otimizando o aproveitamento dos recursos hídricos — aspecto fundamental para a sustentabilidade agrícola, sobretudo em regiões com escassez de água.

Além disso, o uso de sensores e sistemas de monitoramento contribui para o controle eficiente de pragas e doenças, reduzindo a necessidade de defensivos químicos. Conforme Silva *et al.* (2019), a irrigação precisa, realizada na quantidade e no momento adequados, favorece o desenvolvimento saudável das plantas, aumentando sua resistência e resultando em produtos de melhor qualidade.

A crescente demanda por recursos hídricos, impulsionada pelo aumento populacional e pela expansão econômica, exige uma revisão profunda das práticas de

gestão da água, destacando a conservação como prioridade. Em um cenário global de escassez hídrica, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, o reúso de água surge como uma estratégia indispensável para alcançar a sustentabilidade (Oliveira *et al.*, 2013).

Vieira *et al.* (2002) alertam que a contaminação dos recursos hídricos, causada pelo descarte inadequado de resíduos industriais, comerciais, públicos, hospitalares e domésticos, compromete gravemente a biodiversidade e ameaça as estruturas sociais, culturais e econômicas. Essa poluição afeta não só rios, lagos e lagoas, mas também as águas subterrâneas, que são vulneráveis a esgotos e fontes difusas de contaminação, aumentando os desafios relacionados à qualidade e disponibilidade da água.

O reúso de água, definido como a reutilização de águas previamente utilizadas após tratamento adequado, apresenta-se como uma solução eficaz e versátil. Suas aplicações abrangem desde a irrigação agrícola e processos industriais até o abastecimento humano, dependendo do nível de tratamento aplicado (Oliveira *et al.*, 2013). Conforme Oenning Junior e Pawlosky (2007), o reúso pode ser planejado ou indireto, envolvendo o uso de água tratada em estações de tratamento de esgoto para diversos fins.

Uma das principais vantagens do reúso é a preservação da água potável para o consumo humano. Em regiões semiáridas, por exemplo, águas residuárias domésticas têm sido amplamente utilizadas na agricultura, contribuindo para mitigar a escassez hídrica, reduzir a dependência de fertilizantes químicos e minimizar impactos ambientais. Dessa forma, o reúso de água se consolida como uma estratégia eficiente e sustentável para enfrentar os desafios hídricos globais.

Diante dos desafios ambientais, econômicos e sociais associados à irrigação na agricultura, torna-se imprescindível a adoção de práticas e tecnologias que promovam o uso eficiente e sustentável dos recursos hídricos e energéticos. A integração de sistemas inteligentes de irrigação, aliada ao manejo adequado dos insumos agrícolas e ao reúso de água, representa um caminho promissor para conciliar a produção agrícola com a preservação ambiental. Além disso, políticas públicas e ações de conscientização são fundamentais para garantir que essas soluções sejam amplamente implementadas, assegurando a segurança alimentar e a sustentabilidade dos ecossistemas, especialmente em regiões vulneráveis como as semiáridas. Assim, a agricultura pode evoluir para um modelo mais resiliente e responsável, capaz de enfrentar os desafios atuais e futuros relacionados à gestão dos recursos naturais.

Referências bibliográficas

- ALENCAR, C. A. B. *et al.* Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 2, p. 109-118, 2007.
- ALLEN, R. G. *et al.* Water requirements. In: **Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition**. American society of agricultural and biological engineers, 2007. p. 208-288.
- ALVARENGA, A. C. *et al.* Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. **Sinergia, São Paulo**, v. 15, n. 4, p. 311-318, 2014.
- ANA. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2013**. 2013. Disponível em: <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/447>. Acesso em: 20 out. 2024.
- ANTUNES, A. D. **Avaliação da uniformidade de distribuição de água e eficiência de aplicação, em um sistema de irrigação por aspersão com diferentes combinações de espaçamento, bocal e turno**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Instituto Federal Farroupilha. 2018.
- ARAÚJO, F. E. *et al.* Mapeamento participativo: conceitos, métodos e aplicações. **Boletim de Geografia**, 35, n. 2, p. 128-140, 2017.
- AWAIS, M. *et al.* Detection of plant water stress using UAV thermal images for precision farming application. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 18, n. 3, p. 4087-4102, 2020.
- AYARS, J. E. *et al.* Subsurface drip irrigation in California—Here to stay?. **Agricultural water management**, v. 157, p. 39-47, 2015.
- BAETS, S. D. *et al.* Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. **Catena**, v. 85, n. 3, p. 237-244, 2011.
- BALUJA, J. *et al.* Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). **Irrigation science**, v. 30, p. 511-522, 2012.
- BARBOZA, L. F. C. **Relatório de residência profissional envolvendo atividades desenvolvidas com irrigação na empresa Rural Top**. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Itapocu/produto_c/plano_itapocu-relatorio_etapa_c.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.
- BARRETO, L. *et al.* Panorama da Irrigação no Brasil. **Enciclopedia Biosfera**, v. 5, n. 7, 2009.
- BASTOS, E. A. *et al.* Métodos e Sistemas de Irrigação. In: SOUSA, V. F. (Org.) **Irrigação e Fertilirrigação Em Fruteiras e Hortalças**. Brasília: MAPA, 2011.

BELLVERT, J. *et al.* Vineyard irrigation scheduling based on airborne thermal imagery and water potential thresholds. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 22, n. 2, p. 307-315, 2016.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERNI, J. A. J. *et al.* Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 11, p. 2380-2388, 2009.

BEZERRA, G. S. *et al.* **Sistema de irrigação automatizada para agricultura**. 2023. Disponível em: [https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/16437/1/AUTOMA%
c3%87%c3%83O%20AGR%c3%8dCOLA%20PARA%20IRRIGA%
c3%87%c3%83O.pdf](https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/16437/1/AUTOMA%c3%87%c3%83O%20AGR%c3%8dCOLA%20PARA%20IRRIGA%c3%87%c3%83O.pdf). Acesso em: 20 abr. 2025.

BORSSOI, A. L. *et al.* Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 718-726, 2012.

BRITO, C. F. B. *et al.* Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. **Revista Agrotecnologia-Agrotec**, v. 7, n. 1, p. 10-17, 2016.

BRITO, J. S. Sistema automatizado e expansível para irrigação rural. 2023.

BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. **Estado mundo 2000**. Tradução. H. Mallett. Salvador: UMA Editora, 2000. 288 p.

CAITANO, R. *et al.* Levantamento dos impactos socioambientais da irrigação segundo metodologia de diagnóstico sistêmico e participativo. In: **III INOVAGRI International Meeting**. 2015.

CAMPÊLO, A. R. *et al.* Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista Agrotec**, v. 35, n. 1, p. 1-12, 2014.

CARDOSO, C. O. *et al.* Aplicação do modelo CERES-maize na análise de estratégias de irrigação para milho “safrinha” em Londrina-PR. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 37-44, 2004.

CARR, C. N. *et al.* Automação de irrigação por gotejamento com arduino uno: uma estratégia para diminuição de desperdícios hídricos e energéticos. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 8, e6187, 2024.

CAVALCANTE, W. S. S. *et al.* Tecnologias e inovações no uso de drones na agricultura. Technologies and innovations in the use of drones in agriculture. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 7108-7117, 2022.

CHEN, A. *et al.* Applying high-resolution visible-channel aerial imaging of crop canopy to precision irrigation management. **Agricultural water management**, v. 216, p. 196-205, 2019.

CHEN, X. *et al.* Effects of soil and water conservation measures on runoff and sediment yield in red soil slope farmland under natural rainfall. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3417, 2020.

COELHO, E. F. *et al.* Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

CUNHA, M. S. S. **Gerência e automação de supervisão de planejamento com utilização de Arduino**. 2022. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022.

DAMATTA, F. M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DANTAS NETO, J. *et al.* Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, v. 10, p. 283-288, 2006.

DARRÉ, E. *et al.* Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 514-523, 2018.

DHAWI, F.; ALEIDAN, M. M. Oasis agriculture revitalization and carbon sequestration for climate-resilient communities. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, 2024.

DI GENNARO, S. F. *et al.* Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Remote Sensing to Monitor Grapevine Leaf Stripe Disease within a Vineyard Affected by Esca Complex. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 55, n. 2, p. 262-275, 2016.

DONG, Y. *et al.* Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. **Frontiers in Water**, v. 6, 2024.

FAGGION, F. *et al.* Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, 2009

FARIA, L. C. *et al.* Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 19-27, 2009.

FAROOQ, M. *et al.* Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 95-108, 2019.

FEITOSA, D. G. *et al.* Aproveitamento de águas subterrâneas na região semiárida do Nordeste brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 1, p. 43-55, 2019.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

GAGO, J. *et al.* UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural water management**, v. 153, p. 9-19, 2015.

GALLO, A. *et al.* **Superhydrophobic sand mulches increase agricultural productivity in arid regions**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.00495>. Acesso em: 20 abr. 2025.

GAO, F. *et al.* Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 188, p. 9-25, 2017.

GUNDIM, A. S. *et al.* Tendências e perspectivas da irrigação de precisão: uma revisão. **Ciência Rural**, v. 53, p. e20220155, 2023.

KISAKA, M. O. *et al.* Rainfall variability, drought characterization, and efficacy of rainfall data reconstruction: case of Eastern Kenya. **Advances in Meteorology**, v. 2015, p. 1-13, 2015.

LEVIEN, S. L. A. *et al.* Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil. Nova Xavantina: **Pantanal**, 2021. 153p.

LIMA, L. O. *et al.* Estimativa da eficiência de um sistema de irrigação por microaspersão. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012. p. 2012.

LOISKANDL, W.; NOLZ, R. Requirements for sustainable irrigated agriculture. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 306, 2021.

MAGALHÃES, A. M. B. *et al.* SOLL: Smart Objects Linked to Learning. In: **XV Congresso da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação: Liberdade, Equidade e Emancipação**. Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação, 2020. p. 459-460.

MARCUZZO, F. F. N. **Sistema de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MARQUELLI, W. A. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. *et al.* (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 5. p. 158-232.

MARQUELLI, W. A.; LUCINI, M. A. Manejo de irrigação na cultura do alho. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 26, n. 3, p. 46-49, 2013.

MATEO-AROCA, A. *et al.* Remote image capture system to improve aerial supervision for precision irrigation in agriculture. **Water**, v. 11, n. 2, p. 255, 2019.

MELO, V. G. M. L. *et al.* Caracterização hidráulica de tubos de polietileno para irrigação perfurados a laser. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 102-109, 2017.

MOURA HAGUENAUER, G. **Tecnologias de irrigação e o uso eficiente da água: o caso do gotejamento subsuperficial**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NASCIMENTO, V. F. *et al.* Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017.

NAVARRO-HELLÍN, H. *et al.* A decision support system for managing irrigation in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, p. 121-131, 2016.

NETO, R. A. A. *et al.* Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrícola**, v. 13, n. 1, p. 13-20, 2015.

OENNING JUNIOR, A.; PAWLOWSKY, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, p. 305-316, 2007.

OLIVEIRA, N. M *et al.*, Reúso da água: um novo paradigma de sustentabilidade. **Élisée-Revista de Geografia da UEG**, v. 2, n. 1, p. 146-157, 2013.

ONGLEY, E. D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas**. Tradução Ghevy, H. R. *et al.* Campina Grande: UFPB, 2001. 92 p.

ORTUANI, B. *et al.* Assessing the effectiveness of variable-rate drip irrigation on water use efficiency in a vineyard in Northern Italy. **Water**, v. 11, n. 10, p. 1964, 2019.

OSTER, J. D.; WICHELS, D. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. **Irrigation Science**, v. 22, n. 3/4, p. 107-120, 2003.

PETILIO, A. *et al.* Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 11, n. 6, 2007.

PINTO, M. F. *et al.* Caracterização hidráulica de tubos porosos oriundos de pneus reciclados utilizados em irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1095-1101, 2014.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Distribuição espacial da água aplicada por equipamentos autopropelidos de irrigação-Parte I: Modelagem com o Simulasoft. **Irriga**, v. 15, n. 1, p. 51-62, 2010.

PUERTO, P. *et al.* Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. Water relations and yield. **Agricultural water management**, v. 126, p. 33-45, 2013.

QUINTANILHA, R. R. **Estudo comparativo do manejo de sistema e irrigação entre sulcos revestidos e sulcos sem revestimento, de baixo custo para agricultura familiar**. 2022. Disponível em:

https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5449/1/TCC_Quintanilha_20_12_Ariston.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2022. 29p.

RIBEIRO, R. B. *et al.* Análise Temporal das Variações de Parâmetros Biofísicos da Cana-de-Açúcar em Jaíba-MG. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 150-155, 2015.

RIGO, M. *et al.* Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura de *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Folha murcha. **Enciclopedia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

SANCHES, B. C. *et al.* A Indústria 4.0 e suas contribuições à sustentabilidade. **Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada-UNG-Ser**, v. 2, n. 1, p. 48-55, 2018.

SANDHU, R.; IRMAK, S. Effects of subsurface drip-irrigated soybean seeding rates on grain yield, evapotranspiration and water productivity under limited and full irrigation and rainfed conditions. **Agricultural Water Management**, v. 267, p. 107614, 2022.

SANTOS, A. J. Influência da irrigação por microaspersão na produtividade da goiabeira. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 1, e3112311, 2022.

SANTOS, B. P. *et al.* Agricultura e Irrigação no Brasil no cenário das Mudanças Climáticas. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 1, n. 2, 2022.

SANTOS, M. A. L. *et al.* Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea cayennensis* L.). **Revista Ciência Agrícola**, v. 13, n. 1, p. 7-12, 2015.

SHARMA, R. *et al.* Smart irrigation systems for sustainable agriculture: a review on advancements and research needs. **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 11-28, 2017.

SILVA JÚNIOR, G. A. A. **Sistema de irrigação automatizado para uma horta residencial usando a plataforma Arduíno**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/639dabaa-00d7-46d5-9164-92f3687b7d79>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SILVA, L. P. *et al.* Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.480-486, 2012.

SILVA, S.; NEVES, E. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020.

SILVA, T. G. F. *et al.* Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p. 1257-1265, 2011.

SILVA, T. J. A. et al. Monitoramento da irrigação de hortaliças por meio de sensores de umidade do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 1436-1446, 2019.

SOJKA, R. E. *et al.* Vegetative techniques for reducing water erosion of cropland in the southeastern United States. In: **Advances in Agronomy**, p. 155-176, 1984.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 835-841, 2000.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318197795_Irigacao_metodos_sistemas_e_aplicacoes. Acesso em: 20 abr. 2025.

VELOSO, E. M. C. Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras. 2023. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6251/3/MONOGRAFIA_AgriculturaPrecis%C3%A3oSistema.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.

VIERA, S. V. *et al.* Valorização do uso da água no trecho da Bacia do Rio Tubarão (Rio Braço do Norte) nos municípios de São Ludgero e Braço do Norte – Sul de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC), 2002, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2002.

WANG, X. C. *et al.* Effects of water and NPK fertigation on watermelon yield, quality, irrigation-water, and nutrient use efficiency under alternate partial root-zone drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 271, p. 107785, 2022.

WEST, G. H.; KOVACS, K. Addressing groundwater declines with precision agriculture: An economic comparison of monitoring methods for variable-rate irrigation. **Water**, v. 9, n. 1, p. 28, 2017.

ZHANG, Z. *et al.* Cotton moisture stress diagnosis based on canopy temperature characteristics calculated from UAV thermal infrared image. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 34, n. 15, p. 77â, 2018.

CAPÍTULO 3

IRRIGAÇÃO INTELIGENTE: MANEJO PARA ALTA PRODUTIVIDADE E USO RACIONAL DA ÁGUA

Manuel Eduardo Marques da Silva

Ernando Sávio Rodrigues de Melo

Vanessa Mendes da Silva

Tiago Lima Rodrigues

Rachel Borges da Silva

Carla Michelle da Silva

1. IRRIGAÇÃO INTELIGENTE

A irrigação, considerada um dos pilares fundamentais da agricultura moderna, desempenha um papel crucial na elevação da produtividade agrícola global. Esta prática permite que os produtores agrícolas superem as restrições impostas por condições climáticas adversas, como períodos prolongados de seca e a distribuição irregular de precipitação. De acordo com estimativas recentes, aproximadamente 70% da água doce disponível no planeta é destinada à irrigação agrícola, sublinhando a necessidade urgente de otimizar o uso desse recurso precioso para garantir a sua sustentabilidade (Hassan *et al.*, 2024; Ahmed *et al.*, 2023). A integração de tecnologias avançadas no manejo da irrigação tem-se mostrado uma solução promissora para os desafios hídricos enfrentados pela agricultura contemporânea.

Entretanto, sistemas de irrigação mal planejados ou ultrapassados são frequentemente ineficazes, levando ao desperdício considerável de água e à degradação do solo por salinização. Estudos demonstram que esses sistemas tradicionais não apenas

aumentam os custos operacionais, mas também agravam a pressão sobre os recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água já é uma preocupação crítica (Bwambale *et al.*, 2023). Assim, o manejo inadequado da irrigação compromete a viabilidade de práticas agrícolas sustentáveis, intensificando a necessidade de inovações no setor.

Dentro desse contexto, a irrigação inteligente emerge como uma solução revolucionária, ancorada no uso de sensores, algoritmos sofisticados e monitoramento em tempo real. Esses sistemas permitem a automação e o controle preciso da distribuição de água, assegurando que as plantas recebam a quantidade ideal de água de acordo com suas necessidades fisiológicas em cada fase de crescimento. Pesquisas indicam que a adoção de sistemas de irrigação inteligente pode reduzir o consumo de água em até 28%, ao mesmo tempo em que aumenta a produtividade agrícola (Hassan *et al.*, 2024). Tal tecnologia não só representa um avanço significativo em termos de eficiência hídrica, como também aprimora a resiliência das culturas, permitindo a otimização do manejo agrícola em face das adversidades climáticas.

A utilização de tecnologias como sensores de umidade, estações meteorológicas automatizadas e redes de sensores sem fio (WSN), vinculadas à Internet das Coisas (IoT), oferece uma abordagem inovadora e precisa ao gerenciamento de água. Essas ferramentas monitoram continuamente as condições climáticas e do solo, ajustando automaticamente o regime de irrigação conforme necessário, o que possibilita um uso mais eficiente da água e garante uma aplicação precisa. Além disso, a capacidade de monitoramento remoto permite que os agricultores tomem decisões mais fundamentadas e em tempo real, maximizando tanto a eficiência operacional quanto o retorno econômico (Ahmed *et al.*, 2023).

Entre os diversos benefícios associados à irrigação inteligente, destacam-se a economia de água e a redução de custos operacionais. A incorporação dessas tecnologias não só aumenta a eficiência energética, como também melhora a saúde das plantas e a qualidade das colheitas. Em estudos recentes, verificou-se que a adoção de sensores e tecnologias automatizadas pode elevar a produtividade em até 20%, sobretudo em culturas de alto valor agregado, como hortaliças e frutíferas. Isso é particularmente importante em regiões onde a disponibilidade de água é restrita, tornando o uso racional e eficiente desse recurso um imperativo (Bwambale *et al.*, 2023).

A crescente crise hídrica global eleva a necessidade de práticas agrícolas que maximizem o uso eficiente da água. Organizações internacionais, como a ONU, têm enfatizado a relevância de tecnologias que promovam a segurança alimentar e a sustentabilidade dos recursos hídricos, especialmente no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Neste sentido, a irrigação inteligente desempenha um papel central, ao possibilitar uma gestão mais criteriosa dos recursos hídricos, contribuindo diretamente para a preservação dos ecossistemas e para a segurança alimentar (Hassan *et al.*, 2024).

Contudo, é necessário reconhecer que a irrigação, quando mal gerida, pode ter impactos ambientais devastadores. Sistemas ineficientes são responsáveis por grande parte do consumo excessivo de água doce, exercendo uma pressão adicional sobre os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade. A implementação de soluções tecnológicas avançadas, como a irrigação inteligente, é essencial para mitigar esses impactos, promovendo um uso mais racional e sustentável dos recursos hídricos (Ahmed *et al.*, 2023).

Exemplos práticos de sucesso, tanto no Brasil quanto em outras regiões, demonstram o impacto positivo da adoção de sistemas de irrigação inteligente. No semiárido nordestino, o uso dessas tecnologias já resultou em melhorias substanciais na produtividade agrícola e em uma significativa economia de água, beneficiando diretamente pequenos agricultores e comunidades locais. Esses casos sublinham o potencial da irrigação inteligente para aumentar a resiliência das áreas agrícolas, particularmente nas regiões mais vulneráveis à escassez hídrica (Hassan *et al.*, 2024).

Por outro lado, a implementação generalizada dessas tecnologias ainda enfrenta barreiras, como os altos custos iniciais e a necessidade de capacitação técnica especializada para agricultores. No entanto, espera-se que, à medida que as tecnologias se tornem mais acessíveis e baratas, sua adoção se amplie, beneficiando um público agrícola mais amplo (Ahmed *et al.*, 2023).

O futuro da irrigação está fortemente atrelado ao avanço de tecnologias mais precisas e acessíveis. A integração da inteligência artificial (IA) e do aprendizado de máquina (ML) no gerenciamento hídrico promete otimizar ainda mais a eficiência da irrigação, permitindo ajustes automáticos conforme as variações climáticas e as necessidades fisiológicas das plantas. Essas inovações têm o potencial de transformar radicalmente a agricultura, assegurando a sustentabilidade e a segurança alimentar global

em um cenário onde a água se torna um recurso cada vez mais escasso (Bwambale *et al.*, 2023).

2. MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação constitui um dos pilares fundamentais para otimizar a eficiência do uso da água na agricultura e garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos. A determinação da lâmina de irrigação refere-se ao cálculo da quantidade exata de água necessária para repor a umidade do solo, suprimindo as necessidades da cultura. Diversos métodos são empregados para calcular essa lâmina, sendo o método do tanque classe A e a equação de Penman-Monteith os mais amplamente utilizados no Brasil. O tanque classe A mede a evaporação de uma lâmina de água em um tanque padrão, enquanto a equação de Penman-Monteith combina variáveis climáticas (temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento) para calcular a evapotranspiração da cultura (Coutinho *et al.*, 2020).

Nesse contexto, algumas fórmulas são utilizadas para a determinação da lâmina de irrigação, tais como:

- Equação Simplificada da Lâmina de Irrigação (Albuquerque; Guimarães, 2009):

$$L = \frac{ETc \times P}{Ef}$$

Onde:

- L = Lâmina de irrigação (mm)
 - ETc = Evapotranspiração da cultura (mm)
 - P = Profundidade efetiva das raízes (m)
 - Ef = Eficiência do sistema de irrigação (adimensional)
-
- Evapotranspiração de referência (ETc) pela equação de Penman-Monteith, conforme recomendada pela FAO (Conceição, 2006):

$$ET_c = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Onde:

- ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm/dia)
- Δ = Inclinação da curva de pressão de vapor (kPa/°C)
- Rn = Radiação líquida na superfície da cultura (MJ/m²/dia)
- G = Fluxo de calor no solo (MJ/m²/dia)
- γ = Constante psicrométrica (kPa/°C)
- T = Temperatura média do ar (°C)
- u_2 = Velocidade do vento a 2 m de altura (m/s)
- $es - ea$ = Deficit de pressão de vapor (kPa)
- Fórmula para a frequência de irrigação:

A frequência de irrigação pode ser calculada considerando a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a evapotranspiração da cultura. Um modelo comum é o seguinte (Albuquerque; Guimarães, 2009):

$$F = \frac{(CC - PMP) \times Z}{ET_c}$$

Onde:

- F = Frequência de irrigação (dias)
- CC = Capacidade de campo do solo (m³/m³)
- PMP = Ponto de murcha permanente do solo (m³/m³)
- Z = Profundidade efetiva do sistema radicular (m)
- ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm/dia)

Essas fórmulas são essenciais para garantir que a irrigação ocorra de maneira eficiente, suprimindo as necessidades hídricas da planta sem causar excesso de água ou desperdício.

2.1 Frequência de Irrigação

A frequência de irrigação deve ser ajustada com base nas características do solo, na fase de desenvolvimento da cultura e nas condições climáticas locais. Solos arenosos, por exemplo, apresentam baixa capacidade de retenção de água, exigindo irrigações mais

frequentes, porém com lâminas menores. Já solos argilosos, que retêm água por mais tempo, permitem irrigações menos frequentes e com volumes maiores (Gutierrez; Neves, 2021). A frequência inadequada pode causar estresse hídrico ou excesso de água, o que pode comprometer a produtividade das culturas.

O monitoramento da umidade do solo é crucial para um manejo eficiente da irrigação. Tensiômetros e sondas de capacitância são amplamente utilizados para medir a umidade do solo. Os tensiômetros, que medem a tensão com que a água é retida no solo, indicam quando o solo precisa ser irrigado. Já as sondas de capacitância, como o sistema irrigas, utilizam sensores que fornecem dados em tempo real sobre a umidade do solo, permitindo o ajuste automático dos sistemas de irrigação (Calbo; Silva, 2005). O uso de tecnologias como essas reduz o desperdício de água e aumenta a eficiência dos sistemas de irrigação.

O manejo da salinidade em áreas irrigadas é de extrema importância, especialmente em regiões áridas e semiáridas. A irrigação excessiva, ou com água de má qualidade, pode levar ao acúmulo de sais no solo, o que prejudica a absorção de água pelas plantas. Para mitigar os efeitos da salinização, técnicas como a lixiviação controlada, que consiste na aplicação de volumes extras de água para deslocar os sais para fora da zona radicular, são amplamente empregadas. Estudos realizados no semiárido brasileiro indicam que o monitoramento contínuo da qualidade da água de irrigação, aliado à utilização de práticas de manejo adequadas, é essencial para evitar a salinização dos solos (Melo *et al.*, 2022; Medeiros *et al.*, 2011).

3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS CULTURAS

A evapotranspiração das culturas (ET_c) é um dos componentes mais importantes no manejo da irrigação e refere-se à soma da água que evapora do solo e a que é transpirada pelas plantas. A ET_c é influenciada por diversos fatores ambientais e das características da cultura, sendo fundamental para determinar a demanda hídrica das plantas. Para estimá-la de forma precisa, são utilizados diversos métodos, e é necessário compreender os fatores que afetam a evapotranspiração e o papel dos coeficientes de cultivo.

Como citado em tópicos anteriores, os métodos mais utilizados para a estimativa da evapotranspiração são os métodos empíricos, baseados em modelos matemáticos que

integram variáveis climáticas. Dentre esses métodos, o mais amplamente aceito globalmente é o **método de Penman-Monteith**, recomendado pela FAO, que calcula a evapotranspiração de referência (ET_o). Outro método comumente utilizado em regiões brasileiras é o **método do tanque classe A**, que mede diretamente a evaporação da água em um tanque instalado em campo. Este método, embora mais simples, requer ajustes através de coeficientes de correção para considerar a localização e a cultura específica (Coutinho *et al.*, 2020).

3.1 Fatores que Influenciam a Evapotranspiração

A evapotranspiração é influenciada por três principais fatores: clima, solo e características da planta.

A evapotranspiração está diretamente relacionada às condições climáticas, como temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Aumentos na temperatura e na radiação solar, bem como a baixa umidade relativa, tendem a aumentar a demanda evaporativa, enquanto ventos fortes também contribuem para maiores taxas de evapotranspiração (Junior *et al.*, 2017).

Já as características do solo, como sua capacidade de retenção de água e a textura, influenciam diretamente a quantidade de água disponível para as plantas e, portanto, a transpiração. Solos mais arenosos têm menor capacidade de retenção, o que pode resultar em uma evapotranspiração mais elevada e frequente reposição hídrica (Venancio *et al.*, 2019).

Por fim, o desenvolvimento da planta, sua área foliar e o ciclo de crescimento influenciam significativamente a transpiração. Culturas com maior área foliar transpiram mais, assim como plantas em estágios de crescimento ativo, como na floração e frutificação. Além disso, plantas com maior eficiência no uso da água, como algumas gramíneas, podem apresentar menor evapotranspiração em comparação a culturas de folha larga (Allen *et al.*, 1998).

3.2 Uso de Coeficientes de Cultivo (K_c)

O coeficiente de cultivo (K_c) é uma variável essencial no cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir da evapotranspiração de referência (ET_o). O

Kc reflete as características específicas da cultura, como a sua fisiologia, estágio de desenvolvimento e condições de manejo, e varia ao longo do ciclo da planta.

Dessa forma, o ET_c pode ser calculado da seguinte forma (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = Kc \times ET_0$$

Onde:

- ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm/dia);
- Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional);
- ET_0 = Evapotranspiração de referência (mm/dia).

Os valores de Kc variam ao longo do ciclo da cultura, sendo mais baixos no início, quando a planta está em fase de crescimento inicial, e atingem o valor máximo durante a fase de desenvolvimento completo, como a floração. No final do ciclo, o Kc diminui à medida que a planta atinge a maturidade (Allen *et al.*, 1998). No Brasil, a definição de coeficientes de cultivo específicos para diferentes culturas é amplamente estudada, sendo necessária à sua regionalização para adaptar os valores aos diferentes climas e condições de solo (Albuquerque; Coelho, 2021).

