



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**GIOVANA ELVIRA DE MELO**

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: O PAPEL  
DAS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Recife, Brasil**  
**2024**

GIOVANA ELVIRA DE MELO

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: O PAPEL DAS  
BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco - SEDE, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Agrícola e Ambiental.

**Orientadora:** Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Recife, outubro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

M528s Melo, Giovana Elvira de.  
Sustentabilidade hídrica e desenvolvimento regional: o papel das barragens subterrâneas no semiárido brasileiro / Giovana Elvira de Melo. - Recife, 2024.  
50 f.; il.

Orientador(a): Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Agricultura de regiões áridas - Brasil . 2. Agricultura familiar - Brasil . 3. Planejamento de recursos hídricos . 4. Desenvolvimento de recursos hídricos 5. Água - Captação . I. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos, orient. II. Título

CDD 628

**GIOVANA ELVIRA DE MELO**

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: O PAPEL  
DAS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Bacharelado em  
Engenharia Agrícola e Ambiental da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
- SEDE, como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovado em: 04 de outubro de 2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire (Orientadora)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - SEDE

---

Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida (Avaliador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - SEDE

---

Dr. Jose Amilton Santos Junior (Avaliador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - SEDE

Recife, outubro de 2024

*“Em tudo dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco”.*

*1 Tessalonicenses 5:18*

*“Há algo de bom neste mundo e vale a pena lutar por isso”.*

*(Samwise Gamgee, O Senhor dos Anéis)*

## **DEDICATÓRIAS**

A Deus e aos meus pais.  
Meu eterno amor e gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Das dificuldades que a vida impõe, este escrito não chega nem perto de ser uma das mais pesadas. Contudo, me foi necessário muito apoio para conseguir executá-lo. Sendo assim, gostaria de agradecer:

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e alicerce em momentos difíceis com esperança para dias melhores. Em sua infinita bondade, amor e misericórdia, é presença constante em todos os passos de minha vida, sendo a fonte de minhas forças até quando pensei não mais possuí-las.

Agradeço aos meus queridos pais, Maria Sandra de Melo e Marcos José de Melo por todo esforço doado para minha formação, não me deixando faltar nenhum suporte e amor. Sou extremamente grata por cada momento de acolhimento e incentivo para me tornar uma profissional qualificada e honrosa. Essa conquista é nossa!

Aos meus irmãos Marcos Melo Filho e Thamiris Melo, por todo amor, zelo, compreensão e apoio. Me rendendo as melhores risadas diante das ansiedades e estresses. Amo vocês.

Ao meu noivo e melhor amigo Lucca Silveira Mousinho Mossio, por todo apoio nessa graduação, que diante dos dias de muita exaustão sempre se fez presente com palavras positivas e acolhimento. Obrigada por tudo, por tanto e por ser essa pessoa incrível! Amo você.

Sou grata também as famílias Mossio e Silveira, os quais se tornaram especiais na minha vida, marcando um lugar lindo no meu coração para toda a minha vida.

A minha orientadora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, que sem sombra de dúvidas foi um presente que a UFRPE me proporcionou. Sua orientação me proporcionou uma segunda oportunidade no LQS, onde amadureci, me encantei por solos, encontrei Lucca e amigos para a vida toda. Sempre serei grata por sua vida e por toda confiança depositada e carinho para conosco.

Aos meus estimados professores, Marianne Lima, Gledson Almeida, José Amilton Júnior, Daniella Amorim, Manassés Mesquita, Abelardo Montenegro, Renato Laurenti e Emanuel Souza. Os quais foram incentivadores e inspirações para o meu desenvolvimento acadêmico e tenho muito apreço e admiração. Agradeço pelas correções e ensinamentos que me permitiram evoluir, profissionalmente e pessoalmente. Honrarei seus ensinamentos sempre.

Aos meus amigos, especialmente, Thaysa Leal, Geysiane Morais (e sua família), Bráulio Lira, Patryk Wandersee, Matheus Santiago, Oto Barbosa, Jacqueline Souza, Gabriela Mossio, Rita de Cássia Souto e minhas tias que amo, Rosana e Luciana, que viveram intensamente os desafios, ansiedades e vitórias ao longo dessa graduação ao meu lado.

Aos meus amigos fora da graduação, que estiveram presentes em momentos difíceis e acalentaram meu coração, me fortalecendo e esparecendo minha mente acelerada.

A toda equipe da EMBRAPA UEP Recife e, em especial, à minha supervisora Maria Sônia da Silva Lopes, mulher que admiro profissionalmente e pessoalmente. Pessoa iluminada!

Por fim, a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

E também a mim, que, por mais simples que pareça, não desisti!

## RESUMO

O desenvolvimento regional em áreas como o Semiárido brasileiro está intrinsecamente relacionado à sustentabilidade hídrica. A escassez de água não apenas limita o crescimento econômico, mas também afeta negativamente a saúde pública e agrava as desigualdades sociais. Nesse contexto, a implementação de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos, como a construção de barragens subterrâneas e a adoção de práticas agrícolas adaptadas às condições climáticas locais, torna-se essencial para promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável dessas regiões. As barragens subterrâneas, em particular, destacam-se como um instrumento de gestão de recursos hídricos e como uma tecnologia alternativa de baixo custo de construção e manutenção, sendo uma obra hidro-ambiental que busca suprir as demandas hídricas para consumo humano, animal e agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Interrompendo o fluxo de água superficial e subterrâneo por meio de uma parede (septo impermeável) construída transversalmente à direção das águas. A água da chuva infiltra-se lentamente, formando ou elevando o lençol freático, que será posteriormente utilizado pelas plantas. Frente às dificuldades impostas pela seca prolongada e à vulnerabilidade econômica das comunidades rurais, torna-se evidente a importância de intensificar a captação e o armazenamento da água da chuva, não apenas como medida para mitigar os prejuízos causados por perdas de safra, mas também como um mecanismo para aumentar significativamente a renda das comunidades rurais e promover o desenvolvimento econômico sustentável da região. O fortalecimento dessas práticas, aliadas às políticas públicas voltadas para o Semiárido brasileiro, pode transformar a realidade da região, tornando-a mais resiliente às adversidades climáticas, promovendo a segurança hídrica e contribuindo para a redução das desigualdades regionais. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal revisar a literatura sobre o papel das barragens subterrâneas na promoção da sustentabilidade hídrica e no desenvolvimento regional no Semiárido brasileiro, abrangendo os avanços, limitações, contribuições ao meio social, ambiental e econômico, além das oportunidades dessa tecnologia no contexto da gestão de recursos hídricos.

**Palavras-chaves:** Adaptação à seca; Agricultura familiar; Gestão de recursos hídricos; Segurança hídrica; Tecnologias de captação de água.



## **ABSTRACT**

Regional development in areas like the Brazilian Semi-arid region is intrinsically linked to water sustainability. Water scarcity not only limits economic growth but also negatively impacts public health and exacerbates social inequalities. In this context, the implementation of sustainable water resource management strategies, such as the construction of underground dams and the adoption of agricultural practices adapted to local climatic conditions, becomes essential to promote sustainable socioeconomic development in these regions. Underground dams, in particular, stand out as a water resource management tool and as an alternative, low-cost technology for construction and maintenance, being a hydro-environmental work that aims to meet water demands for human, animal, and agricultural consumption, especially in arid and semi-arid regions. They interrupt the flow of surface and groundwater through an impermeable wall built transversally to the direction of the water flow. Rainwater infiltrates slowly, forming or raising the water table, which will later be used by plants. In the face of the challenges imposed by prolonged drought and the economic vulnerability of rural communities, the importance of intensifying rainwater harvesting and storage becomes evident, not only as a measure to mitigate crop losses but also as a mechanism to significantly increase the income of rural communities and promote sustainable economic development in the region. Strengthening these practices, combined with public policies aimed at the Brazilian Semi-arid region, can transform the reality of the region, making it more resilient to climatic adversities, promoting water security, and contributing to the reduction of regional inequalities. In this sense, the main objective of this work is to review the literature on the role of underground dams in promoting water sustainability and regional development in the Brazilian Semi-arid region, covering the advances, limitations, and opportunities of this technology in the context of water resource management.

**Keywords:** Drought adaptation; Family farming; Water resource management; Water security; Rainwater harvesting technologies.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Abertura mecânica (a) e manual da vala (b) por onde vai subir o plástico formando a parede/septo impermeável; vala aberta até a camada impermeável ou rocha (c); lona plástica sendo estendida na vala para impermeabilizar (d). Fonte: Silva *et al.* (2007). 26
- Figura 2.** Prendendo a lona na superfície do terreno à jusante; e fixando a lona na base da vala à montante; lona estendida na parede na parede da vala, à jusante da barragem subterrânea. Fonte: Silva *et al.* (2007). 27
- Figura 3.** Colocação da lona no sangradouro e revestimento com massa de concreto. Fonte: Silva *et al.* (2007). 27
- Figura 4.** Desenho esquemático do funcionamento da barragem subterrânea. Adaptado de [www.irpaa.org](http://www.irpaa.org) (Desenho: Jhones Gomes Lopes). Fonte: SILVA *et al.* 2007. 28

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONDEL	Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ONG	Organização não governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Pernambuco
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PTA	Projeto Tecnologias Alternativas
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
°C	Graus Celsius
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
m	Metros

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 Relevância do tema .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos.....	15
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
3.1 Sustentabilidade Hídrica.....	16
3.2 Semiárido brasileiro: desenvolvimento e aproveitamento dos recursos hídricos.....	19
3.3 Barragens subterrâneas.....	23
3.3.1 Histórico e evolução das barragens subterrâneas .....	23
3.3.2 Modelos e detalhes construtivos.....	25
3.3.3 Manejo do solo e da água .....	30
3.3.4 Políticas públicas e incentivos para a segurança hídrica no Semiárido.....	31
3.3.5 Possíveis usos da água armazenada em barragem subterrânea .....	35
3.3.5.1 Contribuições para a pecuária e agricultura sustentável .....	37
3.3.6 Impactos sociais, econômicos e ambientais .....	38
3.3.7 Mudanças climáticas e adaptação: as influências geradas pelas barragens subterrâneas .....	40
3.3.8 Estudos e projeções futuras .....	41
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>43</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>45</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Relevância do tema

A história do Nordeste brasileiro está intimamente relacionada à seca, caracterizada pela escassez crônica de água e pelos impactos socioeconômicos que ela gera. A seca, um fenômeno recorrente na região semiárida, manifesta-se de várias formas, sendo a perda de safras agrícolas uma das consequências mais imediatas e devastadoras. A redução ou falha das colheitas afeta diretamente a segurança alimentar das comunidades rurais, que dependem da agricultura de subsistência. Além disso, a seca provoca o aumento do desemprego no campo, uma vez que a atividade agrícola, principal fonte de renda da população, é severamente prejudicada. Com a diminuição das oportunidades de trabalho no meio rural, a migração das populações para as cidades se intensifica, criando uma série de desafios urbanos, como a superlotação e a falta de infraestrutura adequada para absorver esse fluxo migratório.