4. IRRIGAÇÃO DE PRECISÃO

É uma estratégia que integra tecnologias avançadas para monitorar e aplicar a quantidade exata de água nas culturas, ajustando-se conforme as necessidades específicas de cada área. Essa prática combina sensores, controladores automatizados e sistemas de informação geográfica (SIG), resultando em maior eficiência no uso da água e aumento da produtividade das culturas. Ao contrário dos sistemas de irrigação tradicionais, que aplicam água uniformemente em grandes áreas, a irrigação de precisão ajusta a quantidade de água de acordo com a variabilidade espacial das condições do solo, clima e cultura.

4.1 Conceitos e Tecnologias

A irrigação de precisão faz uso de sensores de umidade do solo, estações meteorológicas e plataformas de Internet das Coisas (IoT) para monitorar as condições

em tempo real. Esses sensores, como os de capacitância e os tensiômetros, fornecem informações detalhadas sobre a umidade do solo, permitindo a aplicação precisa de água. Além disso, os dados gerados são integrados a sistemas de controle que automatizam a irrigação, otimizando a distribuição de água nas áreas que realmente necessitam (Kamienski; Visoli, 2018).

Outra tecnologia relevante é o uso de SIG, que permite o mapeamento da variabilidade espacial do solo, identificando zonas que exigem mais ou menos água. Esses sistemas são fundamentais para ajustar a irrigação às necessidades específicas de cada parte do campo, evitando desperdícios e garantindo a aplicação eficiente dos recursos hídricos (Silva, 2020).

4.2 Benefícios para o Uso Racional da Água e Produtividade

A principal vantagem da irrigação de precisão é a economia de água. Estudos mostram que essa tecnologia pode reduzir o consumo de água em até 30% em comparação com sistemas tradicionais, ao aplicar água apenas onde e quando necessário. Além disso, a irrigação de precisão melhora a saúde das plantas e aumenta a produtividade, resultando em colheitas mais abundantes e de maior qualidade (Kamienski; Visoli, 2018).

Outro benefício significativo é a redução da lixiviação de nutrientes, o que diminui o impacto ambiental e melhora a fertilidade do solo. A automação do processo permite que os agricultores ajustem a irrigação com base nas condições climáticas, prevenindo tanto o estresse hídrico quanto o encharcamento, ambos prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (Kamienski; Visoli, 2018).

4.3 Custos e Viabilidade

Apesar de seus benefícios, a adoção da irrigação de precisão pode ser limitada pelo alto custo inicial de instalação, que envolve a aquisição de sensores, sistemas de controle automatizados e plataformas de SIG. No entanto, a tendência é que esses custos diminuam com o avanço da tecnologia e a popularização das soluções de IoT no agronegócio. Além disso, o retorno sobre o investimento costuma ser rápido em culturas de alto valor ou em

grandes áreas de cultivo, onde a economia de água e o aumento de produtividade compensam os gastos iniciais (Silva, 2020).

Por fim, a irrigação de precisão oferece uma solução sustentável e eficaz para a gestão da água na agricultura, especialmente em regiões com escassez hídrica. Com a crescente demanda por eficiência no uso de recursos naturais, essa tecnologia está se tornando cada vez mais acessível e viável, permitindo aos agricultores aumentar a produtividade ao mesmo tempo que protegem o meio ambiente (Ahmed *et al.*, 2023).

5. NUTRIÇÃO DE PLANTAS E FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação consiste em fornecer fertilizantes por meio da água de irrigação, permitindo que os nutrientes sejam aplicados diretamente às plantas enquanto a irrigação é realizada, o que facilita a absorção eficiente de nutrientes e otimiza o uso de água e fertilizantes. No sistema de fertirrigação, utiliza-se a rede de irrigação para conduzir e distribuir fertilizantes juntamente com a água. Os fertilizantes aplicados podem ser tanto líquidos quanto sólidos solúveis (Silva; Soares, 2009).

Fertilizantes solúveis em água são produtos que apresentam as melhores características para serem aplicados via água de irrigação. Estes podem ser apresentados na forma simples ou em combinações com dois ou mais elementos (Silva; Borges, 2011). No mercado, existem muitos fertilizantes que podem ser aplicados via água de irrigação. Porém, a escolha deve ser feita com base nas características de cada produto, visando atender às necessidades dos demais elementos envolvidos no processo, tais como: sistema de irrigação, textura do solo, qualidade da água, custo e exigências nutricionais da planta (Silva, 2014; Pinto *et al.*, 2015).

A fertirrigação destaca-se como uma técnica que oferece múltiplos benefícios, especialmente no que diz respeito à eficiência no uso de recursos. Entretanto, para alcançar os resultados desejados, é necessário lidar com certos desafios operacionais.

Entre as principais vantagens da fertirrigação está a eficiência no uso de água e nutrientes, uma vez que permite que a aplicação de fertilizantes ocorra simultaneamente com a irrigação, otimizando tanto a distribuição de nutrientes quanto a utilização da água (Silva, 2014).

Essa técnica promove uma distribuição mais uniforme de nutrientes na zona radicular, resultando em um melhor aproveitamento pelos sistemas radiculares das

plantas. Além disso, a fertirrigação contribui para a redução de perdas e impactos ambientais. A aplicação direta de nutrientes via sistemas de irrigação minimiza perdas por lixiviação e volatilização, sendo particularmente eficaz no manejo do nitrogênio. Essa prática reduz a quantidade de fertilizantes aplicada ao solo, o que diminui o risco de contaminação de recursos hídricos subterrâneos e superficiais, como lençóis freáticos e rios (Marschner, 2011).

Outro benefício relevante é o maior controle sobre a nutrição das plantas. Ao ajustar a aplicação de nutrientes com base nas diferentes fases de crescimento, o agricultor pode otimizar o desenvolvimento da cultura e aumentar a produtividade. Esse controle preciso garante um equilíbrio nutricional que, de outra forma, seria difícil de alcançar com métodos tradicionais (Borges *et al.*, 2009).

Adicionalmente, a redução do trabalho manual é uma das vantagens operacionais da fertirrigação. Como os fertilizantes são aplicados automaticamente junto com a água, há menos necessidade de intervenções manuais para a aplicação de fertilizantes sólidos, resultando em economia de mão de obra e tempo (Pinto *et al.*, 2015).

Contudo, a fertirrigação não está isenta de desafios. Um dos principais problemas é a possibilidade de entupimento dos emissores de água, especialmente ao utilizar fertilizantes que formam precipitados, como cálcio e fósforo, em águas com alta concentração de minerais (Silva, 2014). Para mitigar esse risco, é essencial utilizar fertilizantes altamente solúveis e garantir que a solução esteja bem diluída.

Outro desafio é a compatibilidade entre fertilizantes e o sistema de irrigação. Alguns fertilizantes podem reagir entre si, formando compostos insolúveis que bloqueiam os sistemas de irrigação. A escolha cuidadosa de fertilizantes compatíveis é, portanto, crucial para evitar a formação de precipitados e garantir o bom funcionamento do sistema (Borges *et al.*, 2009).

Por fim, a necessidade de monitoramento constante é um aspecto desafiador da fertirrigação. O pH da água e a composição química devem ser rigorosamente controlados para garantir a absorção adequada de nutrientes pelas plantas e a manutenção do sistema de irrigação em boas condições de operação (Pinto *et al.*, 2015).

5.1 Absorção de nutrientes pelas plantas

Quando os fertilizantes são aplicados pela água de irrigação, o tempo para que alcancem as raízes é consideravelmente reduzido, já que os nutrientes dissolvidos penetram no solo de maneira uniforme e rapidamente na zona radicular. Isso garante uma distribuição equilibrada ao redor das raízes, permitindo que uma maior quantidade de raízes entre em contato direto com os nutrientes, otimizando a absorção e favorecendo o pleno potencial de desenvolvimento da planta (Silva; Borges, 2011).

5.1.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mais comumente utilizado na fertirrigação devido à necessidade de sua aplicação fracionada. Isso se deve à sua alta mobilidade no solo, especialmente em solos arenosos, onde é facilmente lixiviado. Além disso, os fertilizantes nitrogenados possuem um elevado índice salino, e as culturas apresentam uma demanda inicial reduzida por esse nutriente, o que justifica a aplicação parcelada ao longo do ciclo da planta (Borges; Silva, 2009).

O nitrogênio pode ser aplicado na fertirrigação a partir de várias fontes, como a ureia. Quando aplicada ao solo, a ureia sofre hidrólise, transformando-se em amônia (NH_3) e gás carbônico (CO_2), uma reação catalisada pela enzima urease. Esse processo resulta na formação do íon amônio (NH_4^+), que pode ser retido nas partículas do solo carregadas negativamente (Gould *et al.*, 1986). A movimentação do íon amônio no solo é influenciada pela sua concentração e pela capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. Solos com alta CTC conseguem reter mais amônio, o qual posteriormente é convertido em nitrato por meio de processos biológicos. A nitrificação, que converte o amônio em nitrato, ocorre mais eficientemente em solos com pH entre 7 e 9,5 e em temperaturas entre 25 °C e 30 °C. Contudo, em solos alcalinos com altas temperaturas e baixa umidade, o amônio pode volatilizar, resultando em perdas de nitrogênio (Shilpha *et al.*, 2023).

As fontes nítricas, quando aplicadas ao solo via irrigação, liberam nitrato (NO_3^-), que é prontamente absorvido pelas plantas. Devido à sua alta solubilidade em água, os nitratos não se ligam às partículas do solo, o que os torna altamente móveis por processos de convecção e difusão. Assim, após a conversão do amônio em nitrato, sucessivas irrigações podem empurrar esses íons para as extremidades da zona úmida. Se houver irrigação excessiva, pode ocorrer lixiviação de nitratos. Diferentemente do nitrato de

amônio, outras fontes nítricas são neutras. É importante, ao usar fontes de nitrogênio em fertirrigação, observar o equilíbrio entre cátions e ânions na solução do solo. Um excesso de cátions ou ânions pode favorecer sua absorção em detrimento de outros nutrientes essenciais. O excesso de NH_4^+ , por exemplo, pode reduzir a absorção de cátions como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , enquanto o aumento de NO_3^- pode diminuir a absorção de fosfato e sulfato, aumentando a de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Silva; Borges, 2011).

5.1.2 Fósforo

O fósforo é absorvido pelas plantas principalmente na forma de íon fosfato (HPO_4^{2-}), porém apresenta limitações para aplicação via irrigação devido à sua tendência de se adsorver fortemente à matriz do solo. Essa característica resulta em baixa mobilidade do fósforo, pois ele é facilmente retido pelos coloides minerais e possui alta probabilidade de precipitação (Machado; Souza, 2012; Villar; Villar, 2013).

A aplicação de fósforo exige atenção especial, principalmente em situações onde a água de irrigação contém altos níveis de cálcio e magnésio. Nesses casos, o uso de ácido fosfórico é recomendado, pois ajuda a manter o pH da solução de irrigação em níveis baixos durante o processo de fertirrigação. Isso previne a formação de precipitados que poderiam obstruir o sistema de irrigação, garantindo a eficácia da distribuição dos nutrientes (Silva, 2004).

5.1.3 Potássio

O potássio (K) é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, participando de processos fundamentais como a regulação osmótica, a ativação enzimática e a síntese de proteínas. A fertirrigação permite sua distribuição uniforme no solo e aumentando a eficiência no uso desse nutriente, essa técnica tem demonstrado impactos positivos em diferentes culturas. Por exemplo, na bananeira, o manejo integrado de nitrogênio e potássio resultou em maior produtividade e melhor estado nutricional das plantas (Teixeira *et al.*, 2007).

No entanto, o sucesso da fertirrigação com potássio depende de cuidados específicos. A qualidade da água, por exemplo, deve ser monitorada para evitar reações químicas que gerem precipitados e obstruam o sistema de irrigação (Gonçalves, 2021).

5.1.4 Fertilizantes contendo cálcio, magnésio e enxofre

O cálcio é um componente essencial para integridade das paredes celulares, para a sinalização celular, e também melhora a capacidade da planta de resistir a estresses, como por exemplo, o causado pela falta de água. A aplicação de cálcio também tem mostrado aumentar a resistência a doenças, como as causadas por fungos, e melhorar a qualidade dos frutos (Marschner, 2011).

Já o magnésio está fortemente relacionado a fotossíntese, por ser um importante componente da clorofila. Sua aplicação via fertirrigação tem se mostrado eficaz no aumento da produtividade, especialmente em culturas como cereais e hortaliças, pois auxilia na síntese de proteínas e na regulação do metabolismo energético das plantas (Hauer-Jákli; Tränkner, 2019).

O enxofre é crucial para a produção de aminoácidos e proteínas e desempenha um papel importante na resistência das plantas ao estresse biótico e abiótico. A fertirrigação com enxofre também está associada à melhoria da saúde das plantas, com destaque para a redução de doenças, como a podridão apical. Além disso, o enxofre contribui para a absorção de outros nutrientes, como o nitrogênio, otimizando o crescimento e a qualidade das culturas (Shah et al., 2022).

Embora a fertirrigação com esses nutrientes traga várias vantagens, como a melhoria na qualidade dos frutos e na resistência ao estresse, é essencial um manejo cuidadoso para evitar desequilíbrios nutricionais. A aplicação excessiva de cálcio pode competir com outros nutrientes, como o magnésio, prejudicando a absorção e o uso eficiente desses elementos (Marschner, 2011).

5.1.5 Micronutrientes

Micronutrientes como ferro, zinco, cobre e manganês podem reagir com os sais presentes na água de irrigação, resultando na formação de precipitados. Para evitar esse problema, recomenda-se o uso desses nutrientes na forma de quelatos, como ácido etileno diamino triacético (EDTA) ou ácido dietileno triamino penta-acético (DTPA). Esses quelatos mantêm os micronutrientes solúveis e mais móveis do que suas formas originais, prevenindo sua adsorção e precipitação. No entanto, mesmo com o uso de quelatos, há a possibilidade de que o micronutriente se desprenda e seja substituído por outros íons, tornando-se imobilizado no solo (Silva; Borges, 2011).

5.2 Formas de fertilizantes

Os fertilizantes aplicados via irrigação podem ser tanto sólidos quanto líquidos. Os fertilizantes líquidos são disponibilizados em diferentes formas, como soluções transparentes, coloidais ou suspensões, dependendo da composição e do tipo de formulação. Essas formas permitem a fácil dissolução e movimentação dos nutrientes na água de irrigação, facilitando a distribuição uniforme às plantas (Borges *et al.*, 2009).

A utilização de fertilizantes sólidos na fertirrigação é um método eficiente para fornecer nutrientes às plantas, embora exija um cuidadoso manejo devido à necessidade de dissolução desses fertilizantes na solução de irrigação. Fertilizantes sólidos como nitrato de cálcio, sulfato de potássio e fosfato de amônio são frequentemente empregados, sendo dissolvidos em água antes de sua aplicação. No entanto, a solubilidade dos fertilizantes sólidos pode variar, e o pH da solução de irrigação deve ser monitorado para evitar possíveis efeitos adversos sobre a disponibilidade de nutrientes (Tisdale *et al.*, 2010). A escolha do fertilizante adequado e a correta proporção de nutrientes são essenciais para maximizar os benefícios da fertirrigação e evitar o acúmulo excessivo de sais no solo (Marschner, 2011).

Já os fertilizantes líquidos usados na fertirrigação são amplamente utilizados devido à sua alta solubilidade em água, o que permite uma aplicação eficiente e uniforme de nutrientes para as plantas. A fertirrigação, que combina fertilização e irrigação, é uma prática cada vez mais comum em sistemas agrícolas, pois facilita a aplicação direta de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes. Essa técnica é especialmente útil para fornecer nutrientes de maneira precisa e oportuna, promovendo o crescimento saudável das plantas e aumentando a produtividade das culturas (Zhu *et al.*, 2017; Fageria *et al.*, 2011).

5.3 Compatibilidade entre os fertilizantes

É importante levar em consideração a compatibilidade entre os fertilizantes e os íons presentes na água de irrigação, para evitar a formação de precipitados indesejados que podem comprometer o sistema de irrigação e a eficiência da fertirrigação. Quando houver incompatibilidade entre íons, como o sulfato e o cálcio, ou os fosfatos com cálcio e magnésio, é recomendado aplicar os fertilizantes de forma alternada, isoladamente, em

ciclos de quatro dias com fertirrigação diária. Além disso, águas ricas em cálcio e magnésio (conhecidas como "águas duras") podem formar compostos insolúveis quando combinadas com fosfato e sulfato, o que pode prejudicar a eficiência do sistema de irrigação (Silva; Borges, 2011).

5.4 Poder de corrosão dos fertilizantes

A capacidade corrosiva dos fertilizantes varia e pode danificar os equipamentos utilizados na fertirrigação. Equipamentos de alumínio são mais vulneráveis a soluções alcalinas e ao ácido fosfórico, enquanto o aço inoxidável permanece inalterado. Em comparação aos metais, os materiais plásticos são mais resistentes e, portanto, tendem a ser uma escolha mais durável para esses sistemas. A Tabela 1 apresenta a comparação da corrosão de diferentes materiais quando expostos a certos fertilizantes dissolvidos em água, destacando o impacto que esses produtos podem ter em cada tipo de material (Silva; Borges, 2011).

Tabela 1 - Corrosão relativa dos fertilizantes dissolvidos na água em relação a diversos metais.

Fertilizante	pH	Alumínio	Cobre	Bronze	Aço	Aço galvanizado	Aço inoxidável
Ureia (solução)	8,0	C	SC	C	SC	SC	SC
Nitrato de amônio	7,0	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Ureia-nitrato de amônio	8,0	C	C	C	C	BC	SC
Amônia líquida	9,0	SC	BC	BC	SC	SC	SC
Sulfato de amônio	5,0	BC	MC	MC	MC	MC	MC
Nitrato de cálcio	5,0	SC	BC	BC	BC	C	SC
Nitrato de sódio	8,0	C	SC	SC	BC	BC	SC
Ácido fosfórico	1,0	MC	MC	MC	MC	MC	SC
Fosfato diamônico (DAP)	6,0	MC	MC	MC	-	-	BC
Polifosfato de amônio	6,0	C	BC	BC	SC	BC	SC

⁽¹⁾ SC = sem corrosividade; BC = baixa corrosividade; C = corrosividade a elevada concentração; MC = muito corrosivo.

Fonte: Silva; Borges, 2011

5.5. Solubilidade, salinidade e acidificação dos fertilizantes

Os fertilizantes utilizados na fertirrigação precisam ser altamente solúveis, tanto para evitar o entupimento dos emissores quanto para assegurar a concentração adequada da solução nutritiva. A solubilidade dos fertilizantes é influenciada principalmente por dois fatores: a temperatura da água e a pureza do fertilizante (Silva; Borges, 2011).

A salinidade causada pela fertirrigação é um dos principais desafios associados a essa prática, especialmente quando fertilizantes solúveis são aplicados em excesso. O acúmulo de sais solúveis no solo pode aumentar a condutividade elétrica da solução do solo, afetando a absorção de água pelas raízes e, em casos extremos, levando ao estresse salino que prejudica o crescimento das plantas. Esse efeito é particularmente preocupante em áreas de irrigação intensiva, onde o excesso de fertilizantes pode exacerbar a salinização do solo, reduzindo a produtividade das culturas (Ezlit, 2010). Para mitigar os efeitos da salinidade, é essencial monitorar cuidadosamente a concentração de sais na solução de irrigação, utilizar técnicas de fertirrigação bem planejadas e adotar práticas de manejo que promovam a drenagem e a lixiviação de sais acumulados (Marschner, 2011).

O impacto dos fertilizantes no pH do solo está relacionado ao seu caráter ácido ou básico, resultado das características químicas dos seus componentes. Esses componentes podem atuar doando ou recebendo prótons, o que influencia diretamente o pH. Além disso, reações secundárias decorrentes da dissociação dos fertilizantes no solo também podem alterar o equilíbrio de acidez ou alcalinidade, modificando o pH do ambiente ao redor das raízes (Silva; Borges, 2011).

6. MANEJO DO SOLO EM SISTEMAS IRRIGADOS

6.1 Etapas do Preparo do Solo em Sistemas Irrigados

O preparo do solo em cultivos irrigados requer técnicas específicas para adaptar o solo ao manejo constante de água. A compactação é mais comum devido ao peso da água e demanda técnicas como a subsolagem para manter a infiltração e evitar saturação. Além disso, a irrigação aumenta a lixiviação de nutrientes, exigindo adubação mais frequente para manter a fertilidade do solo, diferentemente de cultivos sem irrigação, onde a mobilidade dos nutrientes é menor (Sousa; Lobato, 2004).

O nivelamento é fundamental para distribuir a água de forma uniforme e evitar erosão. Em áreas sem irrigação, o preparo pode incluir práticas como microbacias para aumentar a infiltração da água da chuva. A matéria orgânica é amplamente usada para melhorar a estrutura e retenção de água, essencial para a saúde do solo e absorção eficiente em sistemas irrigados (Blanco; Lal, 2009)

6.2 Cobertura do solo

A prática de cobertura do solo, utilizando plásticos e palhas, oferece benefícios significativos tanto para o agricultor quanto para o meio ambiente. A cobertura reduz a incidência de plantas invasoras, o que diminui a necessidade de herbicidas e o esforço manual de remoção. Além disso, ao minimizar a evaporação da água do solo, essa técnica contribui para a economia de água de irrigação, essencial em regiões de baixa disponibilidade hídrica. Com a retenção de umidade e a redução de variações bruscas de temperatura no solo, o desenvolvimento das raízes é favorecido, promovendo um crescimento mais vigoroso das culturas. A cobertura também ajuda a melhorar a estrutura do solo ao longo do tempo, especialmente quando se utiliza palha ou outros resíduos orgânicos, que, ao se decomporem, aumentam a matéria orgânica e a capacidade de retenção de nutrientes do solo. Além disso, a economia no uso de água e insumos reflete diretamente na redução dos custos de produção, tornando o processo mais sustentável e economicamente vantajoso (Branco, 2010; Pádua *et al.*, 2021; Silva, 2022).

6.3 Principais tipos de cobertura utilizados no cultivo irrigado

A cobertura morta, a cobertura vegetal e a cobertura plástica são práticas agrícolas que contribuem para a melhoria do solo e o desenvolvimento saudável das plantas. A cobertura morta envolve o uso de materiais orgânicos, como palha e folhas secas, que ajudam a regular a temperatura, reduzir a evaporação e reter a umidade, além de controlar ervas daninhas e enriquecer o solo com matéria orgânica ao se decompor (Oliveira, 2002).

A cobertura vegetal, por sua vez, utiliza plantas de cobertura para melhorar a sustentabilidade do sistema agrícola, protegendo contra a erosão e aumentando a fertilidade e retenção de água do solo, com destaque para as leguminosas, que fixam nitrogênio (Souza; Souza, 2011). Já a cobertura plástica consiste na aplicação de filmes

sobre o solo, auxiliando na retenção de umidade, redução de variação térmica e controle de ervas daninhas. A cor do plástico pode influenciar o microclima em torno das plantas, beneficiando o crescimento e a produção. Em cultivos como o de hortaliças, essas coberturas são especialmente úteis para manter a qualidade e a eficiência da irrigação (Silva, 2018).

6.4 Rotação de culturas

A rotação de culturas em sistemas irrigados proporciona melhorias significativas na estrutura e nas propriedades do solo, além de favorecer o desenvolvimento do sistema radicular das culturas agrícolas, como por exemplo o feijão. A prática de alternar culturas reduz a compactação e melhora a aeração do solo, essencial em sistemas irrigados onde o uso constante de água pode levar ao aumento da densidade do solo e limitar o crescimento das raízes (Wutke, 2000).

No caso do feijoeiro irrigado, a rotação com culturas que possuem sistemas radiculares profundos e eficientes na extração de nutrientes, como milho ou sorgo, contribui para a maior penetração das raízes e facilita a absorção de água e nutrientes. Esse tipo de rotação ajuda a manter a fertilidade do solo, pois evita a exaustão de nutrientes específicos, além de reduzir a ocorrência de pragas e doenças que se acumulam em monocultivos (Negash *et al.*, 2018). Além disso, o artigo destaca que a rotação de culturas promove uma distribuição mais uniforme dos nutrientes no perfil do solo, essencial para a sustentabilidade do sistema irrigado e para a saúde geral das plantas (Sainju *et al.*, 2019).

7. SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO (SSD)

Os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) para o manejo da irrigação são ferramentas cruciais que ajudam os agricultores a decidir o momento e a quantidade de água a aplicar, com base em dados precisos e análises aprofundadas. Esses sistemas integram informações climáticas, do solo e da planta para otimizar as recomendações de irrigação, promovendo a eficiência no uso da água e melhorando a produtividade agrícola.

7.1 Softwares de SSD

Entre os softwares mais usados, o IRRIGER, da Embrapa, calcula as necessidades de irrigação com base em dados de evapotranspiração, armazenamento de água e demandas das culturas, sendo compatível com estações meteorológicas automáticas (Teixeira *et al.*, 2013). Da mesma instituição, o SISDA2 foca em sistemas de pivô central, ajustando o manejo para culturas como milho, soja e algodão (Sousa, 2001).

O SWAP, desenvolvido pela Universidade de Wageningen, simula o movimento de água e calor no solo, o que facilita o planejamento agrícola em termos de sustentabilidade (Kroes *et al.*, 2000). Outro exemplo é o Hydrus, da Universidade da Califórnia, que simula o transporte de água e solutos no solo, útil em sistemas de irrigação complexos (Šimůnek *et al.*, 2016). Já o CropSyst permite gerenciar a irrigação com dados de crescimento, solo e clima, projetando rendimento e otimizando o uso de água (Stöckle *et al.*, 2003).

7.2 Aplicativos de SSD

Para controle em tempo real, o aplicativo IrriCheck monitora e ajusta a irrigação usando dados meteorológicos e sensores de umidade, sendo eficaz em grandes propriedades agrícolas (Annandale *et al.*, 2011). O HydroMind, focado em irrigação por gotejamento e pivô central, calcula necessidades hídricas específicas (Rahman; Nearing, 2020). O FieldNET combina automação e monitoramento remoto, permitindo ajustes em tempo real via dispositivo móvel (Sharma *Et Al.*, 2020). O NetIrrigate é especializado em pivô central, oferecendo alertas em tempo real sobre falhas, enquanto o IrrigaNet, desenvolvido no Brasil, usa dados climáticos para otimizar a irrigação em culturas como soja e milho (Maji; Ghosh, 2023).

7.3 Plataformas Online de SSD

Entre as plataformas online, o IrriSAT usa dados de satélites para calcular as necessidades de irrigação e monitorar a evapotranspiração das culturas (Montgomery *et al.*, 2015). O CropManage, da Universidade da Califórnia, oferece orientações em tempo real para irrigação e fertilização, ajustando-se com base em modelos de evapotranspiração e clima local (Cahn *et al.*, 2015). No Brasil, o AgriNET integra sensores

de solo e dados climáticos, monitorando a umidade e ajustando o manejo hídrico (Salimian Najafabadi; Sadeghi, 2022). A FAO desenvolveu o AquaCrop, que calcula o rendimento de culturas com base em dados climáticos e do solo, sendo essencial para regiões com escassez hídrica (Heng *et al.*, 2009).

7.4 Uso de Dados Meteorológicos nos SSD para Irrigação

O uso de dados meteorológicos é essencial para o cálculo da evapotranspiração (ETc), uma das variáveis mais importantes em SSD. A evapotranspiração representa a perda de água do solo e das plantas para a atmosfera e é calculada a partir de dados de temperatura, radiação solar, umidade e vento. O modelo FAO Penman-Monteith, utilizado em plataformas como o AquaCrop, depende dessas variáveis para estimar as necessidades de irrigação de forma precisa (Salman *et al.* 2021).

Além disso, muitos SSD utilizam monitoramento e previsão climática para ajustar as recomendações em tempo real. Sistemas como o IrriSAT e o CropManage combinam dados de satélites meteorológicos e clima local para monitorar a evapotranspiração e fornece recomendações personalizadas, considerando a demanda hídrica atual das culturas (Cahn *et al.*, 2015; Montgomery *et al.*, 2015).

7.5 Uso de Dados do Solo e da Planta

A integração é comum, permitindo que SSD como o HydroMind combinem dados meteorológicos e de umidade do solo, ajustando a irrigação de forma dinâmica e precisa (Rahman; Nearing, 2020). O uso desses dados melhora a precisão e reduz o desperdício de água, resultando em uma economia significativa e aumento de produtividade. Estudos indicam que sistemas como o IrriSAT podem reduzir o consumo de água em até 30%, sem comprometer a produtividade (Montgomery *et al.*, 2015).

Nos SSD, dados do solo, como umidade e capacidade de retenção de água, ajudam a ajustar a quantidade de água aplicada. Sensores como os do AgriNET fornecem dados em tempo real, enquanto sistemas como o Hydrus incorporam a textura do solo para simular a movimentação de água e nutrientes (Šimůnek *et al.*, 2016). O CropManage utiliza a capacidade de troca catiônica (CTC) para ajustar irrigação e fertirrigação (Cahn *et al.*, 2015).

Em relação às plantas, coeficientes de cultivo (K_c), usados por plataformas como o AquaCrop, garantem a aplicação da quantidade exata de água para cada fase de crescimento (Salman *et al*, 2021). Sistemas como o FieldNET monitoram sinais de estresse hídrico para evitar danos e desperdícios de água (Sharma et al., 2020).