Outro efeito crítico da seca é a escassez de água potável para as populações. Muitas comunidades enfrentam dificuldades severas de acesso à água para o consumo humano e animal, o que agrava ainda mais as condições de vida no semiárido. A falta de água adequada também contribui para a proliferação de doenças e para o aumento da vulnerabilidade social. As migrações do campo para a cidade, muitas vezes vistas como um escape da dura realidade rural, também acarretam novas problemáticas, como a desestruturação das famílias e o inchaço dos centros urbanos, onde o acesso a empregos e serviços nem sempre é garantido. Essas migrações fazem parte de um ciclo histórico de mobilidade populacional que moldou, ao longo dos séculos, a sociedade nordestina, mas que, infelizmente, também perpetua desigualdades regionais.

Em suma, a seca no Nordeste não se restringe apenas à falta de chuvas, mas reflete um problema mais amplo de acesso desigual aos recursos hídricos, de fragilidade social e econômica, e de políticas públicas que, historicamente, não conseguiram mitigar de forma eficaz os seus efeitos devastadores. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que permitam a convivência com a seca, surge como solução necessária para mitigar estes impactos.

Entre as diversas tecnologias disponíveis, as barragens subterrâneas exercem um papel significativo na democratização do acesso à água em regiões semiáridas. Esta tecnologia e instrumento de gestão de recursos hídricos, utilizada há séculos por agricultores tradicionais na região nordeste e objeto de estudo desde o início da década de 1980 no Brasil. Tem provocado alterações substanciais nos agroecossistemas familiares do semiárido ao possibilitar a retenção

da água no solo e, conseqüentemente, viabilizar o cultivo por períodos mais prolongados, o que é crucial em um ambiente caracterizado por ciclos climáticos irregulares e longos períodos de seca. As barragens subterrâneas são uma resposta inovadora para a crise hídrica no semiárido, oferecendo uma solução sustentável que é avaliada em termos de eficácia, durabilidade e impacto socioeconômico. A implantação dessas barragens não só incrementa a capacidade de armazenamento e retenção de água no ambiente semiárido, mas também avalia como suas características influenciam o desenvolvimento regional e a sustentabilidade hídrica.

O acesso à água é fator limitante ao desenvolvimento regional e está sendo ampliado nessas regiões por meio de tecnologias de captação, armazenamento e conservação da água da chuva. A implementação dessas tecnologias ocorre por meio das políticas públicas, de projetos de pesquisa e extensão, bem como pela atuação de Organizações Não Governamentais (ONGs). Políticas públicas, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), desempenham um papel crucial ao apoiar a implementação dessas tecnologias. Com isto, esta pesquisa examinará como essas políticas têm facilitado a adoção das barragens subterrâneas e como sua eficácia pode ser aprimorada.

O desenvolvimento regional em áreas como o Semiárido brasileiro está intrinsecamente relacionado à sustentabilidade hídrica, onde, a escassez de água não apenas limita o crescimento econômico, mas também afeta negativamente a saúde pública e agrava as desigualdades sociais. Nesse contexto, a implementação de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos, como a construção de barragens subterrâneas e a adoção de práticas agrícolas adaptadas às condições climáticas locais, torna-se essencial para promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável dessas regiões. As barragens subterrâneas, em particular, destacam-se como uma tecnologia alternativa de baixo custo de construção e manutenção, capaz de captar e armazenar a água da chuva para uso no abastecimento humano, animal e agrícola.

Segundo Oliveira *et al.* (2015), a adoção de barragens subterrâneas e outras tecnologias hídricas tem transformado a vida do agricultor familiar do Semiárido brasileiro, permitindo que cultivem alimentos tanto para o sustento de suas famílias, quanto para a alimentação de animais, além de possibilitar a produção de excedentes destinados à comercialização local. Como resultado, essa transformação tem promovido impactos positivos na segurança alimentar e no aumento da renda das comunidades rurais, contribuindo para o desenvolvimento econômico regional (FERREIRA *et al.*, 2011). Além disso, ao garantir uma fonte de água estável e confiável, as barragens subterrâneas possibilitam a introdução de práticas agrícolas mais

sustentáveis e a diversificação da produção, mitigando a dependência de monoculturas e reduzindo a pressão sobre os ecossistemas locais (SOUZA; MENDES, 2017).

De acordo com Almeida *et al.* (2006), a agricultura familiar é conduzida de maneira empírica, utilizando os limitados recursos hídricos disponíveis, sejam eles subterrâneos ou superficiais, de forma degradante, o que acaba tornando esses recursos cada vez mais inadequados para uso. Em contraste, as barragens subterrâneas, frequentemente, proporcionam condições favoráveis para o cultivo em solos, além de oferecerem outras vantagens, como a redução das perdas por evaporação da água acumulada e a preservação das superfícies de áreas agricultáveis, que permanecem disponíveis para plantio.

Diversas características determinam a viabilidade e funcionalidade das barragens subterrâneas, incluindo o aumento da produtividade agrícola e a melhoria das condições de vida das famílias no semiárido, a capacidade de adaptação a diferentes ambientes, facilidade de replicação, baixo custo de implementação e manutenção, além da simplicidade de apropriação pelos beneficiários, garantindo-lhes uma fonte de água estável e confiável. Essas características tornam as barragens subterrâneas uma solução eficaz e acessível para as comunidades rurais. A pesquisa buscará evidências empíricas desses impactos para avaliar a eficácia das barragens em diferentes contextos.

A água armazenada nas barragens subterrâneas apresenta grande potencial de uso, abrangendo desde agricultura e pecuária familiar até atividades agropecuárias de maior escala. Em termos agrícolas, essa tecnologia permite que os pequenos agricultores consigam manter a irrigação de suas plantações mesmo durante os períodos mais críticos de seca. O acesso contínuo à água possibilita a prática de cultivos diversificados e sustentáveis, incluindo hortaliças e frutíferas, que demandam irrigação constante. Isso não apenas garante a produção para o consumo próprio, mas também para a comercialização, gerando excedentes que contribuem para a melhoria da renda familiar (ALMEIDA *et al.*, 2006).

No contexto pecuário, a água retida nas barragens subterrâneas é um recurso crucial para o abastecimento de animais em regiões onde a escassez hídrica afeta severamente a disponibilidade de fontes superficiais. A criação de bovinos, caprinos e ovinos pode ser mantida de maneira mais eficiente e sustentável, mesmo em condições adversas de estiagem. O fornecimento constante de água melhora o desempenho animal, tanto em termos de produção de carne quanto de leite, resultando em maior produtividade e qualidade dos produtos.

Além disso, a água das barragens subterrâneas pode ser utilizada para a revitalização de pastagens, contribuindo para a recuperação de solos degradados e para o manejo sustentável de áreas utilizadas para a criação de animais. Assim, a tecnologia torna-se essencial para a

integração entre as práticas agrícolas e pecuárias, fortalecendo a resiliência das comunidades rurais e promovendo o desenvolvimento sustentável (FRANÇA *et al.*, 2016).

A importância de intensificar a captação e armazenamento da água da chuva é evidente, não apenas como medida para mitigar os prejuízos causados por perdas de safra, mas também como um mecanismo para aumentar significativamente a renda das comunidades rurais e promover o desenvolvimento econômico sustentável da região.

Diante do cenário explicitado, torna-se evidente a importância de estudos que forneçam informações sobre manejos adequados dos recursos hídricos, visando garantir a sustentabilidade de toda cadeia produtiva, mesmo em períodos de estiagem. O fortalecimento dessas práticas pode transformar a realidade do Semiárido brasileiro, tornando-o mais resiliente às adversidades climáticas e contribuindo para a redução das desigualdades regionais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar o papel das barragens subterrâneas na promoção da sustentabilidade hídrica e no desenvolvimento regional no Semiárido brasileiro.

### **2.2 Específicos**

- 2.2.1 Abordar a eficácia das barragens subterrâneas em relação à retenção e armazenamento de água no solo para fins agrícolas;
- 2.2.2 Discutir os possíveis usos da água armazenada na barragem subterrânea e contribuições para a pecuária e agricultura sustentável;
- 2.2.3 Avaliar a sustentabilidade a longo prazo das barragens subterrâneas, incluindo aspectos relacionados à manutenção, durabilidade dos materiais e a necessidade de intervenções futuras;
- 2.2.4 Abordar aspectos específicos como, impactos sociais, econômicos e ambientais associados à sua implementação e manutenção;
- 2.2.5 Explorar as contribuições das barragens subterrâneas para a sustentabilidade hídrica e o desenvolvimento regional;
- 2.2.6 Identificar e abordar as principais políticas públicas e programas de incentivo à implementação de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro, destacando o papel de cada um na promoção da tecnologia e sua efetividade.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Sustentabilidade hídrica**

A sustentabilidade hídrica é uma questão de importância global, especialmente em um cenário de mudanças climáticas que afeta diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos em todo o mundo. Países em diferentes continentes enfrentam desafios específicos em relação à gestão de suas fontes de água, variando desde a escassez em regiões áridas até a poluição em áreas urbanizadas. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), “a escassez de água já afeta quatro em cada dez pessoas em todo o mundo, e o aumento populacional, aliado à intensificação da agricultura e à industrialização, agrava ainda mais essa situação”. Assim, a sustentabilidade hídrica desempenha um papel crucial no enfrentamento das mudanças climáticas, na garantia da segurança alimentar e no desenvolvimento regional. Atuando para o manejo racional dos recursos naturais e para garantir o equilíbrio entre o uso da água e a conservação dos ecossistemas.

No Brasil, a sustentabilidade hídrica também está no centro do debate sobre o uso racional dos recursos naturais. O país, embora seja detentor de cerca de 12% da água doce disponível no planeta, enfrenta desafios relacionados à distribuição desigual deste recurso em seu território. Enquanto a Região Norte abriga a maior parte dos recursos hídricos do Brasil, áreas como o Nordeste, por exemplo, sofrem com a escassez crônica de água, que afeta tanto o abastecimento humano quanto a produção agrícola.