Referências Bibliográficas

- AHMED, Z. *et al.* An overview of smart irrigation management for improving water productivity under climate change in drylands. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 342, 2023.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; COELHO, E. A. **Planilha para obtenção de coeficiente de cultura (Kc) para culturas de ciclo anual, segundo método FAO, para as condições climáticas brasileiras**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228371/1/COT-254-Planilha-obtencao-coeficiente-de-cultura.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, D. P. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 32 p. (Circular Técnica, 136). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/865592/1/Circ136.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2025.
- ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 2 jan. 2025.
- ANNANDALE, J. G. *et al.* Irrigation scheduling research: South African experiences and future prospects. **Water SA**, v. 37, n. 5, p. 751-764, 2011.
- BHATTACHARYA, A. K.; MICHAEL, A. M. **Land drainage: principles, methods and applications**. Nova Délhi: Vikas Publishing House, 2006. 780p.
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. New York: Springer, 2008. 617p.
- BORGES, A. L. *et al.* **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. 179 p.
- BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. *et al.* (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 253-264. 2011.
- BRANCO, R. B. *et al.* Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 75-80, 2010.
- BWAMBALE, E. *et al.* Model-based smart irrigation control strategy and its effect on water use efficiency in tomato production. **Cogent Engineering**, v. 10, 2023.
- CAHN, M. *et al.* CropManage: An online decision support tool for irrigation and nutrient management. In: **Proceedings of the Western Nutrient Management Conference**, Reno, NV, US, p. 5-6, mar. 2015.
- CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. E. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos**. Brasília: Embrapa Hortaliças, dezembro, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/->

/publicacao/779586/sistema-irrigas-para-manejo-de-irrigacao-fundamentos-aplicacoes-e-desenvolvimentos. Acesso em: 16 out. 2024.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2006. 8 p. (Circular Técnica, 65).

COUTINHO, E. R. *et al.* Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) diária para regiões dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 649–657, 2020.

EZLIT, Y. D. *et al.* **A review of salinity and sodicity in irrigation**. University of Southern Queensland. 2010. 59p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Fertility Management of Tropical Acid Soils for Sustainable Crop Production. In: Rengel, Z., Ed., **Handbook of Soil Acidity**, Marcel Dekker, Inc., New York, 359-385, 2003.

GONÇALVES, M. V. M. *et al.* **Fertirrigação de milho (Zea mays L.) com água residuária de suinocultura e piscicultura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, Goiás. 2021.

GOULD, W. D. *et al.* Urea Transformations and Fertilizer Efficiency in Soil. **In Advances in agronomy**, p. 209, 1986.

GUTIERRES, M. I. A.; NEVES, E. A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 35, 2021.

HASSAN, E. S. *et al.* Enhancing smart irrigation efficiency: a new WSN-based localization method for water conservation. **Water**, v. 16, n. 5, p. 672, 2024.

HAUER-JÁKLI, M.; TRÄNKNER, M. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: a systematic review and meta-analysis from 70 years of research. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 766, 2019.

HENG, L. K. *et al.* Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 488-498, 2009.

JUNIOR, A. S. A. *et al.* Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v. 25, n. 1, p. 181–190, 2017.

KAMIENSKI, C., VISOLI, M. C. **Swamp**: uma plataforma para irrigação de precisão baseada na Internet das Coisas. 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1105001/swamp-uma-plataforma-para-irrigacao-de-precisao-baseada-na-internet-das-coisas> > Acessado em: 18 out. 2024.

KROES, J. G. *et al.* Integrated modelling of the soil-water-atmosphere-plant system using the model SWAP 2.0: an overview of theory and an application. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 11-12, p. 1993-2002, 2000.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal (Online)**, p. 1-7, 2012.

MAJI, R.; GHOSH, K. IrrigaNet: Bridging IoT and Farming for Realtime Smart Irrigation Control. **International Journal of Power Electronics Controllers and Converters**, v. 9, n. 1, p. 8-12, 2023.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam: Academic Press, 2011.

MEDEIROS, R. F. *et al.* Crescimento inicial do tomateiro-cereja sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 505-511, 2011.

MELO, G. L. *et al.* Ocorrências e controle de salinidade no uso de um sistema de irrigação localizada. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 2, p. 1-12, 2022.

MONTGOMERY, J. *et al.* IrriSAT—Weather based scheduling and benchmarking technology. In: **Proceedings of the 17th ASA Conference**, Hobart, Australia, p. 20-24. 2015.

NEGASH, F. *et al.* Effect of cropping sequence on agricultural crops: implications for productivity and utilization of natural resources. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2018.

OLIVEIRA, F. N. S. *et al.* **Influência da cobertura morta no desenvolvimento de fruteiras tropicais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2002. 24p.

PÁDUA, T. R. P. *et al.* **Proteção do solo com cobertura plástica no cultivo irrigado do abacaxi "Pérola" e "BRS Imperial", em sistema orgânico de produção**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2021. 9p.

PINTO, J. M. *et al.* **Aplicação de fertilizantes e produtos químicos via água de irrigação**. Brasília: Embrapa. 2015

RAHMAN, M.; NEARING, G. S. HydroMind—An Interactive AI-aided Tool for Hydrology Literature. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**, v. 2020, p. IN030-05, dez. 2020.

SAINJU, U. M. *et al.* **Nitrogen Fertilization II: Management Practices to Sustain Crop Production and Soil and Environmental Quality**. In IntechOpen eBooks. IntechOpen, 2019.

SALIMIAN NAJAFABADI, F.; SADEGHI, M. T. AgriNet: a New Classifying Convolutional Neural Network for Detecting Agricultural Products' Diseases. **Journal of AI and Data Mining**, v. 10, n. 2, p. 285-302, 2022.

SALMAN, M. *et al.* **The AquaCrop model-Enhancing crop water productivity: Ten years of development, dissemination and implementation.** v. 47. Rome: Food & Agriculture Organization, 2021. 74 p.

SHAH, S. H. *et al.* Sulphur as a dynamic mineral element for plants: A review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 2118-2143, 2022.

SHARMA, N. R. *et al.* Towards a mobile app technology-enabled sustainable agriculture in India. **Plant Archives**, v. 20, n. 2, p. 3065-3071, 2020.

SHILPHA, J. *et al.* Ammonium phytotoxicity and tolerance: an insight into ammonium nutrition to improve crop productivity. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1487, 2023.

SILVA A. O. *et al.*; Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51. 2020.

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 180-186, 2014.

SILVA, A. T. **Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos.** 2004. 52 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2004.

SILVA, D. J.; BORGES, A. L. Fertilizantes para fertirrigação. In: BORGES, A. L.; SILVA, D. J. (Eds.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2009. p. 20-36.

SILVA, D. J.; SOARES, J. M. Fertirrigação. In: SOARES, J. M.; SOUZA LEÃO, P. C. **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**, Brasília, Brasil: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, H. Y. C. D. M. **Uso de diferentes lâminas de irrigação e coberturas de solo na cultura do coentro.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas. 2018

SILVA, V. J. D. **A cor da cobertura plástica do solo favorece o crescimento vegetativo, a produção e a qualidade de minitomates?.** 2018. 149 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal De Uberlândia, Minas Gerais. 2018

ŠIMŮNEK, J.; VAN GENUCHTEN, M. T.; ŠEJNA, M. Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. **Vadose Zone Journal**, v. 15, n. 7, p. 01-25, 2016.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, M. B. A. D. **Análise técnica de sistemas de irrigação por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada do Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia.** 2001. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2018.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. **Benefícios das coberturas vegetais para melhorar a sustentabilidade do mamoeiro.** 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/910117/1/BeneficioscoberturasP43Laercio.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

STÖCKLE, C. O. *et al.* CropSyst, a cropping systems simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 289-307, 2003.

TEIXEIRA, L. A. J. *et al.* Nitrogênio e potássio via fertirrigação e adubação convencional: estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 153-160, 2007.

TEIXEIRA, M. B. *et al.* Consumo hídrico e energético da irrigação de café no Triângulo Mineiro e Oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 2, 2013.

VENANCIO, L. P. *et al.* Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura. **Irriga**, v. 24, n. 4, p. 719-746, 2019.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 2, 2013.

VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T.; FERNANDES, D.M. Fertilizantes em fertirrigação. In: Folegatti, M.V. (Ed). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliça**. Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária, 1999. p.293-319.

WUTKE, E. B. *et al.* Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 621-633, 2000.

ZHU, Z. *et al.* Treating fermentative residues as liquid fertilizer and its efficacy on the tomato growth. **Scientia Horticulturae**, v. 164, p. 492-498, 2013.

CAPÍTULO 4

IRRIGAÇÃO E AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO: UM ELO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Gilcimar de Carvalho Ferreira

Marcus Richard Marreiros Macedo

Isaac Matheus de Sousa Lino

Vitória Janne Gomes Mendes

Ellen da Silva Melo

Carla Michelle da Silva

O semiárido brasileiro enfrenta grandes desafios relacionados à disponibilidade e ao acesso à água, problemas que são agravados por fatores como a poluição por lixo e os efeitos das mudanças climáticas (Queiroz *et al.*, 2019). Apesar dessas dificuldades, a região possui recursos hídricos consideráveis, embora distribuídos de forma desigual (Gomes; Heller, 2016). Para enfrentar essa realidade, o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido tem se destacado como uma iniciativa fundamental, promovendo o desenvolvimento sustentável e incentivando práticas adaptadas à realidade local, com o objetivo de melhorar as condições de vida das populações (Duqué *et al.*, 2012).

Nesse contexto, a segurança hídrica está diretamente ligada à agricultura familiar, que é um dos pilares do desenvolvimento sustentável na região. Quando aliada a práticas de manejo eficientes e políticas públicas direcionadas, essa relação pode transformar significativamente a vida das famílias agricultoras, garantindo segurança alimentar, aumentando a geração de renda e promovendo a preservação ambiental. A adoção de tecnologias inovadoras, juntamente com o suporte governamental adequado, é

fundamental para consolidar esses sistemas agrícolas como exemplos de sustentabilidade (Diao *et al.*, 2023).

Entretanto, o semiárido é um ambiente naturalmente desafiador para a agricultura, caracterizado por longos períodos de seca e baixa disponibilidade de água. Mesmo diante dessas adversidades, a agricultura familiar mantém um papel essencial na economia e no tecido social da região (Alvalá *et al.*, 2017). Para que os pequenos agricultores consigam superar esses obstáculos, o monitoramento eficaz e a gestão adequada da seca são imprescindíveis, pois ajudam a minimizar os impactos negativos da escassez hídrica na produção agrícola e a garantir a segurança alimentar das famílias (Pérez-Marin *et al.*, 2017).

Além disso, a dependência das práticas agrícolas baseadas na chuva torna os pequenos agricultores ainda mais vulneráveis às variações climáticas. Por isso, o monitoramento das secas e a análise dos dados hidrológicos são ferramentas essenciais para identificar as áreas mais afetadas e desenvolver soluções específicas que apoiem esses agricultores, promovendo maior resiliência e sustentabilidade no campo (Álvala *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, esse desafio tem atraído a atenção de diversos setores, como ambientalistas, hidrólogos, meteorologistas, agrônomos e formuladores de políticas públicas. O avanço das técnicas de monitoramento das secas e a análise de indicadores de estresse hídrico têm fornecido informações valiosas, que auxiliam os agricultores familiares a enfrentar os desafios climáticos da região. Essas iniciativas são fundamentais para garantir a sustentabilidade das práticas agrícolas, permitindo uma adaptação mais eficaz às condições adversas e fortalecendo a resiliência das comunidades rurais (Simões *et al.*, 2010).

Dessa forma, a integração entre políticas públicas, inovação tecnológica e mobilização social torna-se essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. Somente por meio dessa abordagem integrada será possível superar os desafios impostos pela escassez de água e promover o desenvolvimento sustentável da região, assegurando melhores condições de vida para suas populações.

1. IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO

1.1 Geração de Renda

A região semiárida brasileira, conhecida por suas características climáticas e ambientais específicas, é o cenário de uma dinâmica paisagem agrícola, onde a agricultura familiar tem papel fundamental na geração de renda e no apoio às comunidades locais (Landau *et al.*, 2013). Com temperaturas elevadas e precipitações escassas, essa área enfrenta grandes desafios para a agricultura, o que resulta em deficiências nutricionais e redução no produto (Braga *et al.*, 2018)

Apesar das adversidades, os agricultores familiares do semiárido desenvolveram estratégias inovadoras para se adaptar e prosperar. Entre essas estratégias, destaca-se o uso de culturas resistentes à seca, como as novas cultivares de sorgo, que têm apresentado melhores rendimentos e valor nutricional sob as condições áridas da região (Neves *et al.*, 2015). Ademais, embora os sistemas agrícolas familiares da região apresentem produtividade limitada, eles possuem grande importância econômica e social, contribuindo significativamente para a fixação e sustentação das comunidades rurais (Alvalá *et al.*, 2017).

Os impactos da seca sobre esses sistemas agrícolas são inegáveis. Nas últimas décadas, secas frequentes e intensas provocaram danos significativos nos aspectos agrícola, social, econômico e ambiental, evidenciando a necessidade de iniciativas amplas de monitoramento e mitigação (Braga *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2020; Alvalá *et al.*, 2017). Pesquisadores têm avançado no desenvolvimento de metodologias para monitorar o impacto das secas agrícolas, oferecendo dados essenciais para ações emergenciais e fundamentando decisões políticas que visam apoiar os agricultores familiares no semiárido.

1.2 Segurança Alimentar

A insegurança alimentar é um importante problema social e de saúde pública em todo o mundo (Palmeira, 2020). De acordo com as últimas estimativas, 9,2% da população mundial (um pouco mais de 700 milhões de pessoas) foi exposta a graves níveis de insegurança alimentar em 2018 (FAO, 2019). A alta taxa de insegurança alimentar

mundial tem sido atribuída aos seguintes fatores: pobreza, injustiça social, instabilidade política, conflitos armados, desaceleração do crescimento econômico, sistemas alimentares insustentáveis e insalubres e mudanças climáticas adversas (FAO, 2018).

No Brasil, foi diagnosticado que 22,6% da população brasileira (\pm 50 milhões de pessoas) vive com algum nível de insegurança alimentar e a maior parte está localizada na região Nordeste do País (38,1%), seguido do Norte (36,1%), Centro-Oeste (18,2%), Sul (14,9%) e Sudeste (14,5%) (IBGE, 2013). Cabe registrar que incidência da fome, manifestação mais grave da insegurança alimentar, diminuiu na última década devido ao aumento da produção de alimentos. Porém, recentemente, a fome voltou a aumentar, afetando 815 milhões de pessoas em 2016 (Pereira *et al.*, 2018).

A alimentação no semiárido brasileiro, especialmente para as famílias de agricultores, enfrenta desafios contínuos devido às condições climáticas adversas, à escassez de água e às limitações de infraestrutura. Pesquisas recentes destacam que a agricultura familiar é fundamental para a segurança alimentar, uma vez que contribui de forma significativa para o abastecimento local de alimentos, ao mesmo tempo em que gera renda e sustentação nas comunidades rurais (Medeiros *et al.*, 2023). No entanto, a ausência de políticas de apoio e de tecnologias relacionadas ao contexto semiárido dificulta que essas famílias mantenham uma produção agrícola.

Além disso, o fortalecimento das cooperativas e das organizações de apoio à agricultura familiar tem desempenhado um papel essencial na promoção da segurança alimentar. Essas entidades facilitam o acesso a recursos, tecnologias e capacitações, proporcionando um ambiente mais seguro tanto para a produção de alimentos quanto para a geração de renda (Silva; Santos, 2018).

1.3 Aspectos Socioeconômicos

Nos últimos anos, os principais eixos de dinamização da economia no semiárido têm avançado em amplitude e alcance, gerando transformações significativas na estrutura socioeconômica da região. Essas mudanças prometem impactar de forma expressiva a pobreza rural e favorecer a superação dos profundos déficits sociais que caracterizam as múltiplas faces da pobreza no semiárido. Antes de abordar esses eixos e as políticas de combate à pobreza rural, é oportuno apresentar as características estruturais atuais da economia do Semiárido Brasileiro.

Em 2010, o Semiárido Brasileiro contava com uma população de 21,7 milhões de pessoas, representando 11,4% da população nacional, com uma densidade demográfica de 24,2 habitantes por km² e uma população rural de 13,5 milhões de pessoas. A taxa de urbanização era de 62% (IBGE, 2010). A elevada densidade populacional para uma região semiárida (Ab'Saber, 1999) exerce forte pressão sobre os recursos naturais, contribuindo para a degradação da Caatinga e o avanço do processo de desertificação, que afeta quase metade do território do Semiárido Brasileiro (MMA, 2011).

O setor agropecuário continua sendo a base da sociedade rural e a principal atividade econômica na maioria dos pequenos municípios da região. Em 2006, o Censo Agropecuário registrou aproximadamente 1,7 milhão de estabelecimentos rurais no Semiárido, ocupando uma área de 49,4 milhões de hectares, dos quais 450 mil possuíam menos de 2 hectares e outros 560 mil tinham entre 2 e 5 hectares. Isso indica que um milhão de estabelecimentos são minifúndios, unidades cujo tamanho é insuficiente para garantir, nas condições do Semiárido, uma sustentabilidade ampla. Mesmo assim, esses estabelecimentos foram responsáveis por 31% do valor total da produção agrícola da região. Em contrapartida, 40 mil propriedades com mais de 200 hectares responderam por 14% do valor da produção (IBGE, 2006).

1.4 Cultura e Tradição

Sabe-se que a região semiárida brasileira, marcada por um clima rigoroso e condições ambientais desafiadoras, desenvolveu uma cultura única e resiliente entre seus habitantes. No centro dessa cultura encontra-se a prática da segurança, essencial para a sustentação das atividades agrícolas e a preservação dos modos de vida tradicionais.

A integração de estratégias de gestão da água com o ecossistema local é um dos principais aspectos da irrigação no semiárido brasileiro. Com o aumento da frequência e intensidade das secas na região, a adoção de práticas inovadoras para conservação e manejo da água tornou-se cada vez mais necessária (Alvalá *et al.*, 2017). Iniciativas como o desenvolvimento de poços mais profundos em áreas sedimentares, a redução da evaporação e o controle da salinização têm sido fundamentais para assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos (Cirilo, 2008).

Dias *et al.* (2012) ressaltam que a criação de caprinos e ovinos é uma atividade comum nas pequenas propriedades do semiárido brasileiro. Eles destacam o manejo da

engorda desses animais e a produção agrícola com o uso de água salina reciclada, por meio da implementação de um sistema de produção racional, economicamente viável, ambientalmente sustentável e de fácil implantação. Nesse contexto, é fundamental a escolha de culturas mais tolerantes à salinidade e adaptadas à região, como o sorgo forrageiro, o sorgo granífero, a beterraba e a erva-sal.

No entanto, a vulnerabilidade do ambiente semiárido e as mudanças no uso da terra representam desafios importantes para a sustentabilidade das práticas tradicionais de segurança. A introdução de técnicas de perfuração de poços profundos e da infraestrutura regional de abastecimento de água encanada, embora representem avanços tecnológicos importantes para a ampliação do acesso à água, frequentemente resultou em uma negligência aos sistemas tradicionais de captação de água da chuva. Esses sistemas, como cisternas e barragens subterrâneas, têm raízes na herança cultural do semiárido e foram desenvolvidos ao longo de gerações para lidar com as características climáticas adversas da região, como a irregularidade das chuvas e os longos períodos de estiagem (Cirilo, 2008).

Desta forma, preservar o equilíbrio cultural e ecológico da região semiárida, é crucial integrar práticas tradicionais de gestão de água com abordagens modernas de gestão de recursos hídricos. Políticas que promovam o uso sustentável da água, da terra e da vegetação podem ajudar a garantir a viabilidade contínua das comunidades agrícolas da região e a preservação de sua identidade cultural.

1.5 Fixação do Homem no Campo

A fixação do homem no semiárido brasileiro é um tema profundamente ligado a questões socioeconômicas, culturais e ambientais. Para garantir que as populações locais permaneçam na região, é fundamental fortalecer a agricultura familiar, promover políticas públicas de segurança hídrica e estimular práticas agrícolas adaptadas

Um estudo indica que o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido tem realizado suas metas na construção de estruturas físicas, mas ainda enfrenta desafios quanto à oferta adequada de água em quantidade e qualidade. Dessa forma, as políticas públicas de abastecimento de água no meio rural do semiárido integram aspectos técnicos com elementos de gestão, levando em conta as particularidades, climáticas e econômicas da região social (Gomes; Heller, 2016).

Além disso, a Articulação do Semiárido promove o princípio da "convivência com a seca", contrapondo-se ao paradigma tradicional da "luta contra a seca". Essa abordagem visa resgatar e divulgar práticas originadas do conhecimento popular, enriquecidas pelo diálogo com o saber científico, propondo, assim, um modelo diferenciado de políticas públicas para a região (Queiroz *et al.*, 2019; Duqué, 2008).

2. TECNOLOGIAS SOCIAIS E PRODUTIVAS PARA A AGRICULTURA FAMILIAR

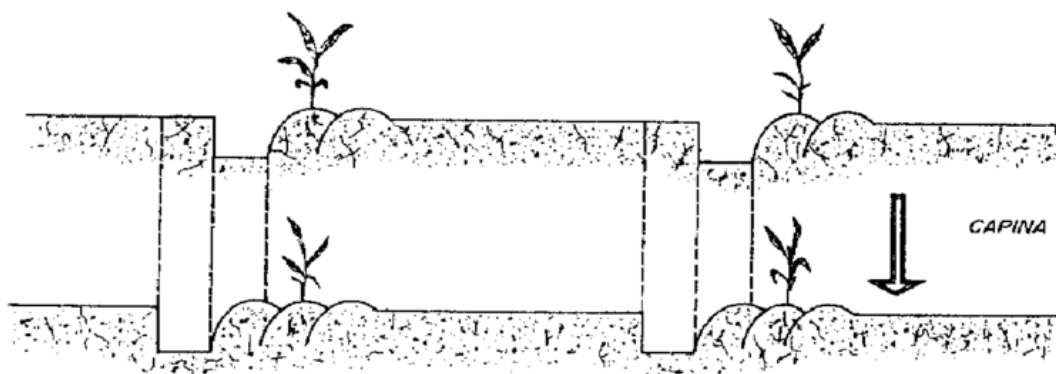
2.1 Sistemas de Captação e Armazenamento de Água

As regiões semiáridas ao redor do mundo enfrentam grandes desafios para a produção agrícola devido à escassez de água. Contudo, abordagens inovadoras, que integram tecnologias sociais e produtivas, têm o potencial de auxiliar pequenos agricultores nessas áreas, promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e elevando os rendimentos agrícolas.

Uma dessas abordagens é a coleta de água da chuva, que consiste em capturar e armazenar a água das precipitações para uso posterior na agricultura. Essa prática se mostra especialmente apropriada para o contexto semiárido, devido à sua simplicidade, adaptabilidade, facilidade de replicação e baixos custos de implantação e manutenção. As técnicas de captação de água da chuva contribuem para aumentar a eficiência do uso da água, aliviar o estresse hídrico das culturas e melhorar suas taxas de sobrevivência (Tamagnone *et al.*, 2020)

A coleta de água da chuva *in situ*, onde a água é retida e armazenada no local onde precipita, pode ser uma estratégia eficaz para aumentar o armazenamento de água no perfil do solo (Figura 1). Esse método é especialmente vantajoso em áreas onde a precipitação é esporádica e imprevisível. Comunidades indígenas em regiões semiáridas desenvolveram sistemas tradicionais de coleta de água que se mostraram sustentáveis ao longo dos séculos, alinhando-se com os modos de vida, instituições e estruturas sociais locais (Mbilinyi *et al.*, 2005).

Figura 1. Sistema Guimarães Duque segundo Silva *et al* (1982).



Fonte: Silva et al (1982).

Sabe-se que o semiárido brasileiro é caracterizado por um ambiente natural vulnerável, com extremos climáticos e cursos d'água intermitentes, o que representa grandes desafios para a gestão de recursos hídricos (Júnior; Montenegro, 2019). Historicamente, a região tem se apoiado em pequenos reservatórios superficiais e poços rasos, frequentemente insuficientes para atender à demanda hídrica da população. Para enfrentar esses desafios, têm sido explorados sistemas alternativos de captação e armazenamento de água, como cisternas (captação de água da chuva), barragens subterrâneas e pequenas barragens (Cirilo, 2008).

As cisternas, ou sistemas de captação de água da chuva, são uma técnica amplamente difundida na região. Esses sistemas captam e armazenam a água das chuvas, geralmente a partir de telhados, oferecendo uma fonte descentralizada e econômica de abastecimento hídrico. Da mesma forma, as barragens subterrâneas são construídas para captar e armazenar água no subsolo, o que minimiza a evaporação e a salinização. Pequenas represas, ou barragens de menor porte, também desempenham um papel importante na captação e armazenamento de água, auxiliando na regulação da disponibilidade hídrica regional (Cirilo, 2008).

A construção de barragens tem sido um componente central das políticas públicas voltadas para o enfrentamento da escassez hídrica na região semiárida. No entanto, a gestão sustentável desses recursos hídricos continua sendo um desafio significativo, pois o frágil ambiente natural da região semiárida exige um equilíbrio delicado entre desenvolvimento e preservação (Júnior; Montenegro, 2019). Alternativas às técnicas tradicionais de armazenamento de água, como poços mais profundos em áreas sedimentares e métodos para redução da evaporação e controle da salinização, também

têm sido exploradas como parte de uma abordagem mais abrangente para a gestão da água na região (Cirilo, 2008).

2.2 Práticas Agroecológicas

Durante muito tempo, acreditou-se que o semiárido era uma região marcada pelo atraso, pela escassez de água e pela fome, o que fundamentou uma série de políticas e programas de baixa efetividade. Um exemplo clássico dos equívocos gerados por essa visão foram as campanhas de "combate à seca", nas quais se pensava que o envio de carros-pipa resolveria todas as dificuldades dos sertanejos. No entanto, essa abordagem ignorava que as condições edafoclimáticas não se alteram rapidamente e que, ao longo de suas vidas, essas populações desenvolveram formas próprias de convivência e adaptação a esses fenômenos (Schistek, 2013)

O semiárido brasileiro, por não apresentar características compatíveis com o modelo produtivo promovido pela modernização agrícola, permaneceu à margem do planejamento central, recebendo apenas iniciativas focadas em campanhas de combate à seca. Contudo, apesar de todas as adversidades, a produção na região resistiu, sustentada principalmente pelos saberes tradicionais dos agricultores, que utilizavam esses conhecimentos como base para sua produção e sobrevivência. Assim, a proposta de "convivência com o semiárido" representa uma abordagem mais atual, resultante de diálogos, participação social e do envolvimento de Organizações Não-Governamentais (ONGs) e movimentos sociais, que elaboraram estratégias baseadas na experiência e nas práticas dos agricultores familiares (Campelo, 2013)

Observa-se que, ao se contrapor aos princípios do desenvolvimento rural de base capitalista, a prática agroecológica no semiárido resgata, na agricultura familiar, estratégias voltadas para uma produção saudável, promovendo solidariedade, equidade de gênero, segurança alimentar, entre outros elementos essenciais. Assim, a agroecologia sempre esteve presente no semiárido brasileiro, fortalecendo esses valores no território (Maronhas, 2020).

Destaca-se que a agroecologia emprega diversos mecanismos de convivência com a seca, como o cultivo de espécies adaptadas às condições locais – uma prática comum e eficaz para enfrentar as limitações hídricas do semiárido, permitindo que a população suporte os longos períodos de estiagem. Outra estratégia essencial é a educação ambiental

da comunidade. Por meio de projetos, intercâmbios e oficinas, abordam-se soluções para problemas como a infertilidade do solo, além de técnicas de captação e reaproveitamento da água, representando tecnologias sociais que facilitam a vida no campo (Facundo et al., 2020).

Através da agroecologia, pode-se pensar e implementar ações práticas de técnicas de convivência com o semiárido, como possibilidade de desenvolvimento sustentável que se alicerça na agricultura familiar em todo o país. A agricultura familiar se alinha aos princípios da agroecologia ao adotar práticas de manejo baseadas em saberes ancestrais, priorizando a preservação da biodiversidade e evitando o uso de agrotóxicos. Essa abordagem valoriza a segurança alimentar e assegura que alimentos saudáveis cheguem à mesa da população. Além de evitar os agrotóxicos, a agroecologia promove o aproveitamento da matéria orgânica, fundamental para a conservação do solo, reduzindo ou eliminando a necessidade de fertilizantes convencionais (Altieri, 2012)

A agroecologia, portanto, permite a construção de caminhos mais sustentáveis para a gestão dos recursos naturais. Essa ciência “oferece uma série de princípios, conceitos e metodologias para estudar, analisar, orientar, projetar e avaliar agroecossistemas, com o objetivo de possibilitar a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura que alcancem níveis mais altos de sustentabilidade em curto, médio e longo prazos” (Altieri, 2012).

2.3 Organização Social

Chayanov (2017) destaca a importância do cooperativismo para conceber formas sociais de organização democrática da produção agroalimentar. Nesse contexto, Wanderley (2009b) destaca a perspectiva de Chayanov, segundo a qual o processo de autocoletivização possibilitaria ao campesinato buscar maior controle sobre as dinâmicas econômicas. Wanderley (2009b, p. 145) ressalta ainda que, por meio da cooperação, Chayanov “pretendia, de fato, propor a constituição de uma nova estrutura social”.

Esses empreendimentos econômicos tendem a ser administrados pelas agricultoras e pelos agricultores familiares de maneira a caracterizar uma forma de gestão autônoma e democrática. Desenvolvem-se, assim, práticas de autogestão com enfoque no bem-estar das pessoas a partir de suas racionalidades, sem uma orientação exclusiva pela maximização do lucro (Faria; Faria, 2006; Roesler, 2009; Singer, 2002).

A respeito disso, Abramovay (1992), Bourdieu; Sayad (2006), Chayanov (2017), Mendras (1984), Wanderley (2003), entre outros pesquisadores das sociedades rurais, expõem que não são estranhos às famílias agricultoras a gestão e o controle das diversas atividades desempenhadas na sua unidade produtiva ou nas associações e nas cooperativas. Assim, a agricultora gestora e o agricultor gestor continuam aprendendo e se adaptando diante das exigências da sociedade contemporânea. Dessa forma, passam a desempenhar mais esse papel e se apropriam de técnicas para realizar os registros contábeis, integrando-as às suas atividades cotidianas

Assim, a autonomia camponesa passa a depender da habilidade de organizar o processo produtivo, o que envolve a capacidade de desempenhar múltiplas atividades e exercer diferentes tarefas de controle sobre os instrumentos de trabalho e os meios de produção (Wanderley, 2010).

3. COMERCIALIZAÇÃO E AGREGAÇÃO DE VALOR NA AGRICULTURA FAMILIAR

3.1 Cooperativas

A região semiárida do Brasil enfrenta inúmeros desafios, incluindo acesso limitado a recursos, condições climáticas extremas e disparidades econômicas. Nesse contexto, as cooperativas surgiram como uma ferramenta vital para abordar essas questões e promover o desenvolvimento sustentável.

Uma das principais funções das cooperativas na região semiárida brasileira é sua capacidade de melhorar a produtividade agrícola e a segurança alimentar. A região é caracterizada por baixa pluviosidade e recursos escassos, o que pode limitar severamente as atividades agrícolas e levar a deficiências nutricionais. As cooperativas têm desempenhado um papel crucial no enfrentamento desses desafios, fornecendo acesso a ração de alta qualidade e baixo custo e outros insumos agrícolas, bem como facilitando a comercialização e distribuição de produtos agrícolas (Braga *et al.*, 2018).

Além disso, as cooperativas têm sido instrumentais na diversificação da economia local e na criação de novos fluxos de renda para comunidades rurais. Elas investiram em agroindústrias, expandiram suas operações e modernizaram suas instalações, contribuindo para o desenvolvimento econômico geral da região (Braga *et al.*, 2018).

Um exemplo de trabalho sustentável é a Cooperativa Carnaúba Viva, localizada no município de Assú, uma associação voltada à promoção humana por meio do desenvolvimento de atividades ambientais e culturais. A cooperativa tem como objetivo ser um instrumento de inclusão social, resgatando os valores culturais e artísticos da região onde atua e promovendo trabalho e renda por meio de um desenvolvimento sustentável. Além disso, incentiva a promoção da saúde e do lazer, desperta o interesse pela preservação ambiental e promove valores éticos, solidários e associativos (Sampaio; Sampaio, 1999).

Apesar da importância estratégica do semiárido para o Brasil, pouco tem sido feito em termos de políticas públicas que promovam o conhecimento sobre o potencial da região, visando seu desenvolvimento científico, tecnológico e sustentável. É fundamental que nossos representantes criem e implementem políticas públicas que beneficiem toda a população do semiárido, possibilitando que esta encontre na vegetação típica da caatinga alternativas para a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico de uma região tão afetada pela escassez de chuvas. Além disso, é essencial que essas políticas incentivem a conscientização sobre a preservação da vegetação, evitando desequilíbrios ecológicos no ecossistema (Sampaio; Sampaio, 1999).

3.2 Mercados Institucionais e Mercados Locais

A região semiárida brasileira tem passado por mudanças significativas em sua paisagem agrícola nas últimas décadas. A modernização da agricultura, impulsionada por políticas estatais e capital privado, levou ao aumento da produtividade e especialização em certas áreas. No entanto, esse processo também resultou em disparidades entre regiões e produtores, com pequenos agricultores muitas vezes lutando para permanecer competitivos (Alves *et al.*, 2018)

Um aspecto fundamental dessa transformação é o papel dos mercados institucionais e locais na região. Os mercados institucionais, como programas de compras governamentais, têm o potencial de fornecer uma saída estável para pequenos produtores, garantindo uma fonte confiável de renda e apoiando a segurança alimentar local (Matos; Pessôa, 2011). Ao mesmo tempo, os mercados locais, onde os agricultores podem vender seus produtos diretamente aos consumidores, oferecem uma alternativa às cadeias de

suprimentos de supermercados dominantes, que podem ser desafiadoras para pequenos produtores acessarem (Lima-Filho *et al.*, 2012).

A importância desses mercados é destacada por estudos que examinaram os desafios enfrentados por pequenos agricultores na região. Esses estudos indicam que, embora pequenos produtores possam fornecer um volume e variedade consistentes de frutas e vegetais frescos, eles frequentemente lutam para atender às demandas de grandes compradores de supermercados em termos de qualidade, quantidade e confiabilidade do fornecimento. Isso ressalta a necessidade de canais de mercado alternativos que possam acomodar melhor as características e restrições da agricultura de pequena escala (Schneider, 2017).

3.3 Processamento e Beneficiamento de Produtos

A região semiárida brasileira é caracterizada por um clima desafiador, com altas temperaturas e escassez de chuvas, o que limita significativamente as atividades agrícolas e leva a deficiências nutricionais que comprometem a produção animal. Para enfrentar esses desafios, pesquisadores identificaram culturas com eficiência hídrica e examinaram as características agronômicas, a qualidade da silagem, a ingestão e a digestibilidade de várias cultivares de sorgo cultivadas na região. O fornecimento de proteína alimentar de boa qualidade, baixo custo e fornecimento regular que possa atender às necessidades dos ruminantes é um problema recorrente nesta área (Braga *et al.*, 2018).

Uma estratégia usada para melhorar a produção animal semiárida em áreas caracterizadas por baixos níveis de produtividade é o manejo alimentar adequado, especialmente durante as estações secas do ano (Braga *et al.*, 2018). Isso inclui o uso de fontes alternativas de alimentos, como silagem, feno e forragem de inverno, para mitigar a diminuição sazonal na disponibilidade e qualidade da pastagem. Além disso, pesquisadores exploraram o valor nutritivo e as características de fermentação da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de aditivos, pois esta é uma opção potencial de forragem para a região (Barcelos *et al.*, 2018).

A soja, *Glycine max* Merrill, é uma importante commodity no cenário agrícola brasileiro, e sua valorização está associada à sua composição química, em especial aos elevados teores de óleo e proteína. O processamento e a preservação da soja, como por meio da secagem, são cruciais para manter os atributos de qualidade do produto final. O

papel da tecnologia é fundamental no crescimento recente da agricultura brasileira, sendo o desenvolvimento de novas cultivares de soja pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária um exemplo bem-sucedido (Embrapa, 2020).

4. POLITICAS PUBLICAS PARA O FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR

4.1 Programa Nacional de fortalecimento da agricultura familiar

A Resolução BACEN nº 2.101/1994 criou o Programa de Valorização da Pequena Produção Rural (Provape), uma linha de crédito com juros de 4% ao ano e sem correção monetária, cujas informações podem ser consultadas no site do Banco Central do Brasil ou no Diário Oficial da União (Assunção; Chein, 2007). Embora o Provape tenha tido alcance limitado, em razão das exigências rigorosas impostas pelas instituições financeiras ao público-alvo, ele foi fundamental como precursor do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) (Wesz, 2010).

O Pronaf foi instituído pela Resolução nº 2.191/1995, com o objetivo de apoiar financeiramente as atividades agropecuárias que utilizam diretamente a força de trabalho do produtor e de sua família, conforme consta no Diário Oficial da União. No ano seguinte, o Decreto nº 1.946 consolidou o Pronaf como um programa governamental sob a supervisão do Ministério do Desenvolvimento Agrário, reforçando seu papel estratégico no desenvolvimento rural (Brasil, 1994).

Posteriormente, o Decreto nº 3.991/2001 ampliou o escopo do Pronaf, estabelecendo que o programa deve promover o desenvolvimento sustentável do meio rural, por meio de ações que aumentem a capacidade produtiva, gerem empregos e elevem a renda familiar (Wesz, 2010). Assim, o Pronaf busca melhorar a qualidade de vida e garantir o exercício da cidadania dos agricultores familiares, apoiando não apenas atividades agrícolas, mas também atividades não-agrícolas desenvolvidas por esses produtores. Essas diretrizes e demais informações oficiais estão disponíveis no site do Planalto (Stamm; Avelar, 2019).

Para acessar os financiamentos oferecidos pelo Pronaf, é imprescindível que o agricultor possua a Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) ativa ou o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF-Pronaf) válido. Conforme o Decreto nº 9.064/2017 e a Portaria MAPA nº 387/2021, a DAP deve ser emitida por agentes credenciados pelo

Ministério do Desenvolvimento Agrário, representando a unidade familiar de produção e abrangendo todos os membros que exploram a mesma área de terra. Essa declaração pode ser ajustada para refletir as características específicas dos beneficiários, com os textos legais disponíveis no site do Planalto (Brasil, 2017).

No que diz respeito à priorização das propostas de financiamento, a Resolução CMN nº 4.889 orienta as instituições financeiras a favorecerem projetos que promovam a produção agroecológica ou iniciativas de redução de gases de efeito estufa, bem como aqueles destinados a mulheres agricultoras e jovens produtores rurais. Essa diretriz reforça o compromisso do Pronaf com a sustentabilidade ambiental e a inclusão social no meio rural (Brasil, 2020).

A execução do Pronaf é realizada por meio de bancos públicos e privados, do BNDES e de cooperativas de crédito rural, garantindo ampla capilaridade e acesso aos recursos financeiros. No site oficial do Pronaf, o agricultor pode encontrar informações detalhadas sobre as operações de crédito, que permitem financiar desde a aquisição de insumos e sementes até o custeio de diversas atividades produtivas, como o cultivo de milho, arroz, feijão, olerícolas, ervas medicinais, produtos da sociobiodiversidade, sistemas agroecológicos e orgânicos, além da bovinocultura de leite, avicultura de postura, aquicultura, pesca, extrativismo sustentável, investimentos em moradias rurais, viveiros de mudas, turismo rural e artesanato (Fontoura *et al.*, 2022).

O Pronaf conta com diversas linhas de crédito específicas, cada uma voltada para atender necessidades distintas dos agricultores familiares. Entre elas, destacam-se:

- Pronaf Custeio: para financiar os custos relacionados às atividades agrícolas ou pecuárias (Souza-Esquerdo; Bergamasco, 2015);
- Pronaf Agroindústria: voltado a agricultores, produtores rurais e cooperativas para investimentos em beneficiamento, armazenamento, processamento e comercialização de produtos agrícolas, extrativistas, artesanais e florestais, além de apoiar o turismo rural (Souza *et al.*, 2021);
- Pronaf Mulher: exclusivo para mulheres agricultoras integrantes de unidades familiares enquadradas no Pronaf, independentemente do estado civil;
- Pronaf Agroecologia: destinado a investimentos em sistemas agroecológicos ou orgânicos, incluindo implantação e manutenção (GOV, 2024);

- Pronaf Bioeconomia: para tecnologias relacionadas à energia renovável, armazenamento hídrico, aproveitamento hidroenergético, silvicultura e práticas de conservação do solo (Godoi et al., 2016);
- Pronaf Mais Alimentos: que financia infraestrutura para aumentar a produtividade e a renda familiar (Resende; Mafra, 2016);
- Pronaf Jovem: para jovens agricultores entre 16 e 29 anos, com foco em investimentos produtivos (Resende; Mafra, 2016);
- Pronaf Microcrédito (Grupo "B"): voltado a famílias com renda bruta anual de até R\$ 50 mil (Souza-Esquerdo; Bergamasco, 2015);
- Pronaf Cotas-Partes: para a integralização de cotas em cooperativas de produção rural, aplicáveis em capital de giro, custeio, investimento ou saneamento financeiro (Souza-Esquerdo; Bergamasco, 2015).

Além dessas linhas, destaca-se o Pronaf Irrigação, que financia sistemas eficientes de irrigação, como gotejamento, microaspersão e pivôs, contribuindo para aumentar a produtividade e garantir a segurança hídrica, especialmente em regiões com clima adverso, como o semiárido. Essa linha oferece condições diferenciadas, como juros reduzidos e prazos mais longos, facilitando a adoção de práticas sustentáveis e eficientes no manejo da água pelos pequenos produtores (Batista, 2024).

Em síntese, o Pronaf, originado do Provape, representa a principal política pública de apoio à agricultura familiar no Brasil. Por meio de suas diversas linhas de crédito e orientações, o programa promove o desenvolvimento rural sustentável, a geração de renda e a inclusão social, fortalecendo as famílias agricultoras e contribuindo para o equilíbrio ambiental e econômico do meio rural (Brasil, 2020).

4.2 Programa de Garantia da atividade agrícola

O Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) foi criado para atender pequenos e médios produtores, assegurando a exoneração das obrigações financeiras relativas a operações de crédito rural de custeio em situações em que a liquidação seja dificultada por fenômenos naturais, pragas e doenças que afetem rebanhos e plantações, conforme estabelecido pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) (Brasil, 2017).

Instituído pela Lei nº 5.969/1973 e regido pela Lei nº 8.171/1991, o Proagro é regulamentado pelo Decreto nº 175/1991 e pela Lei Federal nº 12.058/2009 (Araújo et al., 2020). Suas normas são aprovadas pelo CMN e codificadas no Manual de Crédito Rural (MCR-16), divulgado pelo Banco Central do Brasil, conseguido ser analisadas diretamente no site oficial do Planalto. O programa é financiado por recursos da União e pelas contribuições pagas pelos produtores rurais (adicional/prêmio do Proagro), além das receitas das aplicações do adicional arrecadado (Santos *et al.*, 2020).

Desde 1997, o CMN exige que os empreendimentos agrícolas financiados pelo Proagro sigam as diretrizes do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), desenvolvido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 1996, promovendo o uso de tecnologias adequadas às atividades agrícolas (Brasil, 1997).

Em 2004, foi criado o "Proagro Mais", um seguro público voltado para pequenos produtores participantes do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). Esse seguro cobre também as parcelas de custeio e investimento rural, tanto financiadas quanto de recursos próprios, conforme as normas do CMN, estabelecidas pela Lei nº 12.058/2009 em que pode ser consultada no site do Planalto, que disponibiliza todas as leis federais brasileiras (Assunção; Chein, 2007).

O Banco Central do Brasil é responsável pela administração do Proagro, sendo que as operações de custeio são realizadas por instituições financeiras autorizadas, que formalizam a adesão dos produtores, cobram o adicional, analisam os processos, decidem sobre os pedidos de cobertura e direcionam os recursos para a Comissão Especial de Recursos (CER). A CER, única instância administrativa para recursos, é vinculada ao Ministério da Agricultura e Pecuária, e regulamentada pelo Decreto nº 10.124/2019 (Brasil, 2019).

O Proagro Irrigação é uma modalidade do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) que protege os agricultores familiares que utilizam sistemas de irrigação em suas atividades. Esse seguro agrícola cobre prejuízos em operações de custeio rural, quando eventos climáticos extremos, como secas severas, pragas ou doenças, afetam as culturas irrigadas, dificultando a liquidação das obrigações financeiras vinculadas ao crédito rural (BCB, 2025).

O Proagro para irrigação é especialmente importante em áreas sujeitas a variabilidade climática, como o semiárido brasileiro, onde a segurança hídrica é fundamental para a estabilidade produtiva. Com ele, os agricultores irrigantes têm a

garantia de cobertura para danos que comprometam a viabilidade econômica da lavoura, garantindo a proteção do capital investido em tecnologia de irrigação (BCB, 2025).

Para aderir ao Proagro Irrigação, o agricultor deve seguir as recomendações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que orienta sobre as melhores épocas de plantio e manejo para reduzir o risco de perdas. A adesão ocorre por meio de instituições financeiras autorizadas, responsáveis pela análise e formalização dos pedidos de cobertura em casos de sinistros (MAPA, 2010).

4.3 Programa Nacional de Crédito Fundiário

O Obter Crédito Fundiário é um serviço público digital criado para facilitar e agilizar o acesso ao crédito rural destinado à aquisição de terras e infraestruturas básicas e produtivas, através do Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF), com recursos do Fundo de Terras do Governo Federal. Este serviço inclui o registro de informações das famílias interessadas em adquirir imóveis rurais, dados sobre a propriedade, os vendedores, o projeto técnico de financiamento, valores referenciais de terra e limites de crédito disponíveis, de acordo com a região e a linha de financiamento desejada (INCRA, 2025)

Com o Obter Crédito Fundiário, não é necessária a entrega de documentação física ao Governo Federal. Toda a documentação do candidato, do vendedor e do imóvel rural, assim como o projeto técnico de financiamento, é enviada por meio da plataforma digital, desde a solicitação inicial no município até a liberação do contrato de financiamento no banco indicado. Os documentos físicos permanecem no município, para tratativas com os cartórios de registro de imóveis (MAPA, 2025)

O serviço assegura transparência no acesso à informação, permitindo o acompanhamento das etapas de análise, aprovações, envio de documentos, correção de pendências e solicitações de informações adicionais. Essas atualizações são informadas automaticamente no portal (Minhas Solicitações – Pessoa Jurídica) para o técnico responsável e enviadas por e-mail e SMS ao agricultor ou produtor rural interessado. O programa é acessível para pessoas jurídicas (CNPJ), incluindo instituições públicas e privadas de assistência técnica e extensão rural, desde que certificadas no serviço CET - Certificar Entidades e Técnicos para concessão de crédito fundiário (MAPA, 2025)

O técnico cadastrado, vinculado à empresa (CNPJ), deve completar as seis etapas do formulário de solicitação de crédito, assumindo a responsabilidade pelas informações e documentos fornecidos durante todas as fases de registro, análise, correção de pendências e resultado final da solicitação (Brasil, 2020).

4.4 Importância da Participação Social

As políticas de desenvolvimento rural no Brasil ocorrem em um contexto específico, marcado por um histórico de desigualdades e disputas pelo acesso à terra, o que complexifica a intervenção estatal. De um lado, o país apresenta um dos maiores índices de concentração fundiária do mundo; de outro, muitos povos tradicionais ainda carecem de direitos de propriedade sobre os territórios que ocupam, como quilombolas, indígenas, ribeirinhos, trabalhadores acampados, entre outros. Esse cenário resulta em um tecido social amplo e diversificado, que se organiza sob a bandeira de diversos movimentos sociais e sindicais, buscando a cidadania sem abrir mão de sua identidade camponesa (Silva, 2017).

5.Desafios e Perspectivas para Agricultura Familiar no Semiárido

5.1 Mudanças Climáticas

O aquecimento global já provoca, em diversas regiões do mundo, combinações preocupantes de calor e umidade para a humanidade. O aumento das emissões e a remoção do dióxido de carbono da atmosfera estão diretamente ligados às atividades agrícolas, que desempenham um papel central no contexto das mudanças climáticas. Com a população mundial ultrapassando 7 bilhões de pessoas, cresce a demanda por alimentos e recursos naturais. Ao mesmo tempo, as mudanças climáticas trazem novos desafios para o equilíbrio entre o ser humano e o uso dos recursos naturais, como o solo, a água, a atmosfera e a biodiversidade (Marengo, 2008)

A agricultura é um dos setores que contribui para a emissão de gases de efeito estufa, mas também pode oferecer soluções de mitigação ao adotar práticas sustentáveis, como o plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio, sistemas de produção integrada,

recuperação de pastagens, plantio de florestas e manejo de dejetos animais, entre outras tecnologias que reduzem o impacto ambiental. (Marengo, 2008)

Além disso, a agricultura é diretamente afetada pelas mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, sendo influenciada por condições climáticas e pela ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor e frio, e alterações nos padrões de chuvas, intensificados pelas mudanças no clima. Esse cenário de incerteza demandará de todo o setor, além do controle das emissões, uma preparação robusta e alta capacidade de adaptação (EMBRAPA).

5.2 Acesso a Terra

De acordo com o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), o Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) estabelece que, para se tornar beneficiário e assentado, o interessado e sua família devem passar por um processo de seleção conduzido exclusivamente pelo Incra (Azevedo; Pessôa, 2011). O cadastro dos candidatos e a definição das famílias a serem assentadas são realizados por meio de editais divulgados pelo órgão, que especificam todas as etapas do processo e os critérios para a escolha dos novos beneficiários, sendo publicados por assentamento e município (Oliveira; Brugnara, 2018).

A inscrição é individual, permitindo ao candidato indicar os titulares e demais membros da unidade familiar interessados. Para concorrer ao PNRA, é necessário que o candidato tenha a inscrição ativa e atualizada no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), conforme dispõe o Decreto nº 11.016/2022 (2025). O processo de seleção inicia-se com a publicação do edital de abertura no portal do Incra, seguido da inscrição dos candidatos interessados, análise das inscrições e documentação, deferimento ou indeferimento das candidaturas, interposição e julgamento de recursos, e finaliza com a publicação da lista definitiva de inscrições aprovadas e eliminadas, com suas respectivas justificativas (Brasil, 2025).

O Incra também realiza uma pré-identificação dos candidatos, considerando a ordem de preferência e critérios classificatórios, e publica um Edital de Classificação Preliminar com a ordem dos candidatos. Após o período para interposição e julgamento de recursos, é publicado o Edital de Resultado Final, contendo a lista das famílias classificadas e excedentes. A homologação das famílias é feita no sistema informatizado

do Incra, que publica a Relação de Famílias Beneficiárias (RB) do assentamento. A partir dessa homologação, o trabalhador rural listado na RB torna-se oficialmente assentado, tendo acesso à terra, créditos produtivos e aos incentivos do PNRA (Brasil, 2024).

A ordem de preferência para seleção segue critérios específicos, priorizando: desapropriados; trabalhadores rurais que atuavam no imóvel desapropriado na data da vistoria; trabalhadores desintrusados de outras áreas por ações de interesse público no mesmo município; trabalhadores rurais sem-terra em situação de vulnerabilidade social inscritos no CadÚnico; vítimas de trabalho análogo à escravidão; posseiros, assalariados, parceiros ou arrendatários em outros imóveis rurais; e ocupantes de áreas inferiores à fração mínima de parcelamento (Madrid; Gonçalves, 2020).

Além disso, os critérios classificatórios incluem o tamanho da família e força de trabalho, tempo de residência no município, se a unidade familiar é chefiada por mulher, famílias de trabalhadores rurais agregadas, famílias com filhos que residem no mesmo projeto dos pais assentados, tempo de atividade agrária e renda familiar mensal declarada no CadÚnico (Silva; Fonseca, 2018).

Recentemente, a Instrução Normativa nº 136/2023 do Incra regulamentou a seleção de famílias para assentamentos agroextrativistas, assegurando a participação dos órgãos ambientais e entidades da sociedade civil no processo. Essa norma valoriza a autoidentificação como integrante de comunidade tradicional, seu reconhecimento pelo grupo, a utilização sustentável dos recursos naturais, a herança ancestral e a história de ocupação, respeitando as características culturais e sociais dessas populações tradicionais (Oliveira; Brugnara, 2018). Para aqueles com inscrição indeferida, mas que pertencem à comunidade tradicional residente na área, é garantida a permanência e inclusão na Relação de Famílias Vinculadas (RV), para controle do Incra e participação em outros programas governamentais (Filho *et al.*, 2018).

Todo o processo de seleção é conduzido de forma pública, com registro formal dos atos e publicação de todos os atos decisórios no sítio eletrônico do Incra, garantindo transparência e celeridade desde a inscrição até a homologação final dos beneficiários (Silva, 2023).

5.3 Sucessão Rural

Muitas vezes, a sucessão rural é vista apenas como a transferência de posse entre gerações, passando a propriedade dos pais para os filhos. No entanto, a sucessão rural vai além disso: trata-se de garantir todos os direitos necessários para que os jovens possam construir sua vida no campo. Para que a sucessão rural ocorra, é fundamental assegurar o acesso à terra e a direitos básicos, como saúde, habitação, saneamento e educação. Além disso, é preciso oferecer condições para a produção agrícola, incluindo acesso a crédito, assistência técnica, seguros e mercados. Para uma vida plena, também são essenciais o lazer, a cultura, o esporte, acesso à internet e a tecnologias para as novas gerações, especialmente crianças e adolescentes, que estão formando suas perspectivas (CONTAG, 2025).

Esses direitos são garantidos por lei e podem ser acessados por meio de políticas públicas e participação em espaços de decisão popular, onde é possível propor novas iniciativas voltadas à juventude e à agricultura familiar. A sucessão rural não se limita a direitos e políticas públicas; envolve também a participação ativa da família e da comunidade. Cabe a todos nós fomentar o amor das crianças e adolescentes pelo campo. Ao valorizar nossa casa, nossa natureza, nossa cultura e saberes, incentivamos naturalmente o desejo de proteger e cuidar desse patrimônio. Esse sentimento é transmitido por nós, adultos e líderes, às crianças e adolescentes (CONTAG, 2025).

A permanência dos filhos no campo é vista de maneiras distintas por cada família. Em alguns casos, os pais não desejam que as crianças e jovens enfrentem as dificuldades que eles mesmos vivenciaram. Em outros, existe o desejo de continuidade, mas a preferência para dividir as terras recai apenas sobre os meninos. Ainda há famílias que apoiam integralmente todos os filhos, meninos e meninas, na continuidade da vida produtiva e independente no campo. Como defensores da agricultura familiar, sabemos que o diálogo familiar sobre produção, comercialização, acesso à terra e direitos é fundamental para a sucessão rural. Apoiados pela família, desde pequenos, as crianças devem ouvir as conversas sobre as possibilidades do campo e a importância de lutar por uma vida digna no meio rural. É no ambiente familiar que construímos nossa identidade, fortalecemos nossa cultura e valorizamos nossas raízes (Bühler; Oliveira, 2023)

A escola também desempenha um papel essencial. A educação no campo e para o campo é vital, principalmente considerando o fechamento de muitas escolas rurais,

forçando crianças e adolescentes a frequentarem escolas urbanas, onde o conteúdo muitas vezes não reflete sua realidade e pouco contribui para sua identidade rural ou para o desenvolvimento rural sustentável e solidário (Bühler; Oliveira, 2023)

Por isso, nós, do MSTTR, temos uma grande responsabilidade com a juventude rural. Devemos lutar pelo direito de nossos jovens ao acesso à terra, à educação do campo, à saúde, ao lazer e a todos os direitos. Nossas crianças e adolescentes precisam crescer sabendo que podem contar conosco em busca de uma realidade em que possam brincar, sonhar e, principalmente, ter uma vida plena e feliz no campo, na floresta e nas águas (CONTAG, 2025).

5.4 Inserção no mercado

A região semiárida brasileira há muito tempo enfrenta desafios na integração de seu setor de agricultura familiar ao mercado agrícola mais amplo. Muitos pequenos agricultores nesta região lutam com acesso limitado a tecnologias modernas, baixa produtividade e dificuldades na consolidação de suas operações (Vilpoux, 2014). Embora o governo tenha implementado várias políticas para incentivar a agricultura orgânica e a reforma agrária, a adoção dessas iniciativas por pequenos agricultores tem sido lenta, e muitos continuam a experimentar baixas rendas e produtividade. (Vilpoux *et al.*, 2021)

Uma abordagem para lidar com esses desafios tem sido explorar canais de marketing alternativos que podem conectar melhor os agricultores familiares aos consumidores. Isso inclui o desenvolvimento de mercados de agricultores, cooperativas e outras iniciativas diretas ao consumidor que visam criar cadeias de suprimentos mais equitativas e transparentes (Rover; Darolt, 2021)

Em um estudo com agricultores familiares periurbanos em São Luís, pesquisadores descobriram que esses canais alternativos de comercialização, como mercados de produtores, podem ajudar a sustentar a "alternatividade" da agricultura de pequena escala, promovendo relacionamentos baseados em confiança, reduzindo o papel dos intermediários e permitindo maior controle sobre preços e padrões de qualidade (Carneiro; Braga, 2020).

Um importante instrumento de política que visa abordar esses desafios é o programa Preço Mínimo Garantido. Esse programa, conhecido como PAA, fornece um preço mínimo para certas commodities agrícolas produzidas na região semiárida,

garantindo uma renda confiável para os agricultores e um fornecimento consistente de alimentos acessíveis para os consumidores (Pereira et al., 2012).

É notório que o semiárido apresenta desafios significativos para o desenvolvimento sustentável. A região é caracterizada por condições climáticas adversas, como altas temperaturas e escassez de chuvas, que limitam severamente as atividades agrícolas e resultam em deficiências nutricionais que comprometem a produção animal (Braga *et al.*, 2018). Esse panorama tem acelerado o processo de degradação ambiental, levando a perdas na produção agrícola e reduzindo a biomassa vegetal (Júnior; Montenegro, 2019).