Em áreas como o Semiárido brasileiro, a gestão eficaz dos recursos hídricos é essencial para mitigar os impactos adversos das mudanças climáticas, que exacerbam a escassez de água e aumentam a frequência de eventos climáticos extremos. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura: "a variabilidade climática e o aumento das temperaturas intensificam os desafios relacionados à disponibilidade e à qualidade da água, ameaçando tanto a produção agrícola quanto a sustentabilidade dos ecossistemas" (FAO, 2018).

No contexto da segurança alimentar, a água é um recurso insubstituível para a produção agrícola, particularmente em regiões semiáridas onde a agricultura irrigada é vital para a sobrevivência. A eficiência no uso da água, por meio de práticas sustentáveis, é fundamental para garantir a produção contínua de alimentos. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), "práticas de manejo sustentável da água, como o uso de tecnologias de irrigação eficientes e a construção de infraestruturas hídricas adequadas, são medidas essenciais para minimizar os riscos de escassez alimentar em regiões vulneráveis" (IPCC, 2019).



A questão da sustentabilidade hídrica também está intimamente ligada ao conceito de segurança hídrica, que envolve a disponibilidade, o acesso e o uso adequado da água para diversos fins, incluindo abastecimento humano, irrigação e conservação ambiental. Segundo Lima *et al.* (2019), "a sustentabilidade hídrica envolve não apenas a gestão técnica dos recursos, mas também a conscientização das comunidades sobre o uso adequado da água, promovendo práticas de conservação que permitam o uso contínuo sem comprometer o futuro". Ainda, de acordo com Silva *et al.* (2020), "a segurança hídrica vai além do simples abastecimento de água, integrando aspectos como a governança e a equidade na distribuição dos recursos hídricos, de modo a assegurar a justiça social e ambiental".

Além da qualidade das águas disponíveis no território, outro fator de grande relevância é a quantidade de água, que tem diminuído consideravelmente nos últimos anos. O acesso a essa água varia significativamente dependendo da região. Regiões costeiras, por exemplo, apresentam maior precipitação anual, uma distribuição mais uniforme das chuvas ao longo do ano e altitudes próximas ao nível do mar, o que resulta em melhores condições hidrológicas, embora o abastecimento possa ser prejudicado por questões políticas. Em contraste, as áreas sob clima semiárido recebem menos precipitação anual, com chuvas concentradas em poucos meses e geralmente situadas em altitudes mais elevadas, necessitando de políticas específicas para otimizar o uso dos recursos hídricos.

O relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988), conhecido como *Relatório Brundtland*, e intitulado "Nosso futuro comum", definiu: "desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades", e a água sempre foi um componente central nesse contexto.

Em âmbito global, a sustentabilidade hídrica ganhou relevância nas agendas internacionais, principalmente com a criação de marcos globais como a Agenda 21, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), que reforçou a necessidade de gerenciar a água de forma integrada e participativa. Outro marco foi a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015, dos quais, o ODS 6 visa "assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos", estabelecendo metas para assegurar o acesso universal à água potável e ao saneamento, além de promover a gestão sustentável dos recursos hídricos. O desenvolvimento regional em áreas como o Semiárido brasileiro depende intrinsecamente da sustentabilidade hídrica. A escassez de água limita o crescimento econômico, afeta negativamente a saúde pública e agrava as desigualdades sociais. Nesse sentido, a implementação de estratégias de gestão sustentável dos

recursos hídricos, como a construção de barragens subterrâneas e a adoção de práticas agrícolas adaptadas ao clima, é essencial para promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Além das barragens subterrâneas, outras técnicas, como a captação de água da chuva e o reuso de águas residuais, são essenciais para garantir a segurança hídrica em regiões áridas e semiáridas. Segundo Araújo *et al.* (2021), "a integração dessas técnicas com práticas de manejo eficiente do solo contribui para a recarga dos aquíferos e para o aumento da capacidade de retenção de água no solo, promovendo a sustentabilidade hídrica a longo prazo".

O uso eficiente da água na agricultura, que é responsável por cerca de 70% do consumo global desse recurso, é um aspecto central da sustentabilidade hídrica. Tecnologias como irrigação por gotejamento, sistemas de monitoramento do solo e o uso de sensores para medir a umidade do solo são ferramentas que permitem otimizar o uso da água, reduzindo o desperdício. Conforme o relatório anual do Banco Mundial (2018), "a modernização da irrigação e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis podem aumentar a eficiência hídrica em até 25%, o que é essencial para garantir a produção agrícola em áreas vulneráveis e mitigar os impactos das mudanças climáticas".

Essas estratégias incluem a promoção de tecnologias de armazenamento e eficiência hídrica, o incentivo à utilização de técnicas de conservação da água e a realização de projetos de reabilitação de áreas degradadas. Medidas como essas não só ajudam a enfrentar a escassez hídrica, mas também promovem a recuperação de ecossistemas e a melhoria da qualidade de vida das populações locais. Para Peixinho (2010), "a sustentabilidade hídrica não pode ser dissociada de uma abordagem integrada que leve em consideração os fatores socioeconômicos, ambientais e climáticos de cada região".

Outro aspecto relevante é a importância de políticas públicas voltadas para o uso sustentável da água. O incentivo à adoção de tecnologias eficientes, combinado com o desenvolvimento de infraestruturas hídricas adaptadas às necessidades regionais, é essencial para promover a sustentabilidade hídrica a longo prazo. Para Gonçalves *et al.* (2018), "políticas que integrem o uso sustentável da água com a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico são essenciais para garantir que os recursos hídricos atendam às gerações presentes e futuras".

Em suma, a sustentabilidade hídrica é fundamental para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, garantir a segurança alimentar e promover o desenvolvimento regional, especialmente em áreas vulneráveis como o semiárido, integrando fatores sociais, econômicos e ambientais. Assim, a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos pode ser o diferencial para assegurar um futuro resiliente e sustentável para essas regiões.

### **3.2 Semiárido brasileiro: desenvolvimento e aproveitamento dos recursos hídricos**

O Semiárido brasileiro é uma região específica, diferente das outras regiões do Brasil, necessitando de conhecimentos e tecnologias que atendam às suas particularidades. Esse enfoque é essencial para alcançar uma vida social, política e economicamente segura, garantindo a sustentabilidade da agricultura familiar.

A delimitação do semiárido mudou recentemente, em janeiro de 2024, por meio da Resolução Condrel nº 176 em função de alguns critérios tomados. Com essa delimitação, o Semiárido brasileiro é composto atualmente por 1.477 municípios, desde os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, e o norte de Minas Gerais e Espírito Santo (BRASIL, 2024), com extensão de 1.335.298 km<sup>2</sup>, representando cerca de 15,75% do território e sendo a região semiárida mais populosa do mundo, com aproximadamente 31 milhões de habitantes (INSA, 2024).

Com relação ao comportamento mensal da temperatura média do ar, constata-se que os meses de maio a agosto registram os valores mais baixos, especialmente na região central do Semiárido. Nas áreas próximas à linha do Equador, no entanto, observa-se pouca variação térmica ao longo do ano. Na porção norte do Semiárido, as temperaturas médias permanecem entre 25°C e 29°C em praticamente todos os meses, devido à distribuição uniforme da radiação solar em latitudes mais baixas. Já na porção central do Nordeste, ocorrem os maiores extremos térmicos, com as temperaturas mais altas e mais baixas do ano. Essa área também apresenta baixos índices de precipitação e altas taxas de evapotranspiração potencial, coincidindo com regiões de vegetação escassa e solos degradados, o que as torna mais suscetíveis à desertificação.

A região Semiárida brasileira é caracterizada por precipitações acumuladas entre 280 e 800 mm de médias totais anuais e com índice de aridez de 0,50, considerando o método estabelecido por Thornthwaite (1948), e com porcentagem de escassez hídrica diária superior ou igual a 60% (SILVA, 2023), levando em consideração a caracterização das áreas específicas para estudos. Com precipitações restritas a períodos curtos, concentradas em três ou quatro meses do ano, que correspondem a mais de 50% do total anual, acumulando, aproximadamente, 70% das chuvas do ano (NIMER, 1977). Estas características permitem aferir o clima predominante como sendo do tipo quente e seco ou BSh de Köppen. Ou seja, quente e seco de estepe, com temperatura média anual superior a 18°C, havendo variações como o BShw, com chuvas de verão, entre outros.

Segundo Araújo (2011), o Semiárido brasileiro abriga variações climáticas regionais que vão além do clima predominante. Existem outras formas climáticas que surgem devido às variações nas características naturais e atmosféricas. Um exemplo é o clima Aw - tropical chuvoso, geralmente quente e subúmido, caracterizado por chuvas prolongadas que se estendem do verão até o outono. Esse tipo de clima predomina nas partes norte e nordeste da região, abrangendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

Outro clima presente é o Cs - mesotérmico, que apresenta chuvas concentradas no outono e inverno, sendo mais comum em áreas de relevo elevado, como as serras agrestadas. Essas áreas, conhecidas como brejos das serras e planaltos, incluem regiões como Triunfo (PE), Teixeira (PB) e a Chapada do Araripe (que abrange partes do Ceará, Pernambuco e Piauí). A diversidade climática e geográfica contribui para a riqueza ambiental da região semiárida (ARAÚJO, 2011). Essas variações demonstram a complexidade do semiárido brasileiro, que, apesar de sua aridez, possui microclimas que influenciam diretamente a biodiversidade e as atividades agrícolas e pecuárias em áreas específicas.

É importante ressaltar que, devido à significativa variabilidade espacial da precipitação no Semiárido brasileiro, é possível encontrar locais onde os totais precipitados estejam próximos aos valores médios em um ano considerado seco e, inversamente, áreas que apresentem níveis de chuva superiores à média, como nos chamados brejos e serras úmidas. Esta variação na disponibilidade de água, combinada com os contrastes físicos, resultou no surgimento de diversos tipos de vegetação, frequentemente organizados em um padrão de mosaico (ROCHA, 2009).

A região Semiárida brasileira, segundo Araújo (2011), apresenta o clima como um fator responsável pela variação dos elementos que caracterizam as paisagens. A maior parte do território é revestida por vegetação que apresenta espinhos, microfilia, cutículas impermeáveis, caducifolia, sistemas de armazenamento de água em raízes e caules modificados, bem como mecanismos fisiológicos que classificam a vegetação xerófila e a área sendo denominada Caatinga. O Bioma Caatinga é caracterizado por espécies que apresentam características morfofisiológicas adaptadas ao estresse hídrico e às altas temperaturas (KIILL *et al.*, 2019), já a composição florística não é uniforme e pode variar de acordo com o volume das precipitações, a qualidade dos solos, a rede hidrográfica e a ação antrópica. Das formações vegetais, considera-se a Caatinga um dos biomas brasileiros mais alterados pelas atividades humanas (CORREIA *et al.* 2011). De acordo com Silva *et al.* (2017), a Caatinga abrange 912.000 km<sup>2</sup> de extensão e está distribuída em 17 grandes unidades de paisagem que, por sua vez, estão

subdivididas em 105 unidades geoambientais (RODAL; SAMPAIO, 2002), de um total de 172 no Nordeste como um todo (SILVA *et al.*, 1993).

Ao clima estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo, com a predominância de um processo sobre o outro dependendo da estação do ano, seja ela seca ou chuvosa. Os solos são, em geral, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez de chuvas, que limita a atuação dos processos químicos sobre o desenvolvimento dos solos (ARAÚJO, 2011).

O relevo da região é bastante diversificado, o que explica o grande número de grandes unidades de paisagem. A altitude média varia entre 400 e 500 metros, podendo chegar a 1.000 metros. Cerca de 37% da área consiste em encostas com inclinação de 4 a 12%, enquanto 20% das encostas apresentam inclinação superior a 12%, o que resulta em uma significativa ocorrência de processos erosivos nas áreas impactadas pela ação humana (SILVA, 2000). Topograficamente, a região distingue-se por apresentar um relevo que varia de plano a ondulado, com vales amplamente abertos, resultado da menor resistência ao intemperismo dos xistos e de outras rochas com baixo grau de metamorfismo. A maior parte da região é inserida na Depressão Sertaneja, uma superfície de pediplanação (depressão periférica do São Francisco), onde se encontram cristas e outeiros residuais (JACOMINE, 1973).

Quanto à Geologia, Jacomine (1996) segmentou a região em três áreas com base na natureza do material de origem: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares. A Geologia e o material de origem desempenham um papel crucial na formação dos solos, devido à significativa variação das litologias na região. De acordo com Brasil (1974), há a ocorrência de áreas do cristalino, predominantemente compostas por gnaisses, granitos, migmatitos e xistos; áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos; e áreas sedimentares recentes de depósitos fluviais.

A cobertura pedológica dessa região está intimamente relacionada com o clima, o material de origem, a vegetação e o relevo. Os solos estão distribuídos percentualmente em Neossolos Litólicos (19,2%), Latossolos (21%), Argissolos (14,7%), Luvisolos (13,3%), Neossolos Quartzarênicos (9,3%), Planossolos (9,1%), Neossolos Regolíticos (4,4%) e Cambissolos (3,6%). Perfazendo 5,4% da região, podem também ser encontrados Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Chernossolos, entre outros, em pequenas extensões (JACOMINE, 1996).

Nos Neossolos, há infiltração rápida devido à sua textura geralmente arenosa. No entanto, essa característica limita a ascensão da água por capilaridade, fazendo com que a água se concentre em profundidade. Os Neossolos Litólicos apresentam um horizonte A raso e um substrato rochoso ou pedregoso, resultando em baixa profundidade e fertilidade. Já os

Neossolos Quartzarênicos são predominantemente arenosos, com alta percentagem de quartzo, o que os torna bem drenados, porém com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Os Neossolos Regolíticos formam-se sobre um material residual que pode ser rocha ou fragmentos de rocha, apresentando uma maior profundidade e melhor capacidade de retenção de água em comparação com os Litólicos. Por fim, os Neossolos Flúvicos são encontrados em áreas de várzea ou ao longo de cursos d'água, sendo formados e caracterizando-se por sedimentos recentes depositados por processos fluviais, com boa fertilidade e alta capacidade de retenção de água. Apesar de serem de uma mesma classe, os quatro tipos de Neossolos são diferenciados entre si e têm potencialidades de uso características de cada um.

Na região semiárida brasileira os rios são, na maioria, intermitentes e condicionados ao período chuvoso, quando realmente se tornam rios superficiais. Por outro lado, no período seco, parecem se extinguir e, na realidade, estão submersos nos aluviões dos vales, ou baixadas, compondo o lençol freático já com pouca reserva de água. De acordo com Schuster e Srinivasan (2004), o aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro é uma prática bastante complexa devido às peculiaridades climatológica e geológica da região.

Ao analisar o contexto rural, a situação se torna ainda mais desafiadora, especialmente porque as propriedades rurais que dependem de mananciais superficiais frequentemente enfrentam limitações, tanto em termos de qualidade, quanto de quantidade de água disponível. Esses recursos, muitas vezes, não conseguem atender adequadamente às demandas das comunidades agrícolas. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), apenas 56% da população rural tem acesso a serviços de abastecimento de água potável, sendo que, em muitas áreas, a água disponível apresenta altos níveis de salinidade e contaminação por patógenos.

Apesar dos avanços em tecnologias de aproveitamento hídrico, como as barragens subterrâneas e sistemas de dessalinização, a questão do saneamento básico ainda representa um grande desafio no Semiárido, e isso deve ser considerado para o uso sustentável da água. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), cerca de 38% dos domicílios na região semiárida não possuem acesso adequado ao saneamento básico, o que compromete a qualidade da água e eleva os riscos de contaminação dos recursos hídricos disponíveis. A gestão integrada dos recursos hídricos é fundamental para garantir a segurança hídrica, e programas como o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) visam expandir o acesso a serviços de água e esgoto, promovendo melhorias significativas na qualidade de vida e nas práticas agrícolas locais.

Este cenário agrava as condições de saúde pública e limita o potencial de aproveitamento hídrico para agricultura e pecuária, bem como o desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, os aquíferos aluviais, que são fontes de água subterrânea de boa qualidade, emergem como uma alternativa viável para suprir as necessidades hídricas das populações nessas áreas (BRITO; ANJOS, 2013).

### **3.3 Barragens subterrâneas**

#### **3.3.1 Histórico e evolução das barragens subterrâneas**

Considerando a evolução histórica do uso semântico do termo, de acordo com Santos e Fragipani (1978), o uso da denominação “barragem submersa” refere-se a tecnologia de interceptação do fluxo subterrâneo em rios e riachos intermitentes no semiárido. Corroborando com essa assertiva, o decreto Federal 9.256, de 28 de dezembro de 1911, que criou a Inspetoria de Obras Contra a Seca traz na sua finalidade quinta, a explicitação clara do termo “barragens submersas” (BRASIL, 1915).

*[...] Art. 1º Continuarão a cargo da repartição federal denominada Inspetoria de Obras Contra as Secas os serviços relativos aos estudos e obras contra os efeitos das secas que assolam alguns Estados do Brasil, compreendidos entre o Piauí e o norte de Minas Gerais... Art. 2º Os serviços de estudos e obras destinados a prevenir e atenuar os efeitos das secas, de que trata o artigo precedente, são os seguintes: V. Barragens submersas e outras obras destinadas a modificar o regime torrencial dos cursos de água [...]*

Segundo Santos e Fragipani (1978), diferindo dois grupos deste tipo de acumulação hídrica: submersas e submersíveis, onde o termo "barragem submersa" foi inicialmente utilizado para descrever a tecnologia de interceptação do fluxo subterrâneo em rios e riachos intermitentes no semiárido. Corroborando com o decreto supracitado, ao abordar a gestão hídrica para enfrentar os efeitos das secas, menciona explicitamente "barragens submersas" como uma das técnicas para modificar o regime torrencial dos cursos d'água e mitigar os impactos das secas.

Com o passar das décadas, foi necessário aprimorar as técnicas de acumulação e armazenamento hídrico para melhor enfrentar as condições extremas de estiagem. Assim, a partir da década de 1980, surge então a terminologia “barragens subterrâneas” designando às

construções com septo impermeável, abaixo e acima do solo, e então, extinguindo o termo “barragem submersa” (LIMA *et al.*, 2013). Esta mudança de nomenclatura visava uma melhor descrição técnica e operacional das barragens que não apenas interrompem o fluxo superficial, mas também influenciam a infiltração e armazenamento de água subterrânea, diferindo significativamente das "barragens submersas" anteriormente utilizadas.

Neste contexto, as barragens subterrâneas surgiram como tecnologia alternativa para aumento da oferta hídrica no Semiárido brasileiro, aproveitando a captação das águas subterrâneas presentes nos mananciais aluvionares. Apesar das divergências terminológicas, Medeiros (2004) destaca que há consenso entre os teóricos sobre a viabilidade das barragens subterrâneas na mitigação das variações espaciais e temporais das chuvas no semiárido, bem como sobre sua eficiência em aumentar a oferta hídrica.

Estudos realizados por Melo *et al.* (2009), em Pernambuco, Brasil, evidenciam que a tecnologia de captação de água da chuva, por meio de barragens subterrâneas, é uma das alternativas viáveis para o abastecimento de água destinada ao consumo humano e animal, além da produção de alimentos nas comunidades rurais. A aplicação dessa tecnologia proporciona vantagens significativas, tais como: a possibilidade de cultivo na mesma área de captação de água, menor risco de contaminação por poluentes superficiais, redução da evaporação, baixo custo de construção, geração de emprego e manutenção produtiva, além de promover a diversificação de cultivos e garantir a segurança alimentar (SILVA *et al.*, 2007b).

É importante ressaltar que, embora as barragens subterrâneas ofereçam uma solução promissora, essa tecnologia não deve ser vista como uma solução única para todos os problemas relacionados à água na região semiárida, nem deve substituir outras intervenções que possam melhorar a disponibilidade hídrica neste ambiente. A integração desta tecnologia com outras intervenções e estratégias de manejo sustentável é essencial para maximizar a eficiência e a resiliência dos sistemas hídricos em regiões áridas e semiáridas.

É essencial que as barragens subterrâneas sejam projetadas seguindo parâmetros técnicos recomendados, no entanto, mesmo com a observância dessas diretrizes, podem surgir alguns problemas atrelados ao uso dessa tecnologia de convivência com o semiárido. Algo que foi pautado por Silva *et al.* (2007b), como: “não é um projeto que se adequa em todo o ambiente; há emprego de manejo inadequado nas áreas de captação e/ou plantio; falta de conhecimento para a maioria dos agricultores que vivem sobre a barragem; e, por último, caso não sejam seguidas as recomendações, o uso desse tipo de barragem pode trazer problemas ambientais como a salinização da área de captação”.



Apesar dessas questões, as barragens subterrâneas ainda representam uma solução promissora para a convivência com o semiárido, devido às suas vantagens em termos de sustentabilidade hídrica e produtiva, como já mencionado (SILVA *et al.*, 2007c). Ao ponderar os potenciais e limitações dessa tecnologia, chega-se a um balanço positivo por suas vantagens, o que aumenta sua importância como veículo de desenvolvimento para a região semiárida.