Para enfrentar esses desafios, o princípio 'Conviver com a seca' surgiu como uma alternativa à abordagem tradicional 'Luta contra a seca'. Os agricultores familiares e suas organizações, organizados sob a Articulação do Semiárido, têm promovido e disseminado experiências enraizadas no conhecimento popular e fortalecidas pelo diálogo com o conhecimento científico (Duqué, 2008). Isso deu origem a programas inovadores como os 'Quintais Produtivos', que visam melhorar a produção e a segurança alimentar na região.

O programa desempenha um papel crucial no monitoramento do impacto das secas na agricultura da região, particularmente os efeitos nas culturas da agricultura familiar. Dados abrangentes são coletados de várias fontes para identificar municípios afetados pela seca e orientar ações emergenciais para mitigar os danos (Alvalá *et al.*, 2017). Os graves impactos econômicos e sociais enfrentados pela população devido aos eventos de seca têm destacado a importância de avançar nos estudos sobre o risco da seca para a atividade agrícola na região semiárida (José *et al.*, 2022).

A seca é um risco natural recorrente na Região Semiárida Brasileira, que é considerada uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas do mundo. A região tem sofrido com secas frequentes e severas nas últimas décadas, causando grandes danos agrícolas, sociais, econômicos e ambientais (Brito *et al.*, 2020). Nesse contexto, a Política Nacional de Abastecimento desempenha um papel vital no monitoramento e enfrentamento dos desafios impostos pela seca, garantindo a segurança alimentar e apoiando a resiliência das comunidades locais.

O Programa Nacional de Alimentação Escolar no Brasil tem desempenhado um papel crucial no atendimento às necessidades nutricionais de crianças e adolescentes, particularmente na região semiárida do país. Este programa, considerado um dos maiores do gênero no mundo, visa garantir a retenção dos alunos nas escolas e reduzir a

desnutrição infantil, fornecendo refeições nutritivas aos alunos durante o período escolar (Costa *et al.*, 2017).

O programa foi introduzido inicialmente em 1955 para garantir uma refeição escolar gratuita para crianças entre 4 e 14 anos que frequentavam escolas públicas de ensino fundamental e médio. Seu objetivo principal era fornecer aos alunos parte de suas necessidades nutricionais diárias, oferecendo 350 Kcal e 9 g de proteína, contribuindo assim para o aumento da frequência escolar e redução das taxas de absenteísmo e repetência (Santana *et al.*, 2008). Em 1988, o acesso ao programa de alimentação escolar foi tornado obrigatório, garantindo o direito das crianças de receber pelo menos 15% de suas necessidades nutricionais diárias (Costa *et al.*, 2017). Onde obrigatoriamente 30% da aquisição de alimentos deve ser proveniente da agricultura familiar.

Em suma, a superação dos desafios enfrentados pela agricultura familiar no semiárido brasileiro requer uma abordagem integrada que combine políticas públicas eficazes, fortalecimento das cadeias de comercialização alternativas e o incentivo à adoção de práticas sustentáveis adaptadas às condições locais. Programas como o PAA e o Programa Nacional de Alimentação Escolar demonstram o potencial de garantir renda mínima aos agricultores e promover a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que valorizam a produção local e o conhecimento tradicional. Além disso, iniciativas como os Quintais Produtivos e a articulação entre saberes populares e científicos reforçam a resiliência das comunidades diante das adversidades climáticas, especialmente as secas recorrentes. Dessa forma, a consolidação dessas estratégias pode contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável da região, promovendo inclusão social, melhoria da qualidade de vida e preservação ambiental no semiárido brasileiro.

Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER A. N., Dossiê Nordeste Seco. **Estudos Avançados**, v. 13, n. 36, 1999.
- ABRAMOVAY, R. **Paradigmas do capitalismo agrário em questão**. São Paulo: Edusp, 2012. 296p.
- ALTIERI, M. *et al.* **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012. 400p.
- ALVALÁ, R. C. S. *et al.* Monitoramento de seca no Semiárido Brasileiro. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 1, 2017.
- ALVES, V. E. L. *et al.* A modernização da fruticultura irrigada e seus impactos socioeconômicos e ambientais no Vale do Açu/RN. **Revista GeoInterações**, v. 2, n. 1, p. 35-56, 2018.
- ARAÚJO, J. A. *et al.* Crédito rural e agricultura familiar no Brasil: uma avaliação do programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar. *Redes*, v. 25, 2020.
- ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Condições de crédito no Brasil rural. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 2, p. 367, 2007.
- AZEVEDO, F. F.; PESSÔA, V. L. S. O Programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar no Brasil: uma análise sobre a distribuição regional e setorial dos recursos. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 3, p. 483, 2011.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Proagro**: Programa de Garantia da Atividade Agropecuária. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 5 jan. 2025.
- BARCELOS, A. F. *et al.* Valor nutritivo e características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de casca de café. **Ciência Animal Brasileira**, v. 19, p. e-27432, 2018.
- BATISTA, A. C. T. **O papel do governo federal brasileiro no desenvolvimento da agricultura irrigada**: resultados e perspectivas da atuação no Centro-Oeste a partir dos novos marcos legais e institucionais para o setor. 2022. 178 f. il. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- BOURDIEU, P.; SAYAD, A. A dominação colonial e o saber cultural. **Revista de Sociologia e Política**, p. 41-60, 2006.
- BRAGA, A. P. *et al.* Fracionamento de compostos nitrogenados e carboidratos em forragens de diferentes idades. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 819-832, 2018.
- BRASIL. Banco Central do Brasil. **Resolução nº 2.101, de 17 de fevereiro de 1994**: estabelece o Programa de Valorização da Pequena Produção Rural - Provape. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1994. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES.** Pronaf. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf>. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Monetário Nacional. **Resolução CMN nº 4.620, de 21 de dezembro de 2017:** dispõe sobre o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Conselho Monetário Nacional. **Resolução CMN nº 4.889, de 25 de maio de 2020:** estabelece diretrizes para a concessão de crédito rural. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 21 abr. 2025

BRASIL. **Decreto nº 10.124, de 17 de setembro de 2019:** regulamenta o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária - Proagro e estabelece a Comissão Especial de Recursos - CER. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos/2019/Dsn/Dsn10124.htm. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017:** estabelece as condições para o financiamento do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - Pronaf. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9064.htm. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. **Obter crédito fundiário (PNCF)** – Agricultura e Pecuária. GOV.com disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-credito-terra-brasil>. Acesso em: 21 out. 2024.

BRASIL. **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - Pronaf.** Disponível em: [https://www.gov.br/pt-br/servicos/acessar-o-programa-nacional-de-fortalecimento-da-agricultura-familiar-pronaf#:~:text=0%20Programa%20Nacional%20de%20Fortalecimento%20da%20Agricultura%20Familiar%20\(Pronaf\)%20foi,produtor%20e%20de%20sua%20fam%C3%ADlia](https://www.gov.br/pt-br/servicos/acessar-o-programa-nacional-de-fortalecimento-da-agricultura-familiar-pronaf#:~:text=0%20Programa%20Nacional%20de%20Fortalecimento%20da%20Agricultura%20Familiar%20(Pronaf)%20foi,produtor%20e%20de%20sua%20fam%C3%ADlia). Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. **Pronaf Irrigação: crédito para a sustentabilidade da agricultura familiar.** Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. (2025). **Consultar dados do Cadastro Único.** Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/consultar-dados-do-cadastro-unico-cadunico>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRITO, C. S. *et al.* Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: a case study of the piranhas river basin, northeastern Brazil. **Atmospheric Research**, v. 250, p. 105380, 2021.

BÜHLER, P; OLIVEIRA, L. Revisão de literatura sobre holding familiar e sucessão rural. **Revista Eletrônica de Administração**. V. 2, p. 28, 2023

CAMPELO, D. A. As políticas públicas para a agricultura familiar brasileira em clima semiárido: do combate à convivência. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 10, n. 21, 2013.

CARNEIRO, M. S; BRAGA, C. L. Alternativo versus convencional: uma análise da inserção de agricultores familiares periurbanos em circuitos de comercialização no município de São Luís/MA. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 25, n. 2, p. 545-569, 2020.

CHAYANOV, A. **A teoria das cooperativas camponesas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos avançados**, v. 22, p. 61-82, 2008.

CONTAG. **Sucessão Rural**. Disponível em: <https://ww2.contag.org.br/sucessao-rural>. Acesso em: 5 jan. 2025.

DIAO, X. *et al.* **The Future of Small Farms**: Innovations for Inclusive Transformation. Springer Nature, p. 191-205, 2023.

DIAS, N. S. *et al.* Gestão das águas residuárias provenientes da dessalinização da água salobra. In: GHEYI, H. R. *et al.* (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**: estudos e aplicações. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. p. 176-187.

DUQUE, G. **“Conviver com a seca”**: contribuição da Articulação do Semi-Árido/ASA para o desenvolvimento sustentável. *Desenvolvimento E Meio Ambiente*, n. 17, p. 133-140, 2008.

DUQUÉ, G. *et al.* Ação coletiva e desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 25, 2012.

EMBRAPA. **Tecnologias para a cultura da soja no Brasil**: avanços e desafios. Documentos Embrapa Soja, Londrina: Embrapa, 2020. 347 p.

FACUNDO, A. L. *et al.* Sustentabilidade e Agroecologia: técnicas de convivência com o semiárido na comunidade Trapiá, Massapê, Ceará. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 17, 2020.

FILHO, V. J. P. M. *et al.* Comunidades tradicionais: um olhar sob a óptica das políticas públicas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 10, p. 539, 2018.

FONTES, R; MONTENEGRO, A. Impact of land use change on the water balance in a representative watershed in the semiarid of the state of Pernambuco using the SWAT model. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 110-117, 2019.

FONTOURA, F. B. B. *et al.* Diversificação da produção rural: em busca de alternativas para a gestão econômica e financeira na agricultura familiar. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 11, n. 1, p. 128, 2022.

GODOI, T. G. *et al.* A sustentabilidade dos financiamentos do PRONAF para a agricultura familiar. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 38, 2016.

GOMES, UA F.; HELLER, L. Acesso à água fornecido pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 623-633, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 20/10/2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. **Pesquisa Nacional por Amostragem Domicílios: Segurança alimentar 2013**. Coordenação de trabalho e rendimento. Rio de Janeiro. 134p

INCRA. **Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA)**. Disponível em: <https://www.incra.gov.br/reforma-agraria>. Acesso em: 5 jan. 2025.

JÚNIOR, R. F.; MONTENEGRO, A. A. D. A. Impact of land use change on the water balance in a representative watershed in the semiarid of the state of Pernambuco using the SWAT model. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 110-117, 2019.

LANDAU, E. C. *et al.* Concentração geográfica da agricultura familiar no Brasil. 2013.
LIMA-FILHO, D. O. *et al.* Purchase policies to fresh fruit and vegetables in supermarkets in Campo Grande, Brazil. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 132-136, 2012.

MADRID, R. S.; GONÇALVES, M. L. O êxodo dos jovens rurais, a teoria do bem viver e a resistência da comunidade remanescente de quilombo do Ibicuí D'Armada, na fronteira do RS. **Cadernos Do CEAS Revista Crítica de Humanidades**, v. 45, n. 251, p. 567, 2020.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 83-96, 2008.

MARONHAS, M. E. S. *et al.* Agroecologia e convivência com o semiárido: a inovação na construção da resiliência. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, 2020.

MATOS, P. F; PESSOA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo Uerj**, v. 2, n. 22, p. 290-322, 2011.

MEDEIROS, J. E. *et al.* **Educação em agroecologia: percurso histórico, iniciativas e práticas no sertão do São Francisco (BA/PE)**. 2023. p. 155-178.

MENDRAS, H. **La fin des paysans**. (2^a ed.). Paris: Actes Sud. MMA – Ministério do Meio Ambiente, 1984. 364 p.

NEVES, A. L. A. *et al.* Agronomic characteristics of corn cultivars for silage production. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 1799-1806, 2015.

OLIVEIRA, A. L. A.; BRUGNARA, E. Cadastro Ambiental Rural: um instrumento para evidenciar conflitos ambientais em terras indígenas? **Desenvolvimento e Meio Ambiente/Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 46, p. 197-210, 2018.

PALMEIRA, P. A. *et al.* Multisectoral government programs and household food insecurity: evidence from a longitudinal study in the semiarid area of northeast, Brazil. **Food Security**, p. 1-14, 2020.

PEREIRA, L. *et al.* Agroecology: The future of sustainable farming? **Environment**, v. 60, n. 4, p. 4-17, 2018.

PÉREZ-MARIN, A. M. *et al.* Agroecological and Social Transformations for Coexistence with Semi-Aridity in Brazil. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 990, 2017.

QUEIROZ, J. G. *et al.* Perímetro irrigado de São Gonçalo/PB: Causas e efeitos da escassez de água. **Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, e12, 2012.

RESENDE, C. M.; MAFRA, R. L. M. Desenvolvimento Rural e Reconhecimento: tensões e dilemas envolvendo o Pronaf. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 2, p. 261, 2016.

ROVER, O. J.; DAROLT, M. R. Circuitos curtos de comercialização como inovação social que valoriza a agricultura familiar agroecológica. **Circuitos curtos de comercialização, agroecologia e inovação social**, p. 19-43, 2021.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. Preservação da vegetação nativa, especialmente da caatinga: custos e responsabilidades. **Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, v. 3, 1999.

SANTOS, R. T. *et al.* Concessão de Crédito Rural: evidências empíricas do impacto na produção de soja no Centro-Oeste brasileiro. **Economia Ensaios**, 3v. 5, n. 2, 2020.

SCHISTEK, H. O Semiárido Brasileiro: uma região mal compreendida. In: CONTI, IL; SCROEDER, E.O **Convivência com o semiárido brasileiro**. Brasília: Ed. IABS, p. 41-53, 2013.

SCHNEIDER, S. Construção de mercados e agricultura familiar: desafios para o desenvolvimento rural. **Mundo Agrario**, v. 18, n. 39, e074, 2017.

SILVA, A. C. S.; FONSECA, A. I. A. Assentamento rural e agricultura familiar: um desenvolvimento pautado nas políticas públicas. **Geografia**, v. 43, n. 1, p. 65, 2018.

SILVA, R. A. **Crédito Rural**. São Luís: Pascal, 2023.

SILVA, T. C. **Percepção de agricultores do agreste brasileiro sobre os efeitos da cisterna calçadão em suas vidas**. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) - Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2018.

SIMÕES, A. F. *et al.* Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 801, 2010.

SOUZA, C. C. M. *et al.* Impactos econômicos, sociais e ambientais do PRONAF no Brasil: uma revisão sistemática da literatura. **Geosul**, v. 36, n. 80, p. 292, 2021.

SOUZA-ESQUERDO, V. F.; BERGAMASCO, S. M. P. P. Políticas públicas para a agricultura familiar brasileira: um estudo sobre o Pronaf nos municípios do circuito das Frutas-SP. **Extensão Rural**, v. 22, n. 1, 2015.

STAMM, C.; AVELAR, F. M. Agricultura familiar: efeitos do PRONAF na região Oeste do Paraná. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 359, 2019.

VILPOUX, O. F. Agrarian reform and cooperation between settlers in the Midwest of Brazil: An institutional approach. **Land Use Policy**, v. 39, p. 65-77, 2014.

VILPOUX, O. F. *et al.* Agrarian reform in the Brazilian Midwest: Difficulties of modernization via conventional or organic production systems. **Land Use Policy**, v. 103, p. 105327, 2021.

WANDERLEY, M. N. B. A sociologia rural na América Latina: produção de conhecimento e compromisso com a sociedade. **Revista ALASRU Nueva Época**, v. 5, p. 17-44, 2010.

WANDERLEY, M. N. B. Agricultura familiar e campesinato: rupturas e continuidade. **Estudos sociedade e agricultura**, 2003.

WESZ, V. J. Política pública de agroindustrialização na agricultura familiar: uma análise do Pronaf-Agroindústria. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 567, 2010.

CAPÍTULO 5

PROJETOS GOVERNAMENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SEMIÁRIDO

Carla Michelle da Silva

Antônio Veimar da Silva

1. HISTÓRICO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SEMIÁRIDO

A trajetória das políticas públicas no semiárido brasileiro é longa e repleta de mudanças de enfoque. Desde os primeiros registros das grandes secas no século XIX, o poder público se viu pressionado a formular respostas para mitigar os efeitos devastadores da estiagem. No entanto, as primeiras intervenções tinham um caráter emergencial e pontual, sem planejamento estruturado ou políticas duradouras. A seca era vista como um inimigo a ser combatido, e não como um fenômeno com o qual era necessário aprender a conviver (Valadares, 2022.).

Foi somente no início do século XX que se estruturou o primeiro órgão dedicado ao problema das secas: a Inspetoria de Obras Contra as Secas, mais tarde transformada no DNOCS. A missão da nova entidade era construir açudes, poços e outras estruturas hidráulicas para garantir água à população. Ainda que importantes, essas obras refletiam uma visão centralizada e tecnocrática, pouco conectada com as reais necessidades das comunidades locais (Leandro, 2021).

Com o passar das décadas, especialmente a partir dos anos 1950, novas instituições surgiram com o propósito de fomentar o desenvolvimento do Nordeste como um todo, e não apenas responder às emergências climáticas. A criação da SUDENE foi um marco importante, pois trouxe uma visão mais ampla e integrada do desenvolvimento regional.

O foco não era mais só combater os efeitos da seca, mas transformar a realidade socioeconômica do semiárido (Lorandes, 2025).

Durante o regime militar, entretanto, prevaleceu uma lógica de grandes obras e concentração de investimentos em projetos que nem sempre priorizavam os pequenos agricultores. A irrigação, nesse período, começou a ganhar destaque como alternativa produtiva, mas a implementação estava frequentemente voltada a grandes empreendimentos, excluindo populações tradicionais e pequenos produtores (Pollnow *et al.*, 2022).

A partir da redemocratização nos anos 1980 e com a nova Constituição de 1988, iniciou-se um processo de descentralização das políticas públicas e maior valorização da participação social. Os movimentos sociais e organizações da sociedade civil passaram a atuar com mais força, defendendo uma nova abordagem: a convivência com o semiárido. Essa mudança de mentalidade foi fundamental para o surgimento de práticas mais sustentáveis e contextualizadas (Medeiros; Silveira, 2022).

Nos anos 2000, essa nova lógica ganhou respaldo institucional com o fortalecimento de políticas voltadas para a agricultura familiar, o acesso à água de forma descentralizada e a promoção de tecnologias sociais. A irrigação deixou de ser vista apenas como uma ferramenta de grandes projetos e passou a ser incorporada em iniciativas adaptadas ao contexto das comunidades locais, como os sistemas simplificados de irrigação por gotejamento e microaspersão (Esteves; Fortunato, 2025).

O programa Um Milhão de Cisternas é um exemplo simbólico desse novo momento. Por meio dele, famílias do semiárido passaram a ter acesso à água de chuva para consumo e produção. Essa política reforçou a noção de autonomia hídrica, mostrando que soluções simples e bem adaptadas ao território podem ter grande impacto (Diniz *et al.*, 2022).

Nesse processo histórico, também se fortaleceu o protagonismo de agricultores, associações e cooperativas. A gestão da água para fins produtivos passou a considerar a realidade e os saberes das comunidades rurais. A água, antes apenas como recurso de sobrevivência, passou a ser pensada como ferramenta de desenvolvimento justo e sustentável (Athayde; Rezende, 2025).

Apesar dos avanços, a história das políticas públicas para o semiárido também é marcada por instabilidade. Mudanças de governo, cortes de orçamento e descontinuidade de programas ainda representam entraves. O desafio atual é consolidar as conquistas,

fortalecer a governança local e garantir políticas de longo prazo que priorizem a equidade e a adaptação às mudanças climáticas (Chaves *et al.*, 2023).

Olhando para o futuro, compreender o percurso dessas políticas é essencial. O semiárido brasileiro não é um espaço de carência, mas sim de resistência, criatividade e potencial. Reconhecer sua história é também um convite à construção de novas políticas que respeitem a singularidade do território e promovam justiça hídrica e social.

2. PROGRAMAS E AÇÕES GOVERNAMENTAIS EM DESTAQUE

O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) foi uma iniciativa emblemática nas políticas de acesso à água no semiárido. Lançado no início dos anos 2000, o programa surgiu de uma forte articulação entre a sociedade civil, representada principalmente pela ASA (Articulação Semiárido Brasileiro), e o governo federal. Seu objetivo principal era garantir o acesso à água potável para o consumo humano, por meio da construção de cisternas de placas, utilizando mão de obra local e valorizando o protagonismo das famílias beneficiadas. Mais do que uma ação emergencial, o P1MC representou uma mudança de paradigma, apostando na convivência com o semiárido e na autonomia das comunidades (Souza *et al.*, 2022).

Ao longo dos anos, o P1MC mostrou grande impacto na melhoria da saúde e da qualidade de vida de milhões de pessoas. Com água disponível perto de casa, famílias passaram a enfrentar menos filas, caminhar menos quilômetros e reduzir os casos de doenças de veiculação hídrica. No entanto, o programa também enfrentou desafios, como a manutenção das cisternas e a dificuldade de expansão em alguns municípios com baixa mobilização social. Ainda assim, o P1MC é reconhecido como uma política pública bem-sucedida e inovadora, e serviu de modelo para outras ações no Brasil e em países com clima semiárido (Gomes; Sánchez, 2024).

Complementando essa política, o Programa Água para Todos ampliou o escopo do acesso à água, incluindo não apenas cisternas para consumo, mas também tecnologias voltadas à produção, como barreiros, pequenas adutoras e sistemas de abastecimento simplificados. Criado em 2011 no âmbito do Plano Brasil sem Miséria, esse programa buscou universalizar o direito à água em comunidades rurais de baixa renda. Uma das características marcantes foi a integração com outros ministérios e órgãos, promovendo uma visão mais sistêmica das ações (Melchiori *et al.*, 2022).

As infraestruturas construídas pelo Água para Todos tiveram papel essencial para a segurança hídrica de comunidades rurais. Sistemas de abastecimento coletivo permitiram o fornecimento contínuo de água, o que antes era uma realidade apenas para zonas urbanas. A gestão desses sistemas, no entanto, exigiu o fortalecimento de comitês locais e capacitação comunitária, pontos que nem sempre receberam a atenção necessária. A sustentabilidade dessas ações depende diretamente da articulação entre poder público, sociedade civil e os próprios usuários (Cortez; Empinotti, 2021).

Outro programa de destaque é o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro e seus derivados), voltado para os agricultores familiares do semiárido que enfrentam perdas causadas por eventos climáticos extremos. A cobertura abrange secas, estiagens prolongadas e outros desastres naturais que afetam diretamente a produção. O benefício é concedido mediante comprovação de perda significativa da produção, e funciona como um seguro, garantindo uma renda mínima àqueles que mais dependem da terra e da chuva para sobreviver (Dias *et al.*, 2023).

Embora seja uma importante rede de proteção social, o acesso ao Proagro exige o cumprimento de critérios técnicos e o acompanhamento por meio de laudos. Muitos agricultores ainda enfrentam dificuldades para compreender o processo e acessar o benefício de forma ágil. Além disso, as indenizações, em certos casos, não cobrem totalmente os prejuízos acumulados durante longos períodos de estiagem. Mesmo assim, o programa tem um papel importante na estabilidade econômica de pequenas unidades produtivas, especialmente nos anos mais severos (Oliveira Jr *et al.*, 2024).

Outro pilar relevante das políticas públicas no semiárido é o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). Com linhas de crédito específicas para o Nordeste semiárido, o Pronaf tem apoiado a aquisição de equipamentos, a implantação de tecnologias sociais de captação e uso racional da água, e a diversificação produtiva em propriedades de base familiar. Nos últimos anos, foram criadas modalidades de crédito voltadas exclusivamente para sistemas agroecológicos e irrigação eficiente (Mendes; Pinheiro, 2024).

O Pronaf também desempenha um papel importante no incentivo à comercialização, seja por meio de feiras locais, mercados institucionais ou programas como o PAA (Programa de Aquisição de Alimentos). Isso fortalece a renda familiar e dinamiza as economias locais. A presença de crédito orientado, com taxas de juros diferenciadas e assistência técnica, tem sido determinante para que muitos agricultores

avancem do nível de subsistência para uma produção mais estruturada e sustentável (Alves; Medeiros, 2024).

É importante destacar que, quando articulados entre si, esses programas ganham maior potência. Uma família que recebe uma cisterna do P1MC, participa do Água para Todos com acesso a um sistema de irrigação simplificado, é coberta pelo Proagro e acessa crédito pelo Pronaf, tem muito mais chances de desenvolver uma produção resiliente às mudanças climáticas e de gerar renda de forma estável. A integração de políticas públicas é, portanto, um fator-chave para o sucesso dessas iniciativas no semiárido (Lorandes, 2025).

Apesar dos impactos positivos, muitos desses programas enfrentam riscos de descontinuidade por mudanças na agenda política, cortes de orçamento ou ausência de articulação federativa. Em alguns períodos, observa-se uma diminuição na capacidade de execução, o que gera frustração e insegurança para as populações beneficiadas. Para garantir os avanços já conquistados, é essencial que essas ações sejam tratadas como políticas de Estado, e não apenas de governo.

3. POLÍTICAS SETORIAIS

A gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro é um desafio estratégico que exige políticas bem estruturadas, integração institucional e participação social. O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituído em 2006, é o principal instrumento orientador da política nacional para o setor. Ele propõe diretrizes para o uso racional da água, o combate ao desperdício, a proteção das fontes e o fortalecimento da governança. No semiárido, sua aplicação envolve o enfrentamento de desigualdades históricas no acesso à água, que ainda afetam pequenas comunidades rurais e populações tradicionais (Moreira *et al.*, 2022).

Os Planos de Bacias Hidrográficas, previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, operam como ferramentas de planejamento descentralizado, articulando estados, municípios, comitês de bacias e sociedade civil. No semiárido, esses planos buscam equilibrar as múltiplas demandas sobre um recurso escasso: irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal e uso industrial. A construção desses planos exige sensibilidade para reconhecer os diferentes modos de vida da região, valorizando soluções adaptadas ao clima e ao território (Cunha *et al.*, 2021).

Instrumentos como a outorga do direito de uso da água e a cobrança pelo uso são essenciais para garantir que esse recurso seja distribuído de forma justa e eficiente. No entanto, sua implementação no semiárido deve considerar o contexto de vulnerabilidade socioeconômica. É necessário que os pequenos produtores tenham acesso a informações claras, processos simplificados e condições de regularização que não inviabilizem suas atividades. A burocracia excessiva e a falta de apoio técnico ainda são barreiras frequentes (Araújo *et al.*, 2024).

Em regiões onde os conflitos pelo uso da água se intensificam, principalmente em períodos de seca severa, a gestão participativa e a mediação se tornam fundamentais. Os comitês de bacia podem exercer um papel decisivo, promovendo o diálogo entre irrigantes, comunidades rurais, prefeituras e empresas. A água, nesse contexto, é mais que um bem natural — é um direito coletivo e um elemento de coesão social que precisa ser protegido por políticas sensíveis e equilibradas (Costa, 2021).

Paralelamente à política hídrica, as ações voltadas para o desenvolvimento rural e a agricultura familiar têm ganhado protagonismo nas estratégias de convivência com o semiárido. Programas como o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que destina parte dos recursos da merenda escolar para a compra de alimentos da agricultura familiar, geram renda, fortalecem a produção local e valorizam a cultura alimentar do território. É uma política que conecta educação, saúde, agricultura e segurança alimentar (Souza *et al.*, 2021).

As políticas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) também são fundamentais nesse cenário. No semiárido, a presença de técnicos capacitados e sensíveis às realidades locais pode fazer toda a diferença na adoção de práticas produtivas mais eficientes, no manejo racional da água e na sustentabilidade dos sistemas de produção. Infelizmente, a cobertura da ATER ainda é desigual e, em muitas regiões, as famílias agricultoras seguem desassistidas ou com acompanhamento precário (Carvalho; Gomes, 2022).

Um ponto importante das políticas voltadas ao desenvolvimento rural no semiárido é o estímulo à produção agroecológica. Incentivar práticas que respeitam os ciclos da natureza, preservam os recursos hídricos e reduzem a dependência de insumos externos é um caminho promissor para a sustentabilidade. Iniciativas que integram agroecologia, irrigação inteligente e comercialização solidária revelam o potencial

transformador das políticas públicas quando orientadas por princípios socioambientais (Souza *et al.*, 2024).

No que se refere à luta contra a desertificação, o Brasil conta com o Plano Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Esse plano reconhece que a degradação das terras é um processo complexo, ligado à ação humana e às condições climáticas. No semiárido, ele propõe ações integradas de recuperação de áreas degradadas, reflorestamento com espécies nativas, manejo sustentável da caatinga e educação ambiental. A meta é reverter o processo de esgotamento dos solos e garantir condições produtivas para as futuras gerações (Araújo *et al.*, 2022).

Diversas experiências locais têm demonstrado que é possível recuperar áreas degradadas a partir de práticas simples e acessíveis, como barraginhas, cordões de contorno, replantio com espécies adaptadas e técnicas de captação de água de chuva. Essas ações, quando integradas com a mobilização comunitária e políticas de incentivo, mostram resultados expressivos na regeneração do ambiente e na melhoria da produção agrícola. São tecnologias sociais que aliam sabedoria popular, ciência e políticas públicas (Pereira; Castro, 2024).

Assim, a convivência com o semiárido só será possível se houver a articulação entre essas políticas setoriais. A água deve ser pensada não apenas como infraestrutura, mas como eixo de cidadania, dignidade e sustentabilidade. A agricultura familiar, a gestão ambiental e os direitos territoriais precisam caminhar juntos, orientados por políticas públicas que respeitem as particularidades da região. O semiárido brasileiro é um espaço de desafios, mas também de soluções criativas e potentes — basta escutar e investir nas suas múltiplas vozes.

4. PARTICIPAÇÃO SOCIAL E GOVERNANÇA

A participação social nas políticas públicas é um dos pilares para a construção de uma sociedade democrática e para a efetividade das ações governamentais, especialmente em contextos complexos como o semiárido brasileiro. Em regiões onde os recursos naturais são escassos e disputados, como a água, envolver a população nas decisões é uma condição básica para garantir justiça, transparência e sustentabilidade. A governança dos recursos hídricos, da terra e das políticas de produção não pode prescindir da escuta ativa e da colaboração de quem vive e trabalha no território (Cruz, 2022).

Ao longo dos anos, foram sendo construídos diversos espaços de participação, como os Conselhos Municipais de Desenvolvimento Rural Sustentável, os Comitês de Bacias Hidrográficas e os Conselhos de Segurança Alimentar e Nutricional. Esses fóruns permitem que representantes de comunidades, sindicatos, associações e organizações da sociedade civil participem do debate e da formulação de políticas públicas. São arenas em que vozes antes silenciadas ganham protagonismo, e onde as decisões tendem a ser mais legítimas por refletirem as reais demandas locais (Chiodi *et al.*, 2021).

Os Comitês de Bacias Hidrográficas, por exemplo, têm o papel estratégico de reunir usuários da água, representantes do poder público e da sociedade civil para decidir, em conjunto, sobre o uso dos recursos hídricos. No semiárido, esses comitês são fundamentais para mediar conflitos, definir prioridades de abastecimento e planejar ações de preservação dos mananciais. Eles simbolizam uma virada de chave: da gestão centralizada para a gestão compartilhada da água (Barbosa, 2016).

No entanto, a presença física em conselhos e comitês não garante, por si só, uma participação efetiva. Em muitos casos, a dificuldade de acesso à informação, o uso de linguagem técnica e o domínio das reuniões por atores mais experientes acabam excluindo, na prática, os representantes mais vulneráveis. Garantir participação efetiva requer formação, apoio institucional e respeito aos diferentes modos de expressão e organização popular. É preciso democratizar também os meios de participação, não apenas abrir espaço para ela (Carretero; Paixão, 2024).

Outro ponto importante é o reconhecimento do conhecimento tradicional das comunidades do semiárido como parte do processo de governança. Agricultores, pescadores artesanais, mulheres rurais e povos tradicionais acumulam experiências valiosas sobre o uso racional da água, a conservação do solo e a convivência com as variações climáticas. Incorporar esses saberes nas políticas públicas é uma forma de valorizar o território e promover soluções mais adequadas e sustentáveis (Ferreira; Bartachevits, 2022).

A sociedade civil organizada tem cumprido um papel decisivo na construção de políticas públicas no semiárido. Redes como a ASA Brasil demonstram que, quando articuladas, as comunidades podem construir propostas concretas, pressionar o Estado e acompanhar a execução das ações. A experiência do Programa Um Milhão de Cisternas é um exemplo disso: nasceu do acúmulo das organizações da sociedade civil e se tornou política nacional justamente pela força da mobilização popular (Diniz *et al.*, 2022).

Apesar desses avanços, ainda há desafios importantes a serem enfrentados. A rotatividade nas lideranças, a fragilidade institucional de muitos conselhos e a ausência de mecanismos eficazes de controle social dificultam a continuidade das ações participativas. Além disso, em momentos de retração democrática, os espaços de participação costumam ser enfraquecidos ou ignorados pelos gestores públicos, o que compromete a construção de políticas sensíveis às realidades locais (Will, 2025).

Outro desafio recorrente é a falta de recursos para viabilizar a participação, especialmente em territórios extensos e de difícil acesso. Muitas vezes, representantes comunitários precisam arcar com custos de transporte, alimentação e hospedagem para participar de reuniões e fóruns, o que limita sua presença e continuidade. Políticas públicas verdadeiramente participativas devem prever recursos e estrutura para garantir a inclusão de todos os segmentos sociais (Nascimento *et al.*, 2024).

Ainda assim, a construção de uma governança participativa no semiárido é uma conquista que precisa ser protegida e ampliada. Fortalecer os espaços de escuta, garantir autonomia às instâncias colegiadas e criar condições para a formação política das lideranças locais são caminhos possíveis. Quanto mais plural e representativa for a participação, mais eficaz e justa será a política pública implementada (Schiesari; Marques, 2024).

Por fim, é fundamental que a participação social seja entendida não apenas como uma etapa do processo, mas como um valor central da política pública. A água, a terra e a produção não são apenas recursos a serem geridos — são partes do modo de vida das pessoas do semiárido. Incluir essas pessoas nas decisões que afetam seu presente e futuro é mais do que um dever do Estado: é um ato de respeito, reconhecimento e construção de um Brasil mais justo e igualitário.

5. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E RESULTADOS

Avaliar o impacto das políticas públicas implementadas no semiárido brasileiro é uma tarefa desafiadora e, ao mesmo tempo, essencial. É por meio da avaliação que se identifica o que funcionou, o que precisa ser aprimorado e quais estratégias devem ser abandonadas. Em regiões marcadas por desigualdades históricas e vulnerabilidade climática, mensurar os resultados das ações públicas permite orientar investimentos, garantir transparência e promover justiça social (Leite *et al.*, 2025).

Os métodos de avaliação variam conforme o tipo de política analisada. Em geral, utiliza-se uma combinação de indicadores quantitativos — como número de famílias atendidas, volume de água captado, aumento da renda ou da produção agrícola — com indicadores qualitativos, que buscam compreender percepções, mudanças de comportamento e fortalecimento da autonomia das comunidades. As avaliações participativas têm ganhado destaque, pois incluem a voz dos beneficiários no processo de análise (Festa; Pinazza, 2023).

Um exemplo emblemático de avaliação bem estruturada é o que foi feito com o Programa Um Milhão de Cisternas. Diversas pesquisas realizadas por universidades e organizações da sociedade civil mostraram que o programa não apenas melhorou o acesso à água potável, como também reduziu significativamente os índices de doenças de veiculação hídrica e aumentou o tempo disponível das mulheres para outras atividades. Esses resultados reforçaram a importância da política e contribuíram para sua expansão (Duarte *et al*, 2023).

Outro caso relevante é o do Programa Água para Todos, especialmente em estados como Pernambuco e Bahia. A avaliação dos sistemas de abastecimento revelou avanços significativos na cobertura hídrica, mas também apontou desafios em relação à manutenção dos equipamentos, gestão comunitária e sustentabilidade financeira dos sistemas. Essa análise ajudou a redesenhar algumas etapas do programa e promover capacitações específicas para os comitês gestores locais (Penteado; Branchi, 2021).

A avaliação também se estende aos impactos da irrigação de pequena escala sobre a renda das famílias agricultoras. Projetos que integram tecnologias sociais, como microaspersão e gotejamento, mostram que é possível produzir com menos água, gerar renda e manter práticas sustentáveis. Estudos apontam que esses sistemas, quando bem acompanhados por assistência técnica e suporte creditício, geram autonomia e incentivam a permanência das famílias no campo (Lessa, 2021).

Contudo, nem todos os resultados são positivos. Avaliações críticas revelam que a falta de articulação entre os diferentes programas, a descontinuidade política e a burocracia excessiva dificultam a consolidação dos avanços. Em muitos casos, políticas bem planejadas não atingem seu potencial por falta de acompanhamento técnico, ausência de indicadores de médio e longo prazo ou falhas na gestão local.

Outro ponto importante é que muitas avaliações ficam restritas ao nível técnico e não são democratizadas para os beneficiários das políticas. É fundamental que os

resultados das análises retornem às comunidades, possibilitando um processo de aprendizagem coletiva. Avaliar é também educar — e envolver os atores locais no processo fortalece a cidadania e qualifica as políticas públicas (Nascimento *et al.*, 2022).

As lições aprendidas ao longo dos últimos anos mostram que políticas que integram avaliação contínua e participação popular têm mais chances de alcançar resultados duradouros. A escuta ativa, a adaptação às realidades locais e o uso de dados confiáveis contribuem para um ciclo virtuoso de planejamento, execução e reavaliação das ações. Isso é ainda mais relevante no semiárido, onde os contextos mudam rapidamente conforme as chuvas, o clima e as dinâmicas territoriais (Santos *et al.*, 2025).

Para o futuro, é essencial investir em sistemas de monitoramento territorializado, capazes de acompanhar os impactos das políticas de forma permanente. Ferramentas digitais, indicadores de vulnerabilidade hídrica, mapas de risco e metodologias participativas devem fazer parte de uma nova geração de políticas públicas orientadas por evidências. Com isso, será possível garantir que os recursos investidos promovam, de fato, desenvolvimento, equidade e resiliência para os povos do semiárido (Martins *et al.*, 2024).

A avaliação de políticas públicas não é apenas uma tarefa técnica. É, sobretudo, um exercício ético e político. Trata-se de olhar para as ações realizadas, reconhecer os erros e os acertos e, principalmente, aprender com as experiências vividas no território. No semiárido brasileiro, onde cada gota de água tem valor simbólico e prático, avaliar é também valorizar as lutas, os saberes e os sonhos das comunidades que transformam a aridez em potência.

6. DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O semiárido brasileiro está entre as regiões mais sensíveis às mudanças climáticas. A elevação das temperaturas médias, a irregularidade das chuvas e a intensificação dos eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, vêm impactando diretamente a vida das populações locais e a produção agrícola. Adaptar-se a esse novo cenário é uma urgência que exige planejamento, investimento e compromisso de todos os níveis de governo. Não se trata apenas de reagir, mas de se antecipar e criar estruturas mais resilientes para enfrentar o futuro (Santos *et al.*, 2023).

A gestão integrada dos recursos hídricos aparece como um dos principais desafios para a região. É preciso superar a fragmentação institucional, garantir a articulação entre

os entes federativos e ampliar a participação social nos processos decisórios. Além disso, a implementação de políticas de uso racional da água, associadas a tecnologias de reaproveitamento e conservação, pode transformar o cenário de escassez em oportunidade de inovação e eficiência. Água bem gerida é sinônimo de dignidade, produção e desenvolvimento (Rabelo *et al.*, 2021.).

Garantir segurança hídrica e alimentar para as populações do semiárido é outro grande desafio que se impõe. Isso passa não apenas por ampliar o acesso à água potável e para a produção, mas também por fortalecer a agricultura familiar, diversificar a produção local e valorizar os alimentos do território. A alimentação saudável e adequada deve ser um direito assegurado por políticas públicas comprometidas com a soberania alimentar e com a valorização da cultura local (Santos; Sousa, 2023).

Reduzir as desigualdades sociais e regionais exige uma abordagem intersetorial e territorializada. Não se pode tratar o semiárido como um bloco homogêneo — cada comunidade, cada microrregião, possui realidades e necessidades distintas. A superação das desigualdades passa pela garantia de acesso à educação de qualidade, à saúde, ao saneamento, à moradia digna e à terra. E mais do que isso: passa pela valorização do saber local e pela inclusão de populações historicamente marginalizadas nas decisões sobre o próprio futuro (Filho, 2022).

A inovação tecnológica e social surge como aliada potente na transformação do semiárido. Tecnologias simples, como sistemas de captação de água da chuva, irrigação por gotejamento, energia solar e produção agroecológica, já têm mostrado impactos expressivos na vida das famílias agricultoras. Quando somadas ao fortalecimento das redes de cooperação, ao acesso ao crédito e à assistência técnica, essas soluções se tornam ferramentas de autonomia, geração de renda e resistência (Sobrinho, 2025).

Entretanto, para que essas inovações se espalhem e ganhem escala, é fundamental investir em políticas públicas estruturantes e contínuas. A instabilidade política e a descontinuidade de programas são obstáculos reais ao desenvolvimento sustentável. A construção de políticas de Estado — que ultrapassem mandatos e interesses eleitorais — é uma necessidade urgente para consolidar os avanços já conquistados e abrir caminho para novas conquistas (Santos; Comunello, 2025).

O fortalecimento da juventude rural é uma das chaves para esse futuro mais sustentável. Garantir que os jovens permaneçam no campo com acesso a educação, tecnologia e oportunidades é essencial para a renovação dos saberes e das práticas

produtivas. A juventude do semiárido tem mostrado criatividade, protagonismo e capacidade de inovação — cabe ao poder público reconhecer e apoiar esse potencial (Soares; Roesler, 2021).

A articulação entre universidades, institutos de pesquisa, movimentos sociais e governos pode produzir conhecimento estratégico e soluções contextualizadas. É por meio dessa cooperação que surgem metodologias adequadas, tecnologias apropriadas e políticas eficazes. A ciência, quando feita com diálogo e compromisso com o território, se torna um instrumento poderoso para o bem comum (Menezes, 2024).

As experiências de convivência com o semiárido nos ensinam que é possível viver, produzir e prosperar mesmo em ambientes de baixa pluviometria. Mas para isso, é necessário mudar a lógica de “combate à seca” para a lógica da valorização do território. O sertão não é ausência — é potência, diversidade, cultura e saber. O desafio está em enxergar essa riqueza e construir caminhos que respeitem suas singularidades (Correia *et al.*, 2022).

Dessa forma, o futuro do semiárido será decidido pelas escolhas que fizermos hoje. Se priorizarmos políticas participativas, sustentáveis e baseadas na justiça social, teremos uma região mais forte, justa e resiliente. O semiárido não é um problema a ser resolvido, mas um espaço vivo e fértil de possibilidades. Cabe a nós garantir que ele floresça com dignidade, sabedoria e esperança.

Referências Bibliográficas

- ALVES, S. P.; MEDEIROS, M. D. Economia solidária no semiárido brasileiro: a rede xique-xique como estratégia de reprodução territorial e preservação do meio ambiente. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 15, 2024.
- ARAÚJO, L. P. S. *et al.* Zonas fortemente degradadas como instrumentos de decisão para a auditoria operacional na política de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no semiárido, do tribunal de contas do estado da Paraíba. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 4, n. 4, 2022.
- ARAÚJO, R. V. *et al.* Percepção popular sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável nos municípios do Vale do Rio Araguaia: Barra do Garças-MT, Pontal do Araguaia-MT e Aragarças-GO, Brasil. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 9, e6822-e6822, 2024.
- ATHAYDE, V. P.; REZENDE, S. Universalização do abastecimento de água em áreas rurais: a entrada na agenda de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 41, e00036124, 2025.
- BARBOSA, M. T. **Gestão de Água e o Papel das Mulheres no Semiárido Brasileiro: Aspectos legais, socioculturais e políticos.** 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/45427838/Gest%C3%A3o_de_%C3%81gua_e_o_Papel_das_Mulheres_no_Semi%C3%A1rido_Brasileiro_Aspectos_legais_socioculturais_e_pol%C3%A1ticos. Acesso em: 20 abr. 2025.
- CARRETERO, J. S.; PAIXÃO, M. V. S. A visão dos pedagogos das cidades de Maricá/RJ e Niterói/RJ em relação às suas diferentes formas de atuação. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 13979-13992, 2024.
- CARVALHO, D. A. F.; GOMES, J. M. A. Análise das políticas públicas para a agricultura familiar no semiárido nordestino brasileiro. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 13, n. 4, p. 2271-2295, 2022.
- CHAVES, J. L. *et al.* Instabilidade pluviométrica e as tecnologias sociais como aliadas da produção de cultivos de sequeiro em Cravolândia-BA. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 74, p. 1079-1079, 2023.
- CHIODI, R. E. *et al.* A governança nexos água, energia e alimentos e os espaços públicos de participação social: um estudo aplicado ao contexto do Sistema Produtor de Água Cantareira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 40-62, 2021.
- CORREIA, S. É. N. *et al.* As organizações da sociedade civil e suas relações interinstitucionais nas inovações sociais. **Gestão & Regionalidade**, v. 38, n. 114, 2022.
- CORTEZ, R. S.; EMPINOTTI, V. L. Segurança hídrica em Paranapiacaba e o acesso à água para além da infraestrutura. In: **Paranapiacaba: conflitos, saberes e perspectivas de desenvolvimento na Macrometrópole Paulista**. Ramos, R. F. et al. (Org.). Santo André: EdUFABC, 2021.

COSTA, F. A. A. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos como estratégia para seu uso sustentável no Brasil. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 7, n. 2, p. 113-132, 2021.

CRUZ, B. A. B. Lei de Acesso à Informação como mecanismo de controle social sobre políticas públicas e combate à corrupção. **Cadernos técnicos da CGU**, v. 2, 2022.

CUNHA, H. F. A. *et al.* Perspectiva jurídico-ambiental da gestão de recursos hídricos no estado do Amapá, Amazônia Oriental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 710-724, 2021.

DIAS, E. M. S. *et al.* Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. **Mercator (Fortaleza)**, v. 21, p. e21025, 2023.

DINIZ, P. C. O. *et al.* Acesso à água para consumo humano no Semiárido brasileiro: o programa Um Milhão de Cisternas e suas implicações sociais. **Contemporânea-Revista de Sociologia da UFSCar**, v. 12, n. 1, 2022.

DUARTE, M. S. C. *et al.* Qualidade de vida das famílias beneficiárias do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) no município de Moreilândia, PE. **REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 13, n. 4, p. 139-156, 2023.

ESTEVES, P. V.; FORTUNATO, R. Â. Desenvolvimento territorial a partir da integração da aquicultura: estudo de caso sobre a produção rural de Santa Rita, Teresópolis (RJ). **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 21, n. 61, p. 209-225, 2025.

FERREIRA, S. M. R.; BARTACHEVITS, E. L. F. Sociobiodiversidade e Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional como um direito indissociável à alimentação adequada e saudável. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, e45811125161, 2022.

FESTA, M.; PINAZZA, M. A. Artigo-a autoavaliação institucional participativa das instituições de educação infantil e a corresponsabilidade dos educadores. **Educação em Revista**, v. 39, p. e39321, 2023.

FILHO, J. F. M. Direito à moradia no Brasil: superação da desigualdade nas cidades. **Revista Lampiar**, v. 1, n. 01, 2022.

GOMES, J. V.; SÁNCHEZ, J. A. G. Complementos indispensáveis para a implementação apropriada da energia solar fotovoltaica como tecnologia no programa Luz para Todos. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 20, n. 59, p. 309-329, 2024.

LEANDRO, A. B. F. Na trilha da educação norte-rio-grandense: a emergência das práticas escoteiras na cidade do Natal no início do século XX. **Educar em Revista**, v. 37, p. e77046, 2021.

LEITE, M. J. *et al.* Educação ambiental e geografia do semiárido: o papel da Caatinga na sustentabilidade regional. **Revista Delos**, v. 18, n. 64, e4052, 2025.

LESSA, A. C. V. **A Metodologia Ativa (ABP) no ensino das ciências ambientais: Projetos Sustentáveis com Produtos Técnicos de Hortas Mandalas Agroecológicas nas Escolas**. Dissertação (Pós-Graduação em Rede Nacional para Ensino Das Ciências Ambientais-PROFCIAMB). São Cristóvão -SE, 2021.

LORANDES, G. M. II pnd e desenvolvimento regional: uma análise sobre a indústria no Nordeste. **REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE-ISSN 2763-8928**, v. 5, n. 1, e51215, 2025.

MARTINS, A. L. J. *et al.* A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como estratégia para equidade em saúde e territórios sustentáveis e saudáveis. **Saúde em Debate**, v. 48, p. e8828, 2024.

MEDEIROS, C. B.; SILVEIRA, S. K. Programa um milhão de cisternas: uma inovação social institucionalizada. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 9, n. 1, p. 59-73, 2022.

MELCHIORI, C. *et al.* As cisternas de placa no Semiárido brasileiro (caso de ensino): dilemas da transformação de uma tecnologia social em política pública. **Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração**, v. 12, p. 1-13, 2022.

MENDES, V. S.; PINHEIRO, D. M. A. Análise de sustentabilidade e apoio extensionista em comunidade rural no semi-árido alagoano. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 10, e6066, 2024.

MENEZES, U. S. **Impulsionando a integridade nos municípios do Consórcio Intermunicipal do Semiárido do Nordeste II da Bahia**. Dissertação (mestrado profissional em Administração Pública em Rede Nacional) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

MOREIRA, V. M. *et al.* Desafios do controle ambiental dos recursos hídricos: um estudo da Área de Preservação Permanente (APP) do Ribeirão da Mata-MG. **Cadernos do Leste**, v. 22, n. 22, 2022.

NASCIMENTO, A. L. S. *et al.* O fortalecimento da Pedagogia da Alternância no âmbito do Semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica sistemática. **Revista Multidisciplinar do Núcleo de Pesquisa e Extensão (RevNUPE)**, v. 2, n. 2, e202203v2, 2022.

NASCIMENTO, J. W. S. *et al.* Gestão de Riscos Climáticos: Avanços e Desafios no Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 05, p. 3778-3793, 2024.

OLIVEIRA JR, C. J. F. *et al.* Pensar as águas e construir a segurança hídrica no território da Comuna da Terra Dom Tomás Balduino, Franco da Rocha, SP. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

PENTEADO, T. B.; BRANCHI, B. A. O acesso à água e saneamento na promoção do desenvolvimento humano. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n. 35, p. 2021, 2021.

PEREIRA, A. R.; CASTRO, D. R. Agricultura sintrópica: manejo sustentável da Caatinga. **Revista Sertão Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 39-59, 2024.

POLLNOW, G. E. *et al.* Sucessão geracional e instalação de jovens na agricultura: a percepção de organizações sindicais da Espanha. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 4, p. e263213, 2022.

RABELO, M. T. O. *et al.* Participação social no diagnóstico e prognóstico do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e507101018137, 2021.

SANTOS, A.; SOUSA, F. C. Barragens subterrâneas como alternativa para garantia de segurança hídrica em regiões semiáridas: desafios e oportunidades. **Revista Semiárido De Visu**, v. 11, n. 3, p. 616-636, 2023.

SANTOS, D. M. A. *et al.* Nas trilhas da geografia: a viabilidade das novas metodologias ativas para escolas do campo e indígena no município de Iranduba-AM. **Revista Geopolítica Transfronteiriça**, v. 9, n. 1, p. 01-16, 2025.

SANTOS, F.; COMUNELLO, F. J. A rede de atores e capacidades estatais: desafios ao desenvolvimento do turismo em Osório a partir da perspectiva do comtur. **Revista Orbis Latina**, v. 15, n. 1, p. 329-341, 2025.

SANTOS, Y. C. *et al.* Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 22, n. 1, p. 46-66, 2023.

SCHIESARI, C.; MARQUES, P. E. M. Justificações da adoção do enfoque territorial nas políticas públicas rurais: o caso da Bahia. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 44, n. 1, p. 57-79, 2024.

SOARES, S. C.; ROESLER, M. R. V. B. O direito a sustentabilidade ambiental: uma perspectiva a partir da juventude rural. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 1285-1297, 2021.

SOBRINHO, J. F. Educação contextualizada com o semiárido e os componentes naturais no ensino da geografia. **International Journal Semiarid**, v. 8, n. 1, p. 23-51, 2025.

SOUZA, A.; VIANA, E.; FILHO, H. F. Potencialidades e desafios do Protocolo de Transição Agroecológica como política pública a partir da experiência no extremo sul de São Paulo-SP. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

SOUZA, M. V. K. *et al.* Política nacional de recursos hídricos (pnrh): um estudo comparativo sobre arrecadação e desembolso das bacias hidrográficas interestaduais no Brasil. **Caderno PAIC**, v. 22, n. 1, p. 659-684, 2021.

SOUZA, S. D. G. *et al.* Disponibilidade hídrica e a dinâmica urbano-regional do Semiárido brasileiro. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 57, 2022.

VALADARES, A. **Agricultura familiar no Brasil: um panorama de produção, do perfil e dos sinais de mudanças entre os censos agropecuários de 2006 e 2017.** 2022.

Disponível em:
https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11403/1/agricultura_familiar_cap4.pdf. Acesso em: 21 abr. 2025.

WILL, G. Caminhos para a gestão escolar: uma análise das práticas e desafios no contexto educacional público. **Revista de Gestão e Avaliação Educacional**, e90206, 2025.

CAPÍTULO 6

O FUTURO DAS ÁGUAS DO SEMIÁRIDO: DESAFIOS E INOVAÇÕES PARA A GESTÃO HÍDRICA

Rachel Borges da Silva

Vitória Janne Gomes Mendes

Marcus Richard Marreiros Macedo

Vanessa Mendes da Silva

Ellen da Silva Melo

Carla Michelle da Silva

1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO: CENÁRIOS FUTUROS E NECESSIDADE DE ADAPTAÇÃO

As mudanças climáticas têm se destacado como um dos principais desafios globais do século XXI, e seus efeitos são particularmente severos em regiões vulneráveis, como o semiárido brasileiro. Essa área, que já apresenta condições climáticas adversas, com baixa e irregular precipitação e altas temperaturas, enfrenta um risco crescente devido à intensificação de eventos extremos. As variações no regime de chuvas, com períodos mais prolongados de seca e chuvas concentradas em eventos intensos, afetam diretamente a disponibilidade de água, tanto para o consumo humano quanto para atividades produtivas como a agricultura. Devido às características naturais da região, essas mudanças climáticas podem agravar problemas já existentes, como a desertificação e a redução da capacidade de produção agrícola (IPCC, 2014; ANA, 2020).

Estudos projetam que as mudanças no clima continuarão a modificar os padrões de precipitação, resultando em chuvas mais irregulares e maior concentração de água em

eventos pontuais, sem permitir a recarga adequada dos aquíferos e reservatórios naturais. O aumento das temperaturas intensifica a evaporação, o que reduz ainda mais a quantidade de água disponível, tanto em fontes superficiais quanto subterrâneas. Esses cenários indicam que o semiárido brasileiro terá de enfrentar um futuro com maior escassez hídrica, exigindo adaptações urgentes e estratégias de mitigação. Além disso, as mudanças climáticas também afetam a qualidade da água, pois a concentração de sedimentos e poluentes aumenta em períodos de seca, comprometendo o abastecimento para a população e as atividades econômicas (UNESCO, 2018; CEMADEN, 2020).

1.1 Aumento da temperatura e alteração no regime de chuvas

O aumento da temperatura média global, já observado nas últimas décadas, tende a intensificar-se nas regiões semiáridas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), há uma expectativa de elevação da temperatura média global entre 1,5 °C e 4,5 °C até o final do século, sendo que o semiárido brasileiro poderá registrar aumentos de até 3 °C nos próximos 50 anos, em cenários de altas emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2014).

O aumento das temperaturas terá impactos significativos sobre o regime de chuvas, que já apresenta características de irregularidade e má distribuição ao longo do ano. Essas alterações climáticas tornam o comportamento das chuvas ainda mais imprevisível, concentrando-se em eventos extremos, como tempestades intensas e de curta duração. Conforme relatado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2024), essas precipitações, apesar de volumosas, tendem a causar problemas como enchentes e erosão, ao invés de contribuir para a recarga efetiva de aquíferos e reservatórios. Isso ocorre porque a água das chuvas, ao se concentrar em pouco tempo, escoar rapidamente pelo solo, dificultando sua absorção. Esse processo agrava as crises hídricas, especialmente em regiões que já enfrentam dificuldades com a escassez de água, pois os sistemas de captação e armazenamento não conseguem aproveitar adequadamente essa água, essencial para o abastecimento durante os períodos de seca prolongada. Assim, a irregularidade e a intensidade das chuvas exacerbam o desafio de gestão hídrica, principalmente em áreas vulneráveis.

Os estudos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) apontam que o regime de chuvas no semiárido brasileiro está se tornando

cada vez mais imprevisível, com precipitações concentradas em eventos extremos. Isso significa que, em vez de chuvas distribuídas ao longo da estação chuvosa, haverá tempestades intensas em um curto período. Essas tempestades trazem riscos significativos, como enchentes e erosão, principalmente em áreas com cobertura vegetal insuficiente ou com manejo inadequado do solo. Além de danificar infraestruturas e áreas agrícolas, essas chuvas não contribuem adequadamente para a recarga dos aquíferos e barragens, pois a água tende a escoar rapidamente, sem ser absorvida pelo solo. Esse cenário agrava ainda mais a escassez hídrica na região, que já depende de reservatórios e sistemas de armazenamento de água para enfrentar os períodos de seca (CEMADEN, 2020).

O semiárido brasileiro é altamente vulnerável às mudanças climáticas, com projeções que indicam o agravamento das secas e a intensificação dos períodos de estiagem. Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, até o final do século, a precipitação na região pode diminuir entre 40% a 50%, o que colocará em risco a disponibilidade de água em um cenário onde a demanda já supera a oferta em diversos municípios. Essa redução impactará diretamente o abastecimento hídrico e a agricultura, que são atividades econômicas cruciais na região (Ambrizzi *et al.*, 2013).