Com base no levantamento realizado até o momento, torna-se evidente o papel crucial que as barragens subterrâneas desempenham no contexto do desenvolvimento sustentável. A realidade ambiental das regiões do semiárido, somada ao baixo custo de implementação dessa tecnologia e aos diversos benefícios sociais associados ao seu uso, demonstra o potencial dessas barragens em superar os desafios históricos relacionados à convivência com a seca. Contudo, para maximizar sua eficácia, é essencial aprofundar o conhecimento sobre os diferentes modelos de barragens subterrâneas disponíveis e analisar casos de sucesso que possam ser replicados em outras regiões, garantindo a sua adaptação e aplicabilidade em variados contextos.

### **3.3.2 Modelos e detalhes construtivos**

Embora as barragens subterrâneas sejam uma tecnologia de baixo custo e grande relevância social, é fundamental realizar estudos de alocação e garantir sua manutenção ao longo do tempo. As estruturas que compõem essas barragens estão sujeitas a desgaste, o que pode comprometer seu funcionamento. Dessa forma, a escolha adequada do local para instalação da barragem é crucial, devendo-se utilizar técnicas que minimizem o impacto ambiental, e selecionando locais onde escoar o maior volume de água no momento da chuva.

Uma das inovações tecnológicas que têm sido empregadas para otimizar a construção de barragens subterrâneas é o uso de ferramentas avançadas de mapeamento do subsolo. Nesse contexto, Lima *et al.* (2018) destacam a aplicação do radar de penetração no solo (*Ground Penetrating Radar – GPR*), uma tecnologia que possibilita identificar irregularidades no embasamento cristalino e na topografia, ampliando a área de acumulação de água. Essa abordagem proporciona uma compreensão mais detalhada das características geológicas do terreno, favorecendo uma alocação mais eficiente da barragem (SOUZA; CARVALHO, 2020).

Existe uma sequência de etapas que devem ser seguidas para garantir a implementação bem-sucedida de uma barragem subterrânea, a serem executadas após a avaliação prévia da paisagem. É fundamental destacar que as características ambientais desempenham um papel crucial no planejamento deste tipo de tecnologia, sendo que esses aspectos serão detalhados em outro ponto do trabalho. A primeira etapa consiste na escavação de uma vala, utilizando

retroescavadeira para abertura mecânica, ou abertura manual (Figura 1 a e b), perpendicular ao fluxo natural da água, cuja largura e profundidade devem ser suficientes para alcançar a camada de rocha inalterada (Figura 1 c e d).



**Figura 1.** Abertura mecânica (a) e manual da vala (b) por onde vai subir o plástico formando a parede/septo impermeável; vala aberta até a camada impermeável ou rocha (c); lona plástica sendo estendida na vala para impermeabilizar (d). Fonte: Silva *et al.* (2007a).

Uma vez concluída a escavação, é necessário impermeabilizar a vala, utilizando argila compactada ou lona plástica, para bloquear o fluxo de água subterrânea (Figura 2). Nesse momento, realiza-se também a construção do sangradouro (Figura 3) com 50-70 centímetros de altura e o poço tipo Amazonas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento da água retida. A dimensão e configuração do poço serão ajustadas de acordo com o tamanho do barramento, facilitando a drenagem da água acumulada para o seu interior (CIRILO; COSTA, 1999).



**Figura 2.** Prendendo a lona na superfície do terreno à jusante; e fixando a lona na base da vala à montante; lona estendida na parede da vala, à jusante da barragem subterrânea. Fonte: Silva *et al.* (2007a).



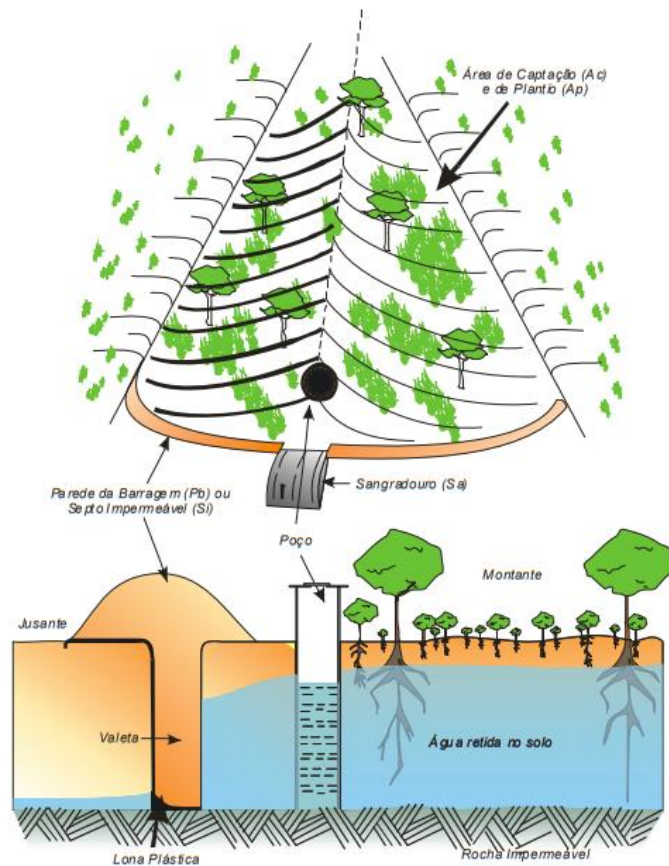
**Figura 3.** Colocação da lona no sangradouro e revestimento com massa de concreto. Fonte: Silva *et al.* (2007a).

Após a conclusão das etapas supracitadas, o próximo passo envolve o preenchimento da vala com o mesmo material retirado durante a escavação. Além disso, é necessário realizar o enrocamento com rochas na superfície da vala, atingindo aproximadamente 0,5 metro de altura, para favorecer uma maior infiltração da água superficial no solo. Outro aspecto importante é a instalação de piezômetros na parte superior da barragem, a uma distância de 100 a 200 metros, com o objetivo de monitorar o comportamento do nível da água ao longo do tempo, permitindo o acompanhamento do rebaixamento do lençol freático (MARQUES JÚNIOR, 2022).

Existem variações de modelos e tipos de barragem subterrânea, os autores Silva *et al.* (2019) descrevem a barragem subterrânea do grupo submersa (barragem de corte total) como aquela que possui a parede completamente dentro do perfil do solo, que barra apenas o fluxo



de água subterrâneo. Esse modelo de barragem é difundido em outras partes do mundo (ISHIDA *et al.*, 2003; APAYDIN, 2009; SENTHILKUMAR; ELAGON, 2011), assim como no Brasil. A construção desse tipo de barragem é mais adequada para áreas que possuam rios intermitentes e razoáveis áreas de recarga a montante da barragem, o que é encontrado em diversas regiões. Essas características proporcionam boa reserva hídrica para esse tipo de barragem subterrânea.



**Figura 4.** Desenho esquemático do funcionamento da barragem subterrânea. Adaptado de [www.irpaa.org](http://www.irpaa.org) (Desenho: Jhones Gomes Lopes). Fonte: SILVA *et al.* 2007a.

Segundo Silva (2007a), esta barragem subterrânea apresenta componentes, como:

- Área de captação (Ac) - representada por uma bacia hidrográfica delimitada por divisores de água topográfico e freático (Figura 4);
- Área de plantio (Ap) - é a própria bacia hidrográfica da barragem. A depender da disponibilidade de água, é construído dentro dessa área, um reservatório cuja finalidade é armazenar o excedente de água da área de captação/plantio. Esse reservatório pode ser um poço tipo amazonas, cacimbão (Figura 4);
- Parede da barragem ou septo impermeável (Pb) - possui a função de impedir o fluxo de água superficial e subterrâneo, formando e/ou elevando o nível do lençol freático.

Alguns tipos de materiais utilizados na construção da parede são: barro batido, alvenaria, lona plástica de polietileno de 200 micras (Figura 4); e

- Sangradouro (Sa) - possui a função de eliminar o excedente de água da área de captação/plantio (Figura 4).

É válido ressaltar que esse modelo é particularmente eficiente em regiões com solos arenosos ou áreas de alta permeabilidade, onde a água subterrânea tende a se mover rapidamente, dificultando a retenção de umidade. Ao bloquear totalmente o fluxo, a água é forçada a infiltrar no solo, aumentando a recarga hídrica e a disponibilidade de água para a vegetação e usos agrícolas (SILVA *et al.*, 2017).

Diferentemente do modelo supracitado, as barragens de corte parcial permitem que parte do fluxo de água continue a atravessar o subsolo. Esse modelo é indicado em áreas onde é necessário equilibrar a retenção de água com a recarga de aquíferos. Ao permitir um fluxo moderado de água subterrânea, a barragem reduz o ritmo de escoamento, aumentando o tempo disponível para infiltração.

Essa abordagem é eficaz em solos argilosos ou com maior capacidade de retenção de água, onde o objetivo principal não é bloquear completamente o fluxo, mas retardá-lo. Solos com essas características tendem a permitir a infiltração e armazenamento de mais água ao longo do tempo, mantendo o equilíbrio entre o armazenamento e a recarga (PEREIRA *et al.*, 2019).

Ainda, na literatura são descritos modelos alternativos, como as barragens com diques de retenção, onde estruturas são construídas ao longo de cursos de água sazonais, conhecidos como riachos intermitentes. O objetivo é reter o máximo de água durante o período de chuvas, formando um reservatório subterrâneo que poderá ser utilizado durante a estação seca. Nesses casos, além da barreira principal, é comum a construção de diques de contenção ao longo do curso do riacho, ajudando a aumentar a área de infiltração e a retenção de água). Esses diques funcionam como pequenas barreiras que retardam o fluxo e ampliam a área de infiltração, ajudando a formar um grande reservatório subterrâneo. Durante a seca, a água acumulada pode ser utilizada para irrigação ou consumo, garantindo maior segurança hídrica em áreas rurais no semiárido (LOPES *et al.*, 2020).

Em terrenos com declividade acentuada, as barragens subterrâneas podem ser combinadas com a construção de terraços. Esses terraços funcionam como barreiras de contenção de sedimentos e água, aumentando o tempo de retenção da água na superfície e favorecendo a infiltração no subsolo. Os terraços são estruturas construídas ao longo das

encostas, formando degraus que retêm a água superficial e os sedimentos. A combinação de barragens subterrâneas com terraços permite maior infiltração de água, uma vez que os terraços desaceleram o escoamento superficial, aumentando o tempo de retenção da água e diminuindo a perda de solo por erosão. Este modelo é amplamente utilizado em áreas agrícolas com riscos elevados de erosão, onde a gestão de água e solo é essencial para a produtividade sustentável (SANTOS *et al.*, 2018).

### **3.3.3 Manejo do solo e da água**

O sucesso de uma barragem subterrânea também depende do manejo adequado do solo e da água ao longo do tempo. Isso envolve a aplicação de práticas de conservação do solo, como a adição de matéria orgânica e a manutenção da cobertura vegetal, que ajudam a aumentar a capacidade de retenção de água do solo. Além disso, o uso eficiente da água armazenada é crucial para evitar a superexploração e garantir a recarga natural do lençol freático (SILVA *et al.*, 2019).

A cobertura vegetal atua como uma barreira física, reduzindo a evaporação e protegendo o solo contra erosão. A matéria orgânica, por sua vez, melhora a porosidade do solo, facilitando a infiltração e o armazenamento de água no perfil (SANTOS *et al.*, 2020). Além disso, a matéria orgânica contribui para a ciclagem de nutrientes e o desenvolvimento de uma microbiota saudável no solo, fatores que promovem a saúde do ecossistema e a resiliência da barragem ao longo do tempo.

Práticas como o plantio direto, a rotação de culturas e o uso de adubos verdes podem ser associadas ao sistema de barragens subterrâneas para aumentar a infiltração de água e reduzir a evapotranspiração. O plantio direto minimiza a perturbação do solo, preservando sua estrutura e melhorando a infiltração de água. A rotação de culturas, especialmente com leguminosas, aumenta a fertilidade do solo e reduz a pressão sobre os recursos hídricos, já que diferentes culturas têm diferentes necessidades de água. O uso de adubos verdes ajuda a proteger o solo entre as safras, aumentando o teor de matéria orgânica e melhorando a retenção de água (MENDES *et al.*, 2018). Assim, essas práticas não apenas contribuem para a retenção de água, mas também melhoram a qualidade do solo, favorecendo a atividade biológica e a ciclagem de nutrientes (SILVA *et al.*, 2019). Ainda, são complementares às barragens subterrâneas, pois ampliam o efeito positivo na retenção de água e reduzem o risco de degradação do solo. Estudos têm demonstrado que a adoção de tais técnicas pode aumentar a eficiência das barragens em até 30%, principalmente em áreas com solos arenosos ou de baixa capacidade de retenção hídrica (GOMES *et al.*, 2020).

O manejo eficiente da água armazenada é crucial para garantir a sustentabilidade das barragens subterrâneas a longo prazo. Uma das técnicas mais eficazes é a irrigação por gotejamento, que distribui a água de forma controlada, diretamente às raízes das plantas. Essa técnica reduz as perdas por evaporação e percolação, além de otimizar o uso da água em áreas com alta demanda hídrica (FREITAS *et al.*, 2020).

Outro aspecto importante é o monitoramento constante dos níveis de água no solo, o que permite ajustar as práticas de irrigação conforme as necessidades das culturas. Ferramentas como sensores de umidade do solo podem ser integradas ao sistema de manejo para fornecer informações em tempo real sobre as condições hídricas do solo, ajudando a evitar a superexploração dos recursos armazenados. Estudos indicam que a implementação de tecnologias de monitoramento pode aumentar a produtividade das culturas em até 20%, além de garantir a recarga natural do lençol freático (LOPES *et al.*, 2021).

### **3.3.4 Políticas públicas e incentivos para a segurança hídrica no Semiárido**

A exploração controlada e manejada das reservas hídricas subterrâneas é essencial para garantir o abastecimento a longo prazo e minimizar os riscos de esgotamento e contaminação da água, o que reforça a importância de políticas públicas voltadas para a gestão integrada dos recursos hídricos nas áreas rurais brasileiras (SILVA; LIMA, 2015).

Embora haja poucos registros na literatura técnica sobre o tema, algumas experiências internacionais foram documentadas. Segundo Kim (2017), desde a década de 1980, seis barragens subterrâneas estão em operação na Coreia, a maioria delas construída no início da mesma década. Na Suécia, a região de Boda-Kalvsvik foi local de experiências utilizando ferramentas de GIS e sensoriamento remoto para identificar áreas adequadas à construção desse tipo de barragem, com resultados indicando que 20% da área estudada tem potencial para essas estruturas (JAMALI *et al.*, 2013). No sul da Índia, na Bacia do Rio Palar, a água subterrânea é utilizada para abastecer uma estação nuclear, além de suprir irrigação, indústria e consumo doméstico. Estudos realizados na área indicaram que a construção de uma barragem subterrânea poderia aumentar significativamente o armazenamento e a exploração de água (SENTHILKUMAR; ELANGO, 2011).

No âmbito nacional, os registros históricos indicam que as secas no Semiárido brasileiro são fenômenos antigos, datados do século XVI, com implicações que transcendem o aspecto natural. Conforme Silva (2007a), a seca se configura como um fenômeno social, econômico e político, agravado pela estrutura fundiária da região, onde grandes proprietários monopolizam os recursos hídricos para atividades lucrativas, como a criação de gado e a monocultura voltada

para a exportação. Silveira (2017) observou que essa apropriação privada da água, que favorece elites rurais, contribui para a intensificação dos conflitos socioambientais, em que a população pobre luta pela sobrevivência em um cenário de escassez hídrica. Esses conflitos refletem uma disputa entre classes sociais pelo uso dos recursos naturais, afetando diretamente os grupos mais vulneráveis, que dependem de terra e água para subsistência (ARAÚJO *et al.*, 2020). Como resultado, a seca se tornou, sob os termos de Löwy (2013), um ponto de partida ideológico para a expropriação de terras e águas no semiárido, inserido no contexto da mercantilização da vida sob a lógica do capital.

Historicamente, as primeiras tentativas de lidar com a escassez hídrica na região do Semiárido brasileiro incluíram a construção de açudes e barragens superficiais, com destaque para o Plano de Combate às Secas, criado em 1909, e a fundação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1909. Esses esforços visavam garantir a retenção de água nos períodos de seca, mas, embora tenham sido de grande importância, não foram suficientes para suprir a demanda hídrica de maneira eficaz, especialmente para a agricultura e o abastecimento humano em larga escala.

Em 1983, começou a ser implementado o Projeto Tecnologias Alternativas (PTA), que partia da suposição de que a proposta da Revolução Verde<sup>1</sup> se mostrava inadequada à realidade da agricultura familiar no semiárido. Nesse contexto, o PTA propunha tecnologias que, ao atenderem às necessidades dos pequenos produtores rurais da época, visavam reforçar os mecanismos de resistência contra as forças antagonicas que degradavam as condições de vida da população local, além de promover processos formativos para as comunidades (ARAÚJO, 2016).

Em resposta a essas questões, o Estado brasileiro introduziu a gestão da água na agenda pública, a fim de enfrentar a desigual distribuição dos recursos hídricos e os conflitos decorrentes. A problemática da água no semiárido não se deve à escassez absoluta de água, mas sim à sua distribuição desigual, exacerbada pela apropriação privada dos recursos naturais (ANDRADE; NUNES, 2014). Nesse cenário, no ano de 1983, começou a ser implementado o Projeto Tecnologias Alternativas (PTA), que partia da suposição de que a proposta da Revolução Verde se mostrava inadequada à realidade da agricultura familiar no semiárido (ARAÚJO, 2016).

---

<sup>1</sup>De acordo com Araújo (2016), a Revolução Verde se baseia na defesa de uma agricultura pautada na monocultura, na degradação dos solos e dos recursos hídricos, na mecanização do campo, utilização de agroquímicos, de forma que os pequenos agricultores deveriam passar a se submeter a empresas multinacionais do agronegócio.



O PTA propunha tecnologias que, ao atenderem às necessidades dos pequenos produtores rurais da época, visavam reforçar os mecanismos de resistência contra as forças antagônicas que degradavam as condições de vida da população local, além de promover processos formativos para as comunidades (ARAÚJO, 2016).

Políticas públicas como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), são fundamentais para o desenvolvimento da agricultura familiar e para a implementação de tecnologias de manejo sustentável, como as barragens subterrâneas, que conservam água em regiões de baixa precipitação (MELO *et al.*, 2009). Criado em 1995 e ainda em vigor, o PRONAF visa promover o fortalecimento da agricultura familiar através de crédito, assistência técnica e capacitação. Segundo Silva *et al.* (2017), o PRONAF é essencial para melhorar a produção e a renda dos pequenos agricultores, proporcionando recursos financeiros a condições acessíveis e técnicas de manejo adaptadas às características locais. Além disso, o programa oferece suporte para o desenvolvimento de práticas agrícolas adaptadas ao clima semiárido, contribuindo para a segurança alimentar e o aumento da produtividade (FERREIRA *et al.*, 2011).

O Programa Água Doce (PAD) foi lançado em 2004, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil, e que visa estabelecer uma política pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, incorporando cuidados técnicos, ambientais e sociais na implantação e gestão de sistemas de dessalinização, prioritariamente no semiárido brasileiro, levando-se em consideração a característica da presença de sais nas águas subterrâneas desta região. O PAD é executado em três fases: Diagnóstico Socioambiental e Técnico, Execução de Obras Civas, Monitoramento e Manutenção (BRASIL, 2023).

Tendo em vista que cerca de 70% dos poços da região semiárida do Brasil apresentam águas salobras ou salinas, e que a água subterrânea muitas vezes é a única fonte disponível para as comunidades, coube ao Ministério do Meio Ambiente estruturar uma metodologia para que esta tecnologia tivesse mais sucesso em sua implantação, e as comunidades recebessem de forma permanente uma água segura para beber (BRASIL, 2023).

A partir de 2011, o Programa Água Doce entrou em sua fase de escala, passando a fazer parte do Programa Água Para Todos por meio do Decreto nº 7535, de 26 de julho de 2011, e com recursos do Programa de Segurança Alimentar e Nutricional.

O Programa Água para Todos, lançado pelo governo federal em 2011, é uma iniciativa estratégica para a gestão de recursos hídricos no Semiárido. Este programa visa ampliar o

acesso à água para consumo humano e para a produção rural, com foco em tecnologias sustentáveis de armazenamento e uso eficiente da água. De acordo com Silva e Costa (2015), o programa promove a construção de cisternas, barragens subterrâneas e sistemas de captação de água da chuva, beneficiando milhares de famílias em regiões críticas.