A redução das chuvas e o aumento da temperatura exacerbam o processo de desertificação e aumentam os riscos para as atividades agrícolas, que já dependem de sistemas irrigados. Estima-se que o cultivo de culturas irrigadas, como a melancia, será severamente afetado por essas mudanças climáticas, levando a perdas significativas de produtividade e pressionando ainda mais os recursos hídricos locais. Estudos mostram que a viabilidade econômica da irrigação de culturas no semiárido depende de novas estratégias de manejo e de políticas públicas de adaptação para enfrentar os cenários climáticos projetados (Nunes *et al.*, 2017).

Além dos impactos diretos na agricultura e na disponibilidade de água, as mudanças climáticas no semiárido também têm implicações sociais graves. A população rural, que depende fortemente da agricultura para subsistência, será a mais afetada pela intensificação das secas, o que pode aumentar a migração forçada em busca de melhores condições de vida. Esses cenários indicam que, sem a implementação de políticas públicas robustas que promovam a adaptação e a resiliência climática, o semiárido brasileiro enfrentará desafios crescentes para garantir a segurança hídrica e alimentar da região (Silva *et al.*, 2014).

Esse impacto nas economias locais, fortemente dependentes da água, pode ser devastador se não houver intervenções eficazes. A escassez de água não afeta apenas a produção agrícola, mas também a pecuária e outras atividades econômicas importantes para a região. O agravamento dessa situação colocaria em risco a segurança alimentar e hídrica, com efeitos de longo prazo sobre o desenvolvimento econômico e social. Portanto, a adoção de medidas integradas e a promoção de práticas sustentáveis são cruciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas no semiárido e garantir a resiliência da região a futuros eventos climáticos extremos (ANA, 2020; Silva *et al.*, 2019).

1.2 Impactos na Disponibilidade Hídrica

Os impactos sobre a disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro são alarmantes, uma vez que a região já sofre historicamente com a escassez de água. A combinação entre o aumento da temperatura e a redução na precipitação tem um efeito direto na quantidade de água disponível nos corpos d'água da região. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) projeta que, até 2050, a vazão dos rios no semiárido poderá diminuir entre 10% e 40%, dependendo do cenário climático considerado. Muitos rios da região são intermitentes, ou seja, dependem exclusivamente das chuvas para manter seu fluxo, o que agrava a situação, já que a irregularidade e a concentração das chuvas em eventos extremos não contribuem significativamente para a recarga sustentável dos mananciais (ANA, 2019).

Além dos rios, os aquíferos subterrâneos, que desempenham um papel vital no abastecimento hídrico do semiárido, também sofrerão com os efeitos das mudanças climáticas. A redução na recarga desses aquíferos é um problema crítico, pois esses reservatórios subterrâneos são muitas vezes a principal fonte de água para comunidades rurais durante longos períodos de estiagem. De acordo com a UNESCO, a demanda crescente por água, impulsionada pelo aumento populacional e pelas atividades econômicas, somada à diminuição na recarga, pode levar ao esgotamento desses aquíferos em algumas áreas. Isso coloca em risco o abastecimento de cidades e zonas rurais, especialmente em áreas onde a infraestrutura de captação e distribuição de água é deficiente (UNESCO, 2018).

Esse cenário da redução da disponibilidade hídrica também afeta outros setores além do abastecimento doméstico, como a agricultura e a indústria. A agricultura irrigada,

responsável por grande parte do consumo de água na região, pode enfrentar sérios desafios à medida que os recursos hídricos se tornam mais escassos e o custo de obtenção de água aumenta. Da mesma forma, a indústria que depende da água para processos produtivos, como a agroindústria e a indústria de alimentos e bebidas, poderá sofrer com a redução na oferta de água e, conseqüentemente, com a elevação dos custos operacionais. Esses impactos econômicos e sociais exigem uma gestão integrada e políticas de adaptação que considerem a implementação de tecnologias mais eficientes no uso da água e o fortalecimento da infraestrutura de armazenamento e distribuição de recursos hídricos (ANA, 2019; UNESCO, 2018).

1.3 Necessidade de Adaptação

A necessidade de adaptação aos impactos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro é um ponto central para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos da região. Com a intensificação das secas e a diminuição da disponibilidade de água, é imperativo implementar estratégias adaptativas que possam mitigar os efeitos negativos sobre as populações e atividades econômicas locais. Medidas como a captação e o armazenamento de água da chuva, por meio de cisternas e pequenos reservatórios, são essenciais para garantir a utilização eficiente da água durante os períodos de estiagem prolongada. Tecnologias agrícolas mais sustentáveis, como a irrigação por gotejamento e o cultivo de plantas mais resistentes ao estresse hídrico, têm mostrado grande potencial para reduzir o consumo de água e manter a produtividade agrícola em condições adversas (EMBRAPA, 2020).

O fortalecimento de políticas públicas focadas na gestão eficiente dos recursos hídricos também é vital. A ampliação da infraestrutura de reservatórios e a modernização dos sistemas de distribuição e abastecimento de água são cruciais para assegurar a segurança hídrica, especialmente em áreas mais vulneráveis. Além disso, o investimento em sistemas de monitoramento hidrológico, que utilizam tecnologias como sensoriamento remoto e modelagem climática, permitirá prever crises hídricas e otimizar o uso dos recursos disponíveis. Isso possibilita uma gestão mais precisa e eficaz, ajudando a antecipar e mitigar os impactos das secas prolongadas, o que é particularmente importante para setores como a agricultura irrigada, grande consumidora de água no semiárido (ANA, 2020).

A cooperação entre diferentes setores da sociedade, como governos, organizações não governamentais, instituições de pesquisa e a sociedade civil, será essencial para aumentar a resiliência do semiárido frente aos impactos das mudanças climáticas. A criação de parcerias entre esses atores pode incentivar a inovação, melhorar o acesso a tecnologias adaptativas e promover a conscientização sobre o uso racional da água. Além disso, a educação ambiental e a capacitação de pequenos produtores são fundamentais para disseminar práticas sustentáveis e incentivar a adoção de soluções que contribuam para a preservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade a longo prazo (Silva *et al.*, 2019).

2. CRESCIMENTO POPULACIONAL E DEMANDA POR ÁGUA NO SEMIÁRIDO

O crescimento populacional no semiárido brasileiro representa um desafio crescente para a gestão dos recursos hídricos, intensificado pela expansão urbana, desenvolvimento econômico e mudanças climáticas. Segundo o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil conta atualmente com uma população de 203 milhões de habitantes, com um aumento de 6,5% desde o último censo em 2010. A região semiárida, que abrange cerca de 12% do território nacional e mais de 1,1 milhão de km², enfrenta um crescimento populacional contínuo, elevando a pressão sobre os recursos hídricos locais. Esse crescimento acentuado, especialmente nas médias e grandes cidades, é alimentado pela migração interna em busca de melhores condições de vida, refletindo na urbanização acelerada de diversas áreas do semiárido (IBGE, 2022).

As demandas adicionais por água são ainda mais preocupantes diante da irregularidade do regime de chuvas e dos períodos prolongados de estiagem característicos dessa região. Estudos indicam que o abastecimento de água pode se tornar um problema crítico caso não haja uma gestão eficiente dos recursos hídricos e implementação de políticas públicas adaptativas, principalmente para assegurar a sustentabilidade dos recursos frente ao aumento da demanda urbana e agrícola. Projeções do IBGE e outras fontes indicam que a população no semiárido tende a continuar crescendo, exigindo ações coordenadas para mitigar os impactos da escassez de água e garantir o abastecimento para as populações mais vulneráveis e para as atividades econômicas essenciais, como a agricultura irrigada (Azevêdo, 2015).

Esses desafios ressaltam a necessidade de práticas de gerenciamento de água que

integrem tecnologias de uso eficiente e políticas de planejamento urbano e agrícola voltadas para a preservação dos recursos hídricos. Sem uma adaptação estratégica para enfrentar as pressões populacionais e climáticas, o semiárido brasileiro poderá enfrentar crises hídricas mais frequentes e severas. A adoção de uma gestão integrada dos recursos hídricos, incentivando o uso sustentável e equilibrado da água, será fundamental para a estabilidade e o desenvolvimento da região nos próximos anos (Silva *et al.*, 2022).

As atividades econômicas, particularmente a agricultura irrigada, são um dos maiores impulsionadores da demanda por água no semiárido. A irrigação é responsável por mais de 70% do consumo de água na região, sendo amplamente utilizada na produção de frutas, como melão, manga e uva, destinadas tanto ao mercado interno quanto à exportação. Esse setor é fundamental para a economia local, mas também é um dos maiores responsáveis pela pressão sobre os recursos hídricos, especialmente durante períodos de seca. A indústria e o turismo também vêm crescendo, o que aumenta ainda mais a demanda por água (IPEA, 2018; Bassoi *et al.*, 2018).

A agricultura irrigada no semiárido brasileiro exerce intensa pressão sobre os recursos hídricos, especialmente nas áreas onde a disponibilidade de água já é naturalmente restrita. De acordo com a ANA, a agricultura é responsável por aproximadamente 50,5% do consumo de água no Brasil, destacando-se como o setor de maior demanda hídrica, enquanto os abastecimentos urbanos e industriais ocupam posições secundárias (ANA, 2023). Estima-se que nas regiões irrigadas do semiárido, o consumo anual pode chegar a 6.000 m³ por hectare, valor substancialmente superior ao consumo urbano e industrial.

O crescimento de setores como a vinicultura e o ecoturismo, especialmente no Vale do São Francisco, reforça a pressão sobre os recursos hídricos. A expansão dessas atividades, embora benéfica para a economia, intensifica a demanda por água em áreas já vulneráveis, onde o clima semiárido torna os períodos de seca frequentes e prolongados. De fato, a crescente atividade turística e industrial eleva a necessidade de uma gestão hídrica eficiente e de políticas públicas que promovam o uso racional da água (MAPA, 2022).

Diante do aumento da demanda por água e da pressão sobre os recursos naturais, o planejamento sustentável torna-se essencial para mitigar os impactos futuros. Um ponto central é a implementação de tecnologias que aumentem a eficiência no uso da água, como sistemas de irrigação por gotejamento e a adoção de práticas agrícolas que utilizem menos

água sem comprometer a produtividade, além disso, é necessário investir em infraestrutura de reservação e captação de água, como a construção de novas barragens, cisternas e adutoras, além da recuperação de açudes já existentes. Projetos de infraestrutura verde, como a recuperação de matas ciliares e a preservação de nascentes, são igualmente importantes para manter a oferta de água de maneira mais sustentável (Santos *et al.*, 2020).

Outro aspecto relevante é a gestão integrada dos recursos hídricos, com a criação de políticas públicas que incentivem o uso racional da água e a preservação dos aquíferos. O fortalecimento de sistemas de monitoramento, como o uso de tecnologias de sensoriamento remoto e modelagem climática, também pode ajudar a prever crises hídricas e a tomar decisões mais eficazes. Isso inclui investimentos em infraestrutura de armazenamento de água, como barragens e cisternas, além da modernização dos sistemas de irrigação para reduzir o desperdício. Além disso, políticas públicas que incentivem a conservação ambiental e o uso sustentável dos recursos hídricos são fundamentais para garantir a disponibilidade de água no futuro (Trata Brasil, 2023).

3. GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS: CONCEITOS, FERRAMENTAS E DESAFIOS

O gerenciamento integrado de recursos hídricos (GIRH) é uma abordagem que visa garantir o uso sustentável da água, equilibrando as demandas econômicas, ambientais e sociais. No Brasil, a Lei nº 9.433/1997, conhecida como a Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que promove o uso múltiplo da água e a preservação dos recursos hídricos, utilizando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Esse modelo facilita a coordenação entre os diversos usuários da água em uma mesma região, promovendo a resolução de conflitos e a gestão mais eficiente dos recursos. Os comitês de bacia hidrográfica, formados por representantes do governo, sociedade civil e usuários, são os responsáveis pela formulação de planos de ação e pela gestão dos recursos hídricos nas respectivas regiões (Brasil, 1997; Empinotti *et al.*, 2021).

Entretanto, a implementação do GIRH no Brasil enfrenta desafios significativos. Um dos principais problemas é a fragmentação da governança, com falta de articulação eficaz entre os diferentes níveis de governo e instituições envolvidas. Isso gera sobreposição de competências e lacunas na gestão. Além disso, a resistência de setores

como a agricultura irrigada à cobrança pelo uso da água dificulta a implementação de mecanismos econômicos que incentivem o uso racional dos recursos hídricos (Nicollier *et al.*, 2023). Essa cobrança, prevista na PNRH, é uma ferramenta essencial para promover a eficiência no uso da água, mas enfrenta barreiras políticas e econômicas.

Outro aspecto relevante é a desigualdade na distribuição de água no Brasil, onde regiões como o Nordeste sofrem com a escassez de recursos hídricos, enquanto o Norte tem abundância. Esse cenário de desigualdade reforça a importância de uma gestão integrada e descentralizada, que promova o uso equitativo e sustentável da água, com foco em tecnologias de eficiência hídrica e políticas públicas que apoiem tanto os usuários quanto a preservação ambiental (Empinotti *et al.*, 2021; ANA, 2022).

3.1 Conceitos Fundamentais

O conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento é fundamental no gerenciamento dos recursos hídricos, pois abrange todas as áreas de captação da precipitação que convergem para um mesmo corpo d'água. As bacias hidrográficas são delimitadas naturalmente e permitem uma visão integrada da dinâmica hídrica e ambiental de uma região. Esse enfoque proporciona uma gestão mais eficiente, uma vez que possibilita a coordenação entre os diferentes usos da água dentro de uma mesma área geográfica, levando em consideração as inter-relações entre os diversos setores, como agricultura, abastecimento urbano, indústria e preservação ambiental. Dessa forma, o manejo da água se torna mais sustentável e adaptado às especificidades locais (Porto *et al.*, Tucci, 2020).

Além disso, a bacia hidrográfica facilita a descentralização da gestão dos recursos hídricos, promovendo a participação de diversos atores no processo decisório, incluindo órgãos públicos, a sociedade civil e os usuários diretos da água. Essa abordagem também favorece a resolução de conflitos pelo uso da água, uma vez que todos os interesses são analisados em conjunto, buscando soluções que minimizem os impactos ambientais e atendam às necessidades de todos os envolvidos (Silva; Araújo, 2018).

Outro princípio essencial é o uso múltiplo da água, que considera que os recursos hídricos devem atender a diversas necessidades: abastecimento humano, agricultura, indústria, geração de energia, lazer e preservação ambiental. O desafio, nesse caso, é garantir que esses usos não entrem em conflito e que os recursos sejam alocados de forma

equitativa e sustentável (Pereira *et al.*, 2019).

A participação social no processo decisório também é um dos pilares da PNRH, sendo garantida pela criação de comitês de bacia hidrográfica, conselhos de recursos hídricos e outros mecanismos de participação. Estes comitês, formados por representantes do governo, da sociedade civil e dos usuários da água, têm a função de definir diretrizes para o uso dos recursos hídricos nas respectivas bacias, promover o diálogo entre os setores e decidir sobre os instrumentos de gestão (Jacobi, 2004). Ferramentas de Gestão: a PNRH define uma série de ferramentas que permitem operacionalizar o gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Entre as principais estão os Planos de Recursos Hídricos, a outorga de direitos de uso da água e a cobrança pelo uso da água.

- Planos de recursos hídricos: São instrumentos de planejamento estratégico que estabelecem diretrizes, metas e ações para a gestão da água em uma bacia hidrográfica. Esses planos são elaborados com base em diagnósticos detalhados das condições hidrológicas, econômicas e sociais da bacia, e sua implementação envolve a articulação entre diferentes níveis de governo e usuários (ANA, 2020).

- Outorga: Trata-se de um instrumento jurídico que confere aos usuários o direito de utilizar recursos hídricos, garantindo a distribuição racional e legalmente controlada dos recursos. A outorga visa a assegurar que a água seja utilizada de maneira justa e eficiente, prevenindo o uso abusivo e a sobrecarga de determinados mananciais (Porto *et al.*, 2020).

- Cobrança pelo uso da água: Esse mecanismo busca dar um valor econômico ao recurso hídrico, incentivando o uso racional e evitando o desperdício. A cobrança é baseada no princípio do usuário-pagador, onde aqueles que utilizam a água devem contribuir para a sua preservação e para a manutenção da infraestrutura necessária ao seu fornecimento (Pereira *et al.*, 2019).

3.2 Desafios para a Implementação do GIRH

Embora o Brasil tenha adotado um arcabouço legislativo robusto para a gestão de recursos hídricos, a implementação plena do GIRH enfrenta diversos desafios. Um dos principais entraves é a falta de infraestrutura adequada e de investimentos contínuos para garantir que os instrumentos de gestão sejam aplicados de forma eficiente. A ausência de um sistema eficaz de monitoramento e fiscalização, em muitas bacias, compromete a

eficácia da outorga e da cobrança pelo uso da água (ANA, 2020).

Além disso, há uma grande disparidade regional na capacidade de implementar o gerenciamento integrado. Regiões mais desenvolvidas, como o Sudeste, possuem maior infraestrutura e organização institucional, enquanto regiões semiáridas, como o Nordeste, enfrentam dificuldades adicionais, como escassez de água e fragmentação institucional (Jacobi, 2004). O fortalecimento dos comitês de bacia, que desempenham um papel essencial na governança hídrica, é outro desafio importante, uma vez que muitos deles enfrentam problemas de recursos financeiros e falta de engajamento dos diferentes setores da sociedade.

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos é um processo dinâmico e desafiador que envolve a articulação de diversos setores da sociedade e a implementação de ferramentas estratégicas. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o uso múltiplo da água e a participação social são pilares essenciais que, quando aliados a instrumentos como planos de recursos hídricos, outorga e cobrança, podem garantir o uso sustentável da água. No entanto, para que o GIRH se consolide plenamente no Brasil, é necessário enfrentar desafios estruturais e regionais, além de se adaptar às pressões impostas pelas mudanças climáticas (Cerezini; Castro, 2024).

Por fim, as mudanças climáticas representam um desafio adicional, pois aumentam a variabilidade dos regimes hídricos, com secas e enchentes mais frequentes e intensas. Isso demanda uma adaptação dos planos de recursos hídricos, incorporando medidas de resiliência e mitigação que possam assegurar a segurança hídrica para as futuras gerações (Porto *et al.*, 2020).

4. TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA A GESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO

O semiárido brasileiro, especialmente a região Nordeste, enfrenta desafios hídricos severos devido ao clima, que é caracterizado por chuvas irregulares e altas taxas de evaporação. A escassez de água prejudica as atividades agrícolas, industriais e o abastecimento doméstico, deixando comunidades pobres em situações piores, como a exposição a doenças e a incapacidade de buscar condições mais dignas, e aumentando a desigualdade. Com isso, dessalinização é uma solução importante para enfrentar a escassez de água potável em regiões onde as fontes de água doce são limitadas, contribuindo para suprir a demanda crescente por recursos hídricos seguros e de

qualidade (BANCO MUNDIAL, 2019).

4.1 Dessalinização

A dessalinização da água consiste no processo de remover o excesso de sais minerais dissolvidos, principalmente o cloreto de sódio (NaCl), além de outros contaminantes a fim de torná-la potável (Lima *et al.*, 2016). Com a escassez de fontes de água doce, a procura por tecnologias alternativas de convívio aumenta proporcionalmente. Uma solução muito comum para transformar águas com alto teor de sal em água potável é o uso de dessalinizadores, especialmente em áreas como o Semiárido. A dessalinização é definida como um processamento físico-químico, no qual, ocorre a separação em grande parte dos sais minerais dissolvidos na água salobra, consistindo na retirada de 95 a 98% dos sais minerais existentes, deixando a água com um teor de sais reduzidos e potável, pronta para o consumo da população (Villes *et al.*, 2019).

A dessalinização é o processo de remoção de sais e outros minerais dissolvidos da água, tornando-a adequada para o consumo humano ou para usos específicos, como a agricultura ou a indústria. Esse processo é particularmente utilizado para transformar água salina (como a água do mar) ou salobra (encontrada em algumas fontes subterrâneas) em água doce. A dessalinização pode ser realizada de duas formas principais: com o uso de membranas ou com o uso de calor. A principal diferença entre essas técnicas é não haver estado físico da água durante o processo. Nos sistemas que utilizam membranas, a água passa por filtros especiais sem alterar seu estado líquido. Já nos processos térmicos, a água é aquecida até evaporar, separando-se dos sais e outras impurezas (Boucekima, 2002).

A osmose reversa está baseada no processo técnico que visa dessalinizar a água salobra por meio da pressão da água sobre membranas poliméricas, através da qual a água irá passar e os sais ficarão retidos. Sua eficiência depende de variáveis como temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento (Caetano *et al.*, 2018).

O processo precisa de uma pressão externa que é maior do que a pressão natural da água, criando uma força que empurra o líquido através da membrana. Essa força é geralmente gerada por uma bomba de alta pressão, que é colocada antes da membrana para garantir que a água seja movida de forma eficiente. Quanto maior a pressão, mais

forte é esse "empurrão" no líquido. Quanto mais elevada à pressão, maior a força direcional. Como a concentração do líquido aumenta à medida que os rejeitos vão sendo detidos pela membrana, ainda maior será força direcional requerida para continuar concentrando o líquido (Fully, 2014).

No entanto, existem várias desvantagens no uso da osmose reversa, uma vez que as membranas ficam entupidadas com microrganismos transportados por pressão e também se deterioram quando o cloro é usado no tratamento de bactérias. Mesmo assim, sua principal desvantagem é que a qualidade da água produzida pela dessalinização não é adequada para consumo direto e, após o processo de osmose reversa, deve passar pelo tratamento usual de purificação, duplicando o gasto energético até atingir nossas torneiras. Esse procedimento de dessalinização é o mais usados atualmente, sendo usado em navios, aviões, indústrias, hospitais e residências (Conde; Ferreira, 2022).

Através deste processo, pode-se obter água dessalinizada com menos de 15.000 microsiemens/cm de condutividade elétrica, a partir de uma água do mar com uma condutividade entre 20.000 e 5.000 microsiemens/cm. A condutividade da água está relacionada à quantidade de sais dissolvidos que ela contém. Também ao realizar esse processo, é alcançado que, de toda a água que entra na usina de dessalinização, são obtidos 40% da água do produto e entre 50-60% da água salgada (Conde; Ferreira, 2022).

Conforme apontado por Alsadaie *et al.* (2017), dentre os processos térmicos de escala industrial, o mais antigo e mais utilizado atualmente é a Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF).

A dessalinização pelo processo MSF remove o sal da água do mar por meio da evaporação e condensação em vários estágios. Nesse processo, a água do mar é aquecida em um evaporador, formando vapor que é resfriado em uma série de condensadores, resultando em água doce. A dessalinização MSF é uma tecnologia comum e eficaz para produzir água potável em regiões costeiras onde a água doce é escassa, mas exige alto consumo de energia e é relativamente cara em comparação com outros métodos de dessalinização (Al-Karaghoul; Kazmerski, 2013).

A história da dessalinização MSF para produção comercial ocorreu no Golfo Pérsico no final dos anos cinquenta. Até o início dos anos 90 as plantas de MSF com produção maior que 4.000 m³/dia produziam mais de 7 milhões de m³/dia de água dessalinizada, dos quais 80% estavam localizadas no Golfo Pérsico (El-Saie, 1993). Morris (1993) afirma que processo de destilação MSF foi desenvolvido pelo Professor R.S. Silver

em 1957 e as primeiras plantas foram construídas em 1960.

Desde então, a MSF tornou-se uma das técnicas mais avançadas e eficientes de dessalinização, com aplicações em todo o mundo. Toth (2020) destaca a evolução contínua da MSF, com a inclusão de tecnologias mais avançadas para otimizar o uso de energia e a modelagem de processos para melhorar a eficiência e a eficácia da técnica. Atualmente, as unidades de dessalinização que usam o processo MSF tem uma produção de água destilada que variam de 10.000 a 35.000 m³ /dia e consistem em uma série de estágios que podem ser de 4 a 40 (Al-Karaghoul; Kazmerski, 2013)

4.2 Reuso de Água

A escassez hídrica é uma problemática de regiões áridas, semiáridas e de outras regiões com recursos hídricos sazonalmente abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas elevadas de consumo (HESPANHOL, 2002). Com isso o reúso de água tem se tornado uma prática essencial em regiões com escassez hídrica, como o semiárido brasileiro. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (1993) o reúso de água é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidade como irrigação, uso indústria, recarga de aquífero e água potável. A utilização da água de reúso segura possibilita que a oferta de água potável seja destinada para fins essenciais, e a de água de reúso, para outros fins, tais como atividades agrícolas, irrigação paisagística e limpeza urbana (Pinto *et al.*, 2014).

O reúso de águas residuárias é uma prática com raízes antigas, tendo sido utilizada já na Grécia Antiga para fins de irrigação agrícola. Com o aumento da demanda por água, essa prática tornou-se cada vez mais relevante, integrando-se à gestão sustentável dos recursos hídricos. O reúso, além de ser uma forma eficiente de preservar a água potável, deve ser associado a uma abordagem que minimize perdas e desperdícios, reduzindo a produção de resíduos e o consumo excessivo de água (Barros *et al.*, 2015).

Essa prática tem sido amplamente adotada ao redor do mundo, trazendo diversos benefícios. Além de poupar água potável, o reúso de águas residuárias pode aumentar os níveis de nutrientes no solo, diminuindo a necessidade de fertilizantes químicos, como observado por Pereira *et al.* (2011). Outra grande vantagem é a redução do impacto ambiental, uma vez que diminui a descarga de efluentes diretamente nos corpos d'água, contribuindo para a preservação dos ecossistemas aquáticos (Muyen *et al.*, 2011).

O tratamento de efluentes é um processo fundamental para a preservação do meio ambiente e a saúde pública, especialmente em áreas urbanas e industriais. Ele visa remover ou reduzir a carga de poluentes presentes nas águas residuais, como matéria orgânica, metais pesados, nutrientes em excesso e produtos químicos. Para isso, são utilizados diferentes métodos de tratamento, que podem ser físicos, químicos ou biológicos. Os processos biológicos, como lodos ativados e digestão anaeróbia, são amplamente empregados para degradar a matéria orgânica presente nos efluentes por meio de microrganismos. Já os processos físico-químicos, como coagulação-floculação e filtração por membranas, são eficazes na remoção de partículas e poluentes mais difíceis de tratar (Santos *et al.*, 2018).

Em algumas indústrias, como a farmacêutica e a têxtil, que geram efluentes altamente contaminados, os Processos Oxidativos Avançados (POA) são frequentemente utilizados. Esses métodos utilizam reagentes químicos poderosos, como o peróxido de hidrogênio, para oxidar os poluentes até sua completa degradação. A escolha do tratamento adequado depende da composição do efluente, da carga poluente e da viabilidade econômica. Além de tratar o efluente, muitos sistemas visam o reúso da água, promovendo a sustentabilidade e a redução do consumo de recursos naturais. Segundo Souza *et al.* (2020), os POAs são especialmente eficazes para a remoção de poluentes difíceis de degradar, proporcionando uma opção sustentável para a indústria química.

O reúso de efluentes tratados para irrigação agrícola tem se mostrado uma alternativa sustentável, especialmente em regiões periurbanas. No estudo realizado em Guarabira, PB, foi analisado o potencial de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que, com uma demanda de 18.000 m³/ha/ano, pode beneficiar uma área de 118,7 hectares, destacando a viabilidade econômica e ambiental do reúso de efluentes no setor agrícola (Bernardino *et al.*, 2021).

O uso de efluentes tratados na indústria, especialmente em regiões como o semiárido, tem se tornado uma prática cada vez mais comum para reduzir a dependência de fontes de água doce e garantir a continuidade das operações mesmo em períodos de escassez hídrica. Em processos de refrigeração e lavagem de equipamentos, o reúso de efluentes tratados se destaca por sua viabilidade econômica e ambiental. Isso não só diminui o custo de captação de água como também contribui para a sustentabilidade, utilizando água de qualidade não potável que seria descartada, em vez de recorrer a recursos naturais finitos. Essa abordagem já é amplamente adotada em setores

industriais, como têxtil, químico e alimentício, onde até 95% da demanda de água para resfriamento pode ser suprida por efluentes tratados (Alves *et al.*, 2019).

4.3 Coleta de Água da Chuva

A coleta de água da chuva é uma solução simples, mas eficaz, para escassez de água no semiárido. São tecnologias de captação e manejo de água de chuva que utilizam a parte da água que, de outra maneira, retornaria à atmosfera por meio da evaporação direta ou a transpiração de plantas não alimentares, infiltraria no lençol freático, ou escorreria para os rios. Além de fornecer água de beber para as famílias do Semi-árido Brasileiro na época da seca, armazenadas em cisternas, as tecnologias de captação e manejo de água de chuva são indispensáveis no Semi-árido Brasileiro para fornecer água para plantas e para animais principalmente durante a estação seca (Gnadlinger *et al.*, 2005).

As técnicas de coleta de água da chuva são fundamentais para regiões com escassez hídrica, como o semiárido brasileiro. As principais alternativas tecnológicas desenvolvidas são: barragem subterrânea, captação de água de chuva “in situ”, cisterna rural, entre outras (Silva *et al.*, 2005).