O Plano Brasil Sem Miséria, também lançado em 2011, é outra política pública crucial para o desenvolvimento regional no Semiárido. Este plano busca erradicar a pobreza extrema e promover o desenvolvimento sustentável, oferecendo assistência social e programas de inclusão produtiva. Segundo Carvalho *et al.* (2018), o Plano Brasil Sem Miséria integra diversas iniciativas para melhorar a qualidade de vida dos habitantes do Semiárido, incluindo a implementação de tecnologias para o acesso a água e o fortalecimento da agricultura local. Uma das principais ações do plano é a integração de tecnologias como as barragens subterrâneas, que ajudam a garantir o abastecimento de água e a segurança alimentar. A construção dessas barragens, apoiada por políticas públicas, contribui para a recuperação de áreas degradadas e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, essenciais para o desenvolvimento econômico e social da região (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Além disso, o Sistema de Gestão de Recursos Hídricos (SGRH) por meio da criação de comitês de bacia e planos de recursos hídricos, coordena e monitora o uso da água em diversas regiões, facilitando um planejamento eficiente e participativo, essencial para enfrentar os desafios da escassez de água no semiárido (SOUZA *et al.*, 2018). Essas políticas públicas integram tecnologias como barragens subterrâneas com iniciativas comunitárias, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e a mitigação dos conflitos socioambientais históricos da região.

Diversas políticas públicas oferecem incentivos fiscais e financeiros para a adoção de tecnologias de conservação no Semiárido. Programas como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (PADT) e o Fundo de Desenvolvimento Tecnológico e Social (FNDTS) fornecem subsídios e créditos para projetos que visam a recuperação de áreas degradadas e a implementação de tecnologias eficientes para o uso da água (LIMA *et al.*, 2016). Esses incentivos são essenciais para encorajar a adoção de práticas que promovam a sustentabilidade e a resiliência das comunidades locais.

Ainda, o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é uma política pública focada na restauração de áreas degradadas, particularmente no Semiárido. Este programa oferece suporte técnico e financeiro para projetos de reabilitação de solos, recuperação de vegetação nativa e implementação de técnicas de manejo sustentável (ALVES

*et al.*, 2021). A recuperação dessas áreas é crucial para combater a desertificação e melhorar a qualidade do solo, promovendo um ambiente mais sustentável para a agricultura e a vida rural.

Os municípios integrantes do semiárido já possuem acesso aos instrumentos de ação da SUDENE pelo fato de estarem na área de atuação da autarquia. Esta abrange toda a região Nordeste, além dos municípios do Espírito Santo e Minas Gerais, conforme descrito na Lei Complementar 125/2007 e suas alterações posteriores (SUDENE, 2007).

Esses instrumentos são fundamentais para o desenvolvimento de projetos que visam a melhoria das condições de vida e a promoção de tecnologias sustentáveis, como as barragens subterrâneas. A SUDENE tem se empenhado em fomentar iniciativas que garantam a segurança hídrica e incentivem a agropecuária sustentável, proporcionando suporte financeiro e técnico para a implementação dessas tecnologias (SOUZA, 2012). Por meio de parcerias com órgãos governamentais, ONGs e instituições de pesquisa, a SUDENE busca promover o uso eficiente da água, contribuindo para a resiliência das comunidades rurais e o desenvolvimento socioeconômico da região semiárida (CAVALCANTE, 2014).

Em suma, a seca no Semiárido brasileiro, longe de ser um fenômeno puramente natural, resulta da interação de fatores climáticos com a estrutura fundiária e política da região. A intervenção estatal, por meio de políticas públicas, é essencial para enfrentar os desafios da distribuição desigual da água, reduzir os conflitos socioambientais e promover a sustentabilidade hídrica e o desenvolvimento regional.

### **3.3.5 Possíveis usos da água armazenada em barragem subterrânea**

A barragem subterrânea permite ao agricultor cultivar com sucesso uma variedade de culturas, respeitando a tradição da região. Os plantios tradicionais de grãos, como milho e feijão, forragem (sorgo e capim), além de culturas como algodão, macaxeira, mandioca e cana-de-açúcar, são viabilizados pela retenção de água no solo (SILVA *et al.*, 2007a). Em nível nacional, estudos demonstram que essa tecnologia não apenas possibilita a irrigação durante os períodos de estiagem, mas também promove a diversificação das culturas, incentivando o cultivo de hortaliças e frutíferas, o que é fundamental para a segurança alimentar e o aumento da renda das famílias (ALMEIDA *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Ainda, em algumas localidades, a água armazenada é empregada em práticas agroecológicas.

Além da quantidade de água disponível, a qualidade da água captada por meio das barragens subterrâneas é outro ponto chave para sua utilização. Geralmente, as águas subterrâneas apresentam qualidade superior em comparação com as águas superficiais, pois estão protegidas da poluição direta e são menos sujeitas à evapotranspiração (GHAZAVI *et al.*,

2012). No entanto, é importante que o manejo da água nas barragens subterrâneas seja acompanhado de práticas sustentáveis, considerando que, em regiões áridas e semiáridas, a salinização de aquíferos subterrâneos representa um dos principais desafios para a exploração sustentável dos recursos hídricos. O aumento da salinidade tem sido comumente relatado como consequência de fatores como manejo inadequado do solo durante a irrigação, intrusão salina e bombeamento indiscriminado de poços subterrâneos em áreas com formação cristalina (ABD-ELATY *et al.*, 2021; Z. HE *et al.*, 2020; SEFIANI *et al.*, 2019). Estudos demonstram que a salinização pode comprometer não apenas a qualidade da água, mas também a produtividade agrícola, uma vez que altas concentrações de sais no solo afetam o crescimento das plantas e a eficiência do uso da água (MUNNS; JAMES, 2003).

A monitoração regular da qualidade da água, combinada com técnicas de manejo adaptativas, é crucial para mitigar os efeitos da salinização e garantir o uso eficaz das águas subterrâneas. Práticas como a irrigação controlada, a rotação de culturas e a utilização de culturas resistentes ao sal são essenciais para garantir o uso eficiente da água e a preservação da qualidade do solo (ABD-ELATY *et al.*, 2021).

No contexto global, as barragens subterrâneas são soluções construtivas difundidas, especialmente para irrigação de áreas agricultáveis na Ásia e na Europa. Após a ratificação do Acordo de Paris, em 2016, os países destes continentes têm se destacado pelo alto investimento em medidas com o objetivo de garantir segurança hídrica e alimentar em áreas de vulnerabilidade climática. Os pesquisadores de países do continente europeu, como França e Países Baixos, têm contribuído para a disseminação da tecnologia por meio da colaboração internacional (SANTOS, 2023).

No Irã, a agricultura irrigada é um dos pilares da economia, representando uma parte significativa da produção agrícola nacional. Entretanto, essa atividade demanda uma quantidade considerável de recursos hídricos, com a irrigação de áreas agricultáveis consumindo até 85% da água disponível (SEFIANI *et al.*, 2019). Essa pressão sobre os recursos hídricos, especialmente as águas subterrâneas, tem levado a uma crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão eficiente da água. Para enfrentar esses desafios, o desenvolvimento de estratégias que maximizem o potencial das barragens subterrâneas tem se mostrado essencial.

Do ponto de vista pecuário, a água das barragens subterrâneas também pode ser utilizada para a dessedentação de animais e para a produção de pastagem, o que é vital para a manutenção de criações de bovinos, caprinos e ovinos em áreas afetadas pela escassez hídrica. Esse uso sustentável da água contribui para a melhoria da qualidade do gado, além de possibilitar a

expansão das atividades pecuárias em áreas historicamente limitadas pela baixa disponibilidade de recursos hídricos. Outro uso importante da água armazenada é no manejo de pequenos sistemas agroflorestais e de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Nessas práticas, a irrigação com água de barragens subterrâneas permite o cultivo simultâneo de árvores e plantas agrícolas, resultando em benefícios ecológicos e econômicos. A integração de culturas agrícolas com árvores, por exemplo, pode melhorar a estrutura do solo, promover a conservação da biodiversidade e aumentar a produtividade a longo prazo (SOUZA *et al.*, 2020).

Além dos usos agrícolas e pecuários, a água das barragens subterrâneas também pode ser aproveitada para outras atividades produtivas, como a piscicultura em pequenas escalas. Esse tipo de iniciativa vem ganhando força em algumas regiões do Semiárido brasileiro, onde a integração entre agricultura e criação de peixes tem se mostrado uma alternativa viável para o desenvolvimento econômico local (MEDEIROS *et al.*, 2010).

O uso da água de barragens subterrâneas pode ainda ser integrado a projetos de recuperação ambiental e combate à desertificação. Essas barragens, quando bem manejadas, podem atuar como um fator de regeneração da vegetação nativa e de reabilitação de áreas degradadas, contribuindo para a restauração de ecossistemas locais e para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em regiões vulneráveis (PINHEIRO *et al.*, 2019).

Por fim, esses diversos usos da água armazenada, quando combinados com técnicas de manejo sustentável e monitoramento regular, contribuem para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e adaptados às condições climáticas adversas, promovendo a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos e melhorando a qualidade de vida das comunidades rurais.

#### *3.3.5.1 Contribuições para a pecuária e agricultura sustentável*

As barragens subterrâneas apresentam contribuições significativas para a agricultura sustentável no Semiárido brasileiro, sendo um dos principais benefícios das barragens subterrâneas está na otimização do uso da água, uma vez que elas evitam a evaporação excessiva, característica comum em barragens superficiais, devido às altas temperaturas do semiárido. Essa redução das perdas de água por evaporação é fundamental para a sustentabilidade dos cultivos, já que maximiza a eficiência hídrica (LIMA *et al.*, 2013). Além disso, ao manter o solo constantemente úmido, essa técnica favorece a infiltração e a retenção de água nas camadas mais profundas do solo, o que garante a disponibilidade de água para as raízes das plantas por períodos mais longos (MELO *et al.*, 2009).

Contribuindo positivamente para a conservação do solo, as barragens subterrâneas atuam neste sentido por plantas terem acesso contínuo à água, e com isto, a necessidade de práticas como o revolvimento do solo para aumentar a absorção hídrica diminui, o que, por sua vez, reduz os processos erosivos. A menor movimentação do solo ajuda a preservar sua estrutura física e a matéria orgânica, fatores essenciais para a fertilidade a longo prazo (ARAÚJO *et al.*, 2011). Essa conservação do solo é especialmente importante em áreas vulneráveis à degradação.