A barragem subterrânea é uma técnica eficiente para armazenar a água da chuva diretamente no subsolo (Queiroz *et al.*, 2019). Ela funciona ao interceptar o fluxo de água, tanto superficial quanto subterrâneo, por meio de uma barreira impermeável construída perpendicularmente ao caminho natural das águas. Quando a chuva cai, a água se infiltra lentamente no solo, ajudando a criar ou elevar o lençol freático. Esse recurso é fundamental para garantir que as plantas tenham acesso à água armazenada durante períodos mais secos. Com essa técnica, a água fica retida dentro do solo com mínimas perdas de umidade, mantendo a terra úmida por um período prolongado. Isso é especialmente importante em regiões semiáridas, como no Nordeste brasileiro, onde essa umidade pode durar até quase o fim da estação seca, entre setembro e dezembro (Giffoni *et al.*, 2019).

A estrutura de uma barragem subterrânea é composta por três elementos principais:

1. **Área de Captação e Plantio:** Corresponde a uma bacia hidrográfica delimitada por divisores naturais de água, tanto na superfície quanto no subsolo. Essa área é responsável por captar a água da chuva e pode ser aproveitada para o plantio.

2. Parede da Barragem (Septo Impermeável): É o elemento que bloqueia o fluxo de água, tanto superficial quanto subterrâneo. Pode ser construída com diferentes materiais, como camadas de argila compactada (barro amassado), alvenaria, concreto ou lona plástica de polietileno, dependendo das condições locais e recursos disponíveis.

3. Sangradouro: É a estrutura responsável por escoar o excesso de água captada, garantindo que a área de captação e plantio não fique sobrecarregada.

Esses componentes, quando combinados, permitem o armazenamento eficiente de água no solo e tornam a barragem subterrânea uma técnica sustentável e funcional para regiões semiáridas (Silva *et al.*, 2005).

Já captação de água de chuva “in situ”, é uma técnica que envolve a modificação do terreno para facilitar o aproveitamento da água diretamente no local (Silva *et al.*, 2018). Isso é feito criando um plano inclinado entre dois sulcos consecutivos, dispostos em curva de nível, conhecidos como camalhões. Esses camalhões atuam como áreas de captação, ajudando a reter a água da chuva. Tradicionalmente, os agricultores do semiárido utilizam o método de semeadura em covas feitas manualmente com enxadas. Essas covas criam pequenas depressões no solo, que conseguem armazenar uma quantidade limitada de água da chuva. No entanto, técnicas mais simples e eficazes de preparo do solo, voltadas especificamente para a captação de água “in situ”, são mais alinhadas às necessidades dos sistemas de produção locais. Além disso, essas técnicas podem ser aplicadas tanto com o uso de tração mecânica quanto de tração animal, tornando-as acessíveis e práticas para os agricultores da região (Filho *et al.*, 2020).

Por fim, a cisterna rural é um reservatório fechado projetado para armazenar a água da chuva, garantindo o abastecimento de água para consumo humano e para pequenos animais. Essa é uma solução permanente, desenvolvida para captar e conservar a água da chuva, reduzindo as perdas causadas pelo escoamento superficial. Além de assegurar a qualidade e a quantidade de água necessária para o consumo, a cisterna traz praticidade por estar localizada próxima às residências, o que reduz o esforço e o tempo gasto na busca por água – uma vantagem essencial em áreas onde os recursos hídricos são escassos. As cisternas podem ser construídas com materiais como alvenaria, blocos ou placas pré-moldadas de ferro e cimento, adaptando-se às condições locais e às necessidades das comunidades (Mays *et al.*, 2013).

A implementação dessas alternativas tem contribuído para otimizar o uso dos limitados recursos financeiros disponíveis, reduzindo a dependência de medidas

paliativas, como o uso de carros-pipa e frentes de trabalho, frequentemente acionados durante os períodos de estiagem, apesar de seus altos custos (Cirilo, 2008). Esse trabalho é fruto de uma ação conjunta que envolve órgãos governamentais em níveis municipal, estadual e federal, além de ONGs e comunidades rurais. Essas tecnologias são viabilizadas por financiamentos de projetos, mas sempre contam com a contrapartida dos beneficiários, seja em forma de mão-de-obra ou de outros recursos locais disponíveis. Embora ainda esteja longe de resolver o problema histórico da seca no Nordeste, acredita-se que, com um esforço direcionado dos políticos para destinar recursos aos órgãos públicos de pesquisa e extensão, será possível desenvolver tecnologias simples e acessíveis. Além disso, o fortalecimento da infraestrutura social e produtiva é essencial para melhorar as condições de vida das populações rurais. Com essas ações, é possível avançar rumo a um futuro onde as comunidades convivam de maneira mais adequada e resiliente com as estiagens periódicas (Gnadlinger, 2014).

Os sistemas de armazenamento de água, como as cisternas, são soluções eficientes para garantir o abastecimento hídrico em regiões semiáridas, principalmente durante os períodos de seca. No semiárido brasileiro, cisternas com capacidade de até 20 mil litros são suficientes para armazenar a água captada na estação chuvosa, suprimindo o consumo doméstico nos meses de estiagem. Para usos agrícolas, como a irrigação de pequenas áreas, reservatórios maiores são necessários, garantindo a eficiência no uso da água captada (Porto; Porto, 2019).

4.4 Monitoramento Remoto

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que utiliza sensores embarcados em satélites, aeronaves ou drones para captar informações sobre a superfície terrestre e os corpos d'água. Esses sensores registram dados sobre características físicas do solo, vegetação, corpos hídricos e até atmosferas, como temperatura, umidade e composição química. A grande vantagem dessa abordagem é a capacidade de cobrir grandes áreas com alta frequência, permitindo um monitoramento contínuo e detalhado de fenômenos naturais, como desmatamento, alterações na cobertura vegetal e variações nos níveis de água (Lopes *et al.*, 2019). Essa tecnologia é amplamente aplicada em áreas como a agricultura de precisão, onde auxilia na identificação da umidade do solo, estresse hídrico nas plantas e áreas que necessitam de irrigação. Além disso, é essencial para a gestão de

bacias hidrográficas, fornecendo informações em tempo real sobre a qualidade e o nível dos corpos hídricos. Em áreas urbanas, possibilita o monitoramento do crescimento desordenado e o mapeamento de zonas vulneráveis a desastres naturais, como enchentes e deslizamentos de terra (Peruzzo *et al.*, 2019).

Com a capacidade de análise em larga escala e em tempo real torna o sensoriamento remoto indispensável em áreas como a agricultura de precisão e a gestão de recursos hídricos. Na agricultura, a tecnologia auxilia na identificação da umidade do solo, estresse hídrico nas plantas e áreas que necessitam de irrigação. Já na gestão de bacias hidrográficas, ela fornece informações valiosas sobre a qualidade da água e os níveis dos corpos hídricos, fundamentais para a tomada de decisões. Em áreas urbanas, o monitoramento de crescimento desordenado e o mapeamento de zonas vulneráveis a desastres naturais, como enchentes e deslizamentos, reforçam o potencial dessa ferramenta para prevenir e mitigar problemas socioambientais (Peruzzo *et al.*, 2019).

No contexto agrícola do semiárido brasileiro, o uso de satélites representa um marco significativo. Com a análise da cobertura vegetal em grandes áreas, índices de vegetação derivados de dados de sensoriamento remoto possibilitam o acompanhamento contínuo da saúde das plantas e das condições hídricas. Essa abordagem é especialmente relevante em uma região onde a escassez de água é uma preocupação constante e os recursos naturais precisam ser utilizados de maneira sustentável (Lopes *et al.*, 2019).

Além dos satélites, os drones têm se destacado como aliados no monitoramento de sistemas hídricos, particularmente em regiões remotas e de difícil acesso. Equipados com câmeras e sensores, esses dispositivos oferecem dados em tempo real sobre a qualidade da água, a estrutura dos reservatórios e a presença de contaminantes. Essa tecnologia complementa o uso de satélites ao permitir intervenções rápidas e localizadas, aumentando a eficiência no manejo dos recursos hídricos (Costa, 2019).

Para além da captura de dados aéreos, sensores instalados no solo desempenham um papel essencial na agricultura de precisão. Em regiões com escassez de água, como o semiárido brasileiro, esses sensores fornecem informações em tempo real sobre a umidade do solo, permitindo ajustes automáticos na irrigação. Essa integração de tecnologias com a Internet das Coisas (IoT) promove a eficiência no uso da água e reduz os custos operacionais, beneficiando pequenos e grandes agricultores (Oliveira *et al.*, 2010).

Essas soluções tecnológicas, quando aplicadas em conjunto, destacam-se como ferramentas fundamentais para a gestão sustentável dos recursos hídricos no semiárido. Além do monitoramento remoto, estratégias como a dessalinização da água salobra, o reúso de efluentes tratados e a coleta de água da chuva são essenciais para enfrentar os desafios climáticos e sociais da região. Dessa forma, o sensoriamento remoto se consolida como uma peça-chave na busca por maior resiliência hídrica e sustentabilidade ambiental (Peruzzo et al., 2019).

5. SEGURANÇA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO

O semiárido brasileiro, conhecido por sua aridez e imprevisibilidade climática, enfrenta desafios singulares no que tange à segurança hídrica. A escassez de água, agravada pelas mudanças climáticas e pressões antrópicas, impõe a necessidade de abordagens inovadoras e sustentáveis para garantir o acesso a esse recurso vital (Silva; Oliveira, 2018).

A segurança hídrica transcende a mera disponibilidade de água, abrangendo aspectos qualitativos, quantitativos, sociais e ambientais. Segundo a Global Water Partnership (2000), a segurança hídrica é definida como:

A capacidade da população de salvaguardar o acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para sustentar os meios de subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, garantindo ao mesmo tempo a proteção contra a poluição hídrica e os desastres relacionados à água, e preservando os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (GWP, 2000).

No contexto do semiárido, esse conceito assume contornos ainda mais complexos. A escassez hídrica, característica intrínseca da região, exige estratégias adaptativas que considerem a variabilidade climática e promovam o uso eficiente e equitativo dos recursos hídricos (Albuquerque *et al.*, 2014). A complexidade se aprofunda diante de fatores interdependentes que moldam o panorama da segurança hídrica no semiárido, como mudanças climáticas, crescimento populacional e degradação ambiental.

Essas mudanças climáticas no semiárido brasileiro apresentam desafios críticos para a segurança hídrica. A redução da precipitação e o aumento da evapotranspiração, associados a cenários de aquecimento global, têm implicações diretas sobre a disponibilidade de água. Projeções indicam que, até o final do século XXI, a temperatura

na região pode aumentar entre 0,5 °C e 1,0 °C, o que resultará em uma redução de 10% a 20% nas chuvas, intensificando a vulnerabilidade às secas e à desertificação (Marengo *et al.*, 2016). Esses impactos destacam a necessidade de políticas públicas adaptativas e de uma governança robusta para mitigar os efeitos climáticos. Além disso, o crescimento populacional no semiárido, associado à urbanização e expansão das atividades econômicas, exacerba as pressões sobre os recursos hídricos. A demanda crescente por água, especialmente em áreas urbanas, pode levar à sobreexploração de fontes hídricas e à degradação dos sistemas naturais. A urbanização desordenada, combinada ao manejo inadequado dos recursos, compromete a sustentabilidade do abastecimento de água (BRASIL, 2016).

A degradação ambiental é outro elemento crítico que reduz a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos no semiárido. Práticas como desmatamento, agricultura intensiva e mineração acarretam erosão do solo, sedimentação de rios e contaminação por agrotóxicos e efluentes industriais, agravando a crise hídrica e comprometendo a recarga dos aquíferos (Santos *et al.*, 2010). Assim, torna-se evidente a necessidade de integrar práticas de manejo sustentável ao planejamento hídrico regional e a busca pela segurança hídrica no semiárido exige a implementação de estratégias integradas, com a gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH), baseada na participação comunitária e na descentralização, visa conciliar as demandas sociais, econômicas e ambientais de forma sustentável. Instrumentos como comitês de bacias hidrográficas, sistemas de cobrança pelo uso da água e planos de recursos hídricos são fundamentais para a efetividade dessa abordagem (ANA, 2017).

Ademais, as Tecnologias Sociais para Captação e Armazenamento de Água desempenham um papel essencial no semiárido brasileiro. Soluções como cisternas de placas, barragens subterrâneas e barreiros trincheira permitem o armazenamento de água para uso doméstico e agrícola, garantindo o abastecimento em períodos de estiagem. Essas iniciativas, além de promoverem autonomia para comunidades locais, estão alinhadas ao manejo sustentável do solo e da água (Borba *et al.*, 2023). A segurança hídrica no semiárido vai além da simples disponibilidade de água, abrangendo acesso em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades humanas, econômicas e ambientais, com a integração de estratégias como a GIRH, tecnologias sociais e políticas adaptativas é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas,

crescimento populacional e degradação ambiental, garantindo um futuro hídrico sustentável para a região (Albuquerque *et al.*, 2014).

6. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DAS ÁGUAS

A busca por segurança hídrica no semiárido transcende a mera implementação de infraestruturas e tecnologias. A promoção de uma cultura de uso consciente da água, embasada na educação ambiental e na participação social, é fundamental para a construção de um futuro sustentável para a região (Silva, 2014).

A conscientização sobre o uso racional da água é essencial para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e prevenir crises hídricas, especialmente em regiões com escassez, como o semiárido brasileiro. Práticas simples, como a redução de desperdícios no consumo doméstico, industrial e agrícola, são fundamentais para minimizar a pressão sobre os reservatórios e fontes de água (Souza; Santos, 2014).

Essas estratégias visam garantir que a água seja utilizada de maneira sustentável, preservando tanto a quantidade quanto a qualidade desse recurso vital para as gerações futuras. A conscientização da população é essencial para modificar hábitos diários, como fechar a torneira ao escovar os dentes, consertar vazamentos e usar a água da chuva para fins não potáveis (Almeida; Costa, 2019).

Programas de educação ambiental voltados para a gestão das águas no semiárido devem ser elaborados considerando as especificidades socioambientais da região. A linguagem utilizada deve ser acessível à população local, valorizando o conhecimento tradicional e promovendo o diálogo entre saberes (Ferreira *et al.*, 2018).

A participação da comunidade na elaboração e execução desses programas é fundamental para garantir sua efetividade. A criação de espaços de diálogo e troca de experiências, como fóruns de discussão, oficinas de capacitação e visitas técnicas, fortalece o sentimento de pertencimento e estimula o engajamento da comunidade na gestão dos recursos hídricos (Martins, 2020).

A gestão participativa dos recursos hídricos, consagrada na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), tem nos Comitês de Bacias Hidrográficas um de seus principais instrumentos. Os CBHs são espaços democráticos de debate e tomada de decisão, onde representantes do governo, da sociedade civil e de usuários da água

trabalham juntos na elaboração e implementação de políticas públicas para a gestão integrada dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A participação social nos CBHs é crucial para garantir que as decisões sobre a gestão das águas reflitam as necessidades e prioridades da população local. A mobilização social, por meio de organizações não governamentais, movimentos sociais e lideranças comunitárias, é fundamental para ampliar a participação da sociedade nos processos decisórios e fortalecer a gestão democrática da água (Pereira; Oliveira, 2021).

A segurança hídrica no semiárido exige um esforço conjunto de toda a sociedade. A educação ambiental e a participação social são pilares essenciais para a construção de um futuro sustentável para a região, onde a água seja utilizada de forma consciente, garantindo o acesso a esse recurso vital para as gerações presentes e futuras (Carvalho; Ribeiro, 2022).

A educação ambiental e a participação social são fundamentais para a construção de um futuro sustentável no semiárido com a conscientização sobre o uso racional da água, aliada a programas de educação ambiental e à mobilização social, fomenta a responsabilidade coletiva pela preservação dos recursos hídricos, a participação ativa das comunidades em comitês de bacias hidrográficas e outras instâncias de gestão contribui para a criação de soluções locais mais eficazes e justas. Juntas, essas ações fortalecem a resiliência das comunidades diante da escassez hídrica e das adversidades climáticas, assegurando a sustentabilidade no longo prazo (Silveira, 2023).

Referências Bibliográficas

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasaguas/atlas-aguas?m=brasil>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- ALBUQUERQUE, J. P. *et al.* Gestão da água no semiárido brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 89-102, 2014.
- AL-KARAGHOULI, A.; KAZMERSKI, L. L. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 343-356, 2013.
- ALSADAIE, S. M. *et al.* **Desalination: Model-based techniques in desalination processes: A review**. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352091896_Desalination_Modelbased_techniques_in_desalination_processes_A_review/citations. Acesso em: 29 jan. 2023.
- ALVES, W. L. *et al.* Reúso de águas residuais na indústria têxtil: uma análise de viabilidade econômica e ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 123-134, 2019.
- AMBRIZZI, T. *et al.* **Contribuição do grupo de trabalho 1 ao primeiro relatório de avaliação nacional do painel brasileiro de mudanças climáticas**. Sumário Executivo GT1. Rio de Janeiro: PBMC. 24 p. 2013.
- ANÁLISE, P. *et al.* Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 265-276, 2019.
- ARAÚJO, A. C. S. P. A. **Contribuição para o estudo da viabilidade/sustentabilidade da dessalinização enquanto técnica de tratamento de água**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.
- AZEVEDO, A. C. de. Verso e reverso das políticas públicas de água para o semiárido brasileiro. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 2, n. 2, p. 373-392, 2015.
- BARROS, H. M. M. *et al.* Reuso de água na agricultura. **Revista Verde**, v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015.
- BASSOI, L. H.; CASTRO, A. H. C. T. (Org.). **Uso da água em agricultura irrigada no Semiárido brasileiro**. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158467/1/CAPITULO-10-BASSOI-final.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- BERNARDINO, J. C. *et al.* Potencial de reúso de efluentes tratados na irrigação agrícola no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 26, n. 4, p. 40-49, 2021.

BERNARDINO, L. M. *et al.* Potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação periurbana no município de Guarabira/PB. **Irriga**, v. 1, n. 4, p. 671-677, 2021.

BOUCHEKIMA, B. A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. **Desalination**, v. 153, p. 65-69, 2002.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Brasília, 2016.

BRASIL. **Programa Nacional de Agricultura Irrigada**. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/minuta-irriga-19_08_2022_consulta.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

CAETANO, E.; SILVA NETO, R. E. Desenvolvimento de protótipo experimental de dessalinizador por osmose reversa para o tratamento em água salobra em áreas rurais. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 372-379, 2018.

CARVALHO, J. A.; RIBEIRO, A. C. Gestão hídrica e educação ambiental no semiárido. **Revista Brasileira de Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 25-39, 2022.

CEMADEN - **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Relatório sobre o impacto das mudanças climáticas no regime de chuvas no semiárido brasileiro. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 61, 2008.

CONDE, G. C.; FERREIRA, L. M. Viabilidade técnico-econômica para obtenção de recursos hídricos via dessalinização. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 5, p. 957-988, 2022.

CONEXÃO ÁGUA. A importância da água para a vida e a garantia de manutenção da sua qualidade. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br>. Acesso em: 22 abr. 2025

COSTA, Fábio Araújo da. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de reservatório no semiárido do Nordeste: Poço da Cruz, Pernambuco. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 12, n. 1, p. 45-58, 2019.

EL-SAIE, M. The MSF desalination process and its prospects for the future. **Desalination**, Elsevier, v. 93, p. 43-54, 1993.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Estratégias de manejo da água no semiárido brasileiro. Brasília: **Embrapa**, 2020.

FERREIRA, L. C. *et al.* Educação e recursos hídricos: desafios no semiárido. **Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 58-74, 2018.

FILHO, E. L. S. *et al.* Avaliação do Potencial de Aproveitamento de Aluviões para a Construção de Barragens Subterrâneas no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2402, 2020.

FULY, P. M. **Dessalinização por osmose reversa e sua comparação com o destilador**. 2014. Trabalho de Conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014.

GAIO, S. S. M. **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

GIFFONI, V. V. *et al.* Sizing rainwater harvesting systems for animal watering in semi-arid regions. **Water Practice & Technology**, v. 14, n. 4, p. 971, 2019.

GNADLINGER, J. *et al.* **Análise de reúso de águas na agricultura**. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/37097/1/OPB1652.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

Gnadlinger, J. G. J. How can rainwater harvesting contribute to living with droughts and climate change in semi-arid Brazil? **Waterlines**, v. 33, n. 2, p. 146, 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**: Resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 dez. 2024.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Relatório de Avaliação sobre os impactos das mudanças climáticas globais**. Genebra: IPCC, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/03/ar5_wg2_spm.pdf .Acesso em: 21 out. 2024.

IPEA. Sobre a Agricultura Irrigada no Semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. **Texto para Discussão nº 2369**. Brasília, 2018. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8286/1/TD_2369.pdf. Acesso em: 30 dez. 2024.

LEVY, J. Q. Novas fontes de abastecimento de água: reutilização e dessalinização. Lisboa: **Ecoserviços**, 2008.

LIMA, L. *et al.* Uso de destiladores solares passivos para obtenção de precipitados de interesse e de destilado, visando a minimização de problemas da engenharia e socioambientais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...** Natal: [s.n.], 2016.

MALVEIRA, V. T. C. *et al.* Tecnologias sociais para o semiárido: cisternas de placa como instrumento de convivência com a seca. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 4, p. 800-811, 2017.

MARENGO, J. A. *et al.* Características climáticas da seca de 2010 a 2016 na região semiárida do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1678-2690, 2017.

MARTINS, J. P. Participação comunitária na gestão hídrica: experiências no semiárido brasileiro. **Anais do Encontro Nacional de Gestão Ambiental**, 2020.

MAYS, L. W. *et al.* History of Water Cisterns: Legacies and Lessons. **Water**, v. 5, n. 4, p. 1916, 2013.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Irriga+ Brasil**. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/minuta-irriga-19_08_2022_-consulta.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

MORRIS, R. M. The development of the multi-stage flash distillation process: A designer's viewpoint. **Desalination**, v. 93, p. 57-68, 1993.

MUYEN, Z. *et al.* Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. **Agricultural Water Management**, v. 99, n. 1, p. 33-41, 2011.

NUNES, F. C. A. P. *et al.* Viabilidade econômica do cultivo irrigado da melancia no estado do Piauí. **Irriga**, v. 22, p. 101-114, 2017.

PEREIRA, B. F. F. *et al.* Reclaimed wastewater: impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 1, p. 56-61, 2011.

PEREIRA, C.; OLIVEIRA, L. Mobilização social e gestão das águas: perspectivas para o semiárido. **Revista de Políticas Públicas**, v. 18, n. 3, p. 215-230, 2021.

PERUZZO, J. S. *et al.* Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental da bacia do Alto Piranhas, Semiárido Nordestino (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 28-37, 2019.

PINTO, H. S. *et al.* **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasil: Núcleo de Estudo e Pesquisas, Senado Federal, 2014. 32 p.

PORTO, E. R.; PORTO, S. M. C. Captação e armazenamento de água de chuva no semiárido brasileiro: uma alternativa sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 235-246, 2019.

QUEIROZ, J. G. *et al.* Perímetro irrigado de São Gonçalo/PB: Causas e efeitos da escassez de água. **Rima**, v. 1, n. 1, 2019.

SANTOS, D. N. *et al.* Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 492-500, 2010.

SANTOS, J. R. *et al.* Impactos da degradação ambiental no semiárido brasileiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, n. 2, p. 123-134, 2010.

SANTOS, R. F. *et al.* Tratamento de efluentes industriais: avaliação de tecnologias e perspectivas para o Brasil. **Journal of Environmental Management**, v. 23, n. 1, p. 75-82, 2018.

SILVA, C. V. S. *et al.* Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019.

SILVA, J. B. T. *et al.* Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 77-85, 2020.

SILVA, M. S. Educação ambiental no semiárido: uma perspectiva crítica. **Revista Ambiente & Educação**, v. 19, n. 2, p. 45-58, 2014.

SILVA, P. C. *et al.* Mudanças climáticas e convivência com o semiárido brasileiro. In: Seminário Internacional Sobre Mudanças Climáticas, 3., 2019, Recife. **Anais [...]**. Recife: Editora UFPE, 2019. p. 45-60.

Silva, S. S. F. *et al.* Reúso de água e construção de cenários futuros: perspectivas e desafios para regiões semiáridas. **Polêm!ca**, v. 18, n. 2, p. 072-086. 2018

SILVEIRA, L. F. Educação e sustentabilidade: caminhos para o semiárido brasileiro. **Estudos sobre Sustentabilidade**, v. 20, n. 1, p. 12-27, 2023.

SOUZA, A. M. *et al.* Processos Oxidativos Avançados na remoção de poluentes orgânicos em águas residuais. **Chemical Engineering Journal**, v. 35, n. 6, p. 56-64, 2020.

SOUZA, A. P.; SANTOS, J. P. Educação ambiental e gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2014.

TOTH, A. J. Modelling and Optimisation of Multi-Stage Flash Distillation and Reverse Osmosis for Desalination of Saline Process Wastewater Sources. **Membranes**, MDPI, v. 10, n. 10, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0375/10/10/265>. Acesso em: 25 jan. 2023.

TRATA BRASIL. Consumo de água no Brasil em 2017: desafios e projeções para o futuro. **Instituto Trata Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br>. Acesso em: 21 out. 2024.

UNESCO. **Mudanças climáticas e impactos no semiárido brasileiro**. Relatório Unesco, 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_por. Acesso em: 21 out. 2024.

UNESCO. **Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018**. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594_por. Acesso em: 21 out. 2024.

VILLES, V. S. *et al.* Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. **Multitemas**, v. 24, n. 57, p. 217-231, 2019.

WEISS, M. *et al.* Sensoriamento remoto aplicado à agricultura: uma meta-revisão. **Remote Sensing of Environment**, v. 236, p. 111402, 2020.

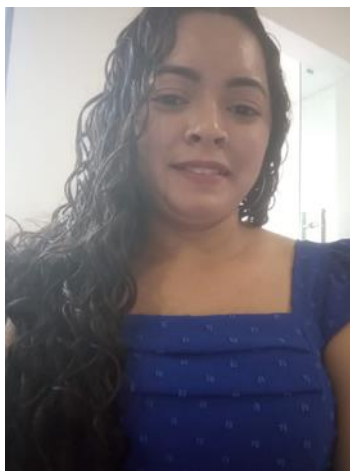
ORGANIZADORES

CARLA MICHELLE DA SILVA



Doutora em Fitotecnia (UFV). Mestre em Agronomia/Fitotecnia (UFPI). Especialista em Gestão Ambiental (FINOM), em Biologia e Química (URCA) e em Consultoria e Licenciamento Ambiental (Faculdade Unica de Ipatinga). Graduada em Ciências Biológicas (Universidade Iguaçu), em Engenharia Agrônômica (UESPI) e em Pedagogia (Faculdade Unica de Ipatinga). Atualmente é diretora do Instituto Educacional Invictus. E-mail: carla.mic@hotmail.com

RACHEL BORGES DA SILVA



Graduanda em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6682340257858826>.
E-mail: rachelborges003@gmail.com

ANTÔNIO VEIMAR DA SILVA



Doutor em Agronomia (UFPB). Mestre em Ensino de Ciências e Matemática (UNICSUL). Especialista em ABA - Análise do Comportamento Aplicada (Faculdade Prominas), Especialista em Psicopedagogia Clínica e Institucional (Faculdade Prominas), Especialista em Gestão Escolar (Faculdade Prominas), Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho (Faculdade Única), Especialista em Ensino de Matemática (FINON), Docência do Ensino Superior (ISEPRO), Fitotecnia (IFPI), Proteção de Plantas (UFV). Graduado em Pedagogia (UFPI), Matemática (UESPI) e Engenharia Agrônoma (UESPI), cursando Psicologia (FAMEP), Curso Técnico em Segurança no Trabalho. Participa do grupo de pesquisa ITESI/CNPq - Grupo de Pesquisa Itinerários Interdisciplinares em Estudos Sobre o Imaginário, Linguagens e Culturas. E-mail: veimar74185@gmail.com

LAYLLES COSTA ARAÚJO



Doutora em Zootecnia – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho campus Jaboticabal (Unesp). Mestre em Zootecnia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Unioeste. Especialista em Docência do Ensino Superior (Faculeste). E-mail: layllesaraujo@gmail.com

CURRÍCULO DOS AUTORES

Ellen da Silva Melo - Graduanda em Agronomia (UESPI). Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2261430358764485>. E-mail: ellenmelo03@gmail.com

Ernando Sávio Rodrigues de Melo - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0738902009830830>. E-mail: ernandosavio@gmail.com

Gilcimar de Carvalho Ferreira - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9710760948628874>. E-mail: ferreiragilcimar01@gmail.com

Isaac Matheus de Sousa Lino - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3484323488983047>. E-mail: isaacavelino013@gmail.com

Manuel Eduardo Marques da Silva - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3792561349617830>. E-mail: eduardo13ad@gmail.com

Marcus Richard Marreiros Macedo - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0200572057540979>. E-mail: Marcusmaacedo@outlook.com

Tiago Lima Rodrigues - Graduando em Agronomia (UESPI). Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3866138309202753>. E-mail: RtiagoLima17@gmail.com

Vanessa Mendes da Silva - Graduanda em Agronomia (UESPI). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4256475314679061>. E-mail: vanessasilvaborges17@gmail.com

Vitória Janne Gomes Mendes - Graduanda em Agronomia (UESPI). Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4845744390733157>. E-mail: vitoriagomesmendes05232@gmail.com




Editora
MultiAtual

ISBN 978-656009178-8



9 786560 091788