A disponibilidade de água ao longo do ano possibilita que os agricultores mantenham suas produções de forma contínua, garantindo alimento tanto para consumo doméstico quanto para comercialização. Essa estabilidade econômica é vital para a fixação das populações rurais, reduzindo o êxodo e promovendo o desenvolvimento regional sustentável (MEDEIROS, 2004). Além disso, a diversificação das culturas, incentivada pela irrigação, é um elemento-chave para a segurança alimentar, permitindo a introdução de hortaliças e frutas que oferecem melhores retornos econômicos (ALMEIDA *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Por fim, considerando os potenciais usos da água armazenada e das contribuições, as barragens subterrâneas se alinham aos princípios da agricultura de baixo impacto ambiental, pois, além de sua construção envolver menor degradação do ambiente em comparação com grandes obras hidráulicas, elas não alteram drasticamente o fluxo dos rios e riachos locais, preservando os ecossistemas e os ciclos hidrológicos naturais. Nesse sentido, as barragens subterrâneas podem ser consideradas uma tecnologia de convivência sustentável com o semiárido, adaptada às particularidades ambientais e sociais da região (SILVA *et al.*, 2017).

### **3.3.6 Impactos sociais, econômicos e ambientais**

Segundo Ferreira *et al.* (2011), a implantação de barragens subterrâneas pode influenciar significativamente a sustentabilidade dos agroecossistemas, gerando um forçamento ecológico que pode ser atenuado por práticas de manejo apropriadas. O conceito de sustentabilidade adotado, conforme definido por Sevilla-Guzmán (1995), é: “a capacidade de um agroecossistema de manter sua produção ao longo do tempo, enfrentando tanto as pressões ecológicas quanto as socioeconômicas”. Em outras palavras, a sustentabilidade envolve não apenas a manutenção da capacidade produtiva, mas também a capacidade de superar desafios ecológicos e socioeconômicos.

As barragens subterrâneas podem provocar mudanças nas práticas sociais, econômicas e ambientais das áreas onde são implantadas. Estas mudanças podem ter efeitos tanto positivos quanto negativos, dependendo de vários fatores, incluindo a forma como a tecnologia é

apropriada e adotada pelas famílias agricultoras, pois, segundo Ferreira *et al.* (2011) são os componentes da família que, enquanto atores, promovem as transformações em seus agroecossistemas. Segundo Carvalho *et al.* (2011), a eficácia de tecnologias como as barragens subterrâneas está profundamente ligada ao grau de adoção e ao manejo realizado pelos agricultores locais. Se a tecnologia não é integrada de maneira adequada nas práticas agrícolas e não é utilizada efetivamente, seus benefícios potenciais, tanto ambientais quanto sociais e econômicos, podem não ser plenamente alcançados.

Além disso, é importante considerar que o impacto das barragens subterrâneas deve ser avaliado em um contexto mais amplo, incluindo fatores como a manutenção da qualidade do solo e da água, a resiliência das práticas agrícolas às mudanças climáticas e a contribuição para a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico local (MELO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2007c). A integração de práticas de manejo sustentável e a educação e capacitação das comunidades locais são fundamentais para garantir que os benefícios das barragens subterrâneas sejam maximamente aproveitados e que seus impactos negativos sejam minimizados.

Diversas práticas podem ser utilizadas na área de plantio, conforme as técnicas baseadas no manejo correto e conservador do sistema. Algumas práticas como emprego de consórcio entre diferentes culturas vegetais, controle de pragas e doenças por meio de técnicas alternativas às moléculas biocidas, adubação controlada com biofertilizantes naturais e orgânicos, rotação de cultura nos espaços destinados ao plantio, entre outras, que podem ser manuseadas na área de captação. Deve ser levada em consideração, também, a abertura de sulcos de contenção em partes das linhas de plantio, visando diminuir a força das enxurradas e não impactar a estrutura do projeto (SILVA *et al.*, 2021; MARQUES JUNIOR, 2022).

O uso de fertilizantes químicos solúveis, agroquímicos, mecanização intensiva e monoculturas nas áreas onde as barragens subterrâneas são implantadas pode acelerar a degradação dos solos. Esse efeito ocorre devido ao ambiente artificial criado por essas estruturas, onde a água permanece retida no solo por períodos prolongados. Além disso, a combinação de alta evaporação, baixos teores de matéria orgânica típicos das regiões semiáridas, e altas concentrações de sais nas áreas de contribuição da barragem pode intensificar os processos de salinização e a degradação do solo, levando à desestruturação e consequente erosão. A implementação inadequada das barragens também pode agravar esses problemas, com o risco de salinização sendo destacado como uma das principais desvantagens das barragens subterrâneas (AZEVEDO *et al.*, 2008; SILVA *et al.* (2007a)).

Em relação aos aspectos econômicos, a implementação da barragem subterrânea exige uma ampla variação nos custos, em função de fatores como: material utilizado; disponibilidade de mão-de-obra ou de tempo máquina; profundidade da camada impermeável; e o próprio comprimento da vala (SILVA *et al.*, 2001). Os autores França *et al.* (2016) fornecem uma descrição detalhada dos custos e investimentos necessários para a instalação de barragens subterrâneas, incluindo uma comparação entre diferentes exemplos estudados em várias localidades. Os autores demonstram que, apesar dos custos iniciais, esses investimentos podem ser rapidamente recuperados através da exploração agrícola na área da barragem. Assim, a tecnologia se revela eficaz e acessível para os agricultores familiares, apresentando um investimento relativamente baixo e oferecendo benefícios cruciais, especialmente na disponibilização de recursos durante períodos de seca.

### **3.3.7 Mudanças climáticas e adaptação: as influências geradas pelas barragens subterrâneas**

As mudanças climáticas têm impactado severamente as regiões semiáridas do Brasil, exacerbando a escassez de água, a desertificação e a degradação ambiental (PEREIRA *et al.*, 2018). A irregularidade das chuvas, aliada ao aumento das temperaturas, torna ainda mais desafiador o manejo sustentável dos recursos hídricos. Nesse contexto, as barragens subterrâneas surgem como uma tecnologia inovadora e adaptativa, com potencial para mitigar os efeitos dessas mudanças climáticas, promovendo a resiliência agrícola e hídrica (SILVA *et al.*, 2013).

Em síntese, as barragens subterrâneas, ao serem implementadas, influenciam diretamente a retenção de água no solo permitindo o armazenamento de umidade nas camadas subsuperficiais e reduzindo significativamente as perdas por evaporação. Essa capacidade de retenção de água, especialmente em áreas vulneráveis a longos períodos de seca, é crucial para assegurar o abastecimento hídrico em épocas de escassez (LOPES *et al.*, 2021). Esse armazenamento ocorre em camadas subsuperficiais, impedindo a evaporação e promovendo a recarga dos lençóis freáticos. Dessa forma, as barragens subterrâneas contribuem para a adaptação às mudanças climáticas ao garantir uma fonte de água durante os períodos críticos, ajudando a manter a produção agrícola e a disponibilidade hídrica para consumo humano e animal (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Além disso, as barragens subterrâneas favorecem a recuperação do solo e da vegetação nativa, que são afetados pelos processos de desertificação, uma das consequências mais severas das mudanças climáticas no Semiárido (BRITO *et al.*, 2017). A melhoria na retenção de água no solo diminui o escoamento superficial, reduzindo a erosão e contribuindo para o aumento da



fertilidade do solo. Essas melhorias beneficiam diretamente as práticas agrícolas, permitindo o cultivo de alimentos e a criação de pastagens, o que é fundamental para a subsistência das populações rurais da região (SILVA *et al.*, 2015).

As barragens subterrâneas também têm a capacidade de minimizar os impactos de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, que se tornaram mais frequentes devido às mudanças no clima global (INSA, 2020). Elas ajudam a regular o fluxo de água, prevenindo inundações localizadas durante chuvas intensas e garantindo o armazenamento gradual da água para ser utilizada em períodos de seca (CUNHA *et al.*, 2022). Dessa forma, essas estruturas fornecem maior estabilidade hídrica e ajudam a assegurar a segurança alimentar e hídrica das comunidades locais.

Além dos benefícios diretos na agricultura e no abastecimento de água, as barragens subterrâneas desempenham um papel importante na redução da vulnerabilidade das populações frente às mudanças climáticas. Ao garantir maior previsibilidade na disponibilidade de água, elas criam condições propícias para a implementação de práticas agrícolas adaptativas, como a diversificação de culturas e o uso de tecnologias mais eficientes em termos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Assim, essas barragens fortalecem a capacidade das comunidades rurais de se adaptarem às novas condições climáticas e promoverem um desenvolvimento sustentável a longo prazo, como supracitado. Ao garantir a disponibilidade hídrica e promover a recuperação ambiental, essas estruturas ajudam a mitigar os impactos das alterações climáticas, promovendo a resiliência agrícola e construindo um futuro mais sustentável para a região semiárida do Brasil (ALMEIDA *et al.*, 2021).

### **3.3.8 Estudos e projeções futuras**

O estudo e a aplicação das barragens subterrâneas têm se concentrado predominantemente nas regiões semiáridas do Brasil, onde a escassez de água é um desafio histórico. No entanto, o potencial de expansão dessa tecnologia para outras áreas do país está sendo cada vez mais discutido, considerando sua eficiência no armazenamento de água subterrânea e na promoção da sustentabilidade hídrica. As barragens subterrâneas apresentam-se como uma solução viável não apenas para o semiárido, mas também para outras regiões brasileiras que enfrentam problemas de gestão hídrica, como áreas com baixa disponibilidade de água superficial ou alta vulnerabilidade às secas sazonais (PEREIRA *et al.*, 2018).

Estudos apontam que as barragens subterrâneas podem ser adaptadas para regiões do Cerrado, onde há grande dependência da agricultura irrigada e pressões sobre os recursos hídricos. A implantação dessas barragens pode reduzir a necessidade de irrigação artificial em

determinadas épocas do ano, ao mesmo tempo em que contribui para a recarga dos aquíferos, evitando a sobre-exploração dos recursos subterrâneos (LOPES *et al.*, 2020). Essa estratégia pode ser integrada a outras técnicas de manejo de água, como a captação de águas pluviais, criando um sistema híbrido e resiliente às variações climáticas.

Nas regiões Sul e Sudeste, onde há maior disponibilidade de água, a aplicação de barragens subterrâneas poderia contribuir para a prevenção de inundações e o melhor gerenciamento dos recursos hídricos durante o período de estiagem. O potencial dessas barragens em áreas com alta concentração urbana ou agricultura intensiva é relevante, pois elas podem minimizar o impacto das chuvas intensas e garantir a manutenção da umidade do solo em períodos secos (SANTOS *et al.*, 2021). Além disso, essa tecnologia poderia desempenhar um papel importante em iniciativas de conservação e recuperação ambiental, evitando a erosão do solo e promovendo a retenção de nutrientes em áreas agrícolas.

Projeções futuras indicam que o Brasil pode se beneficiar enormemente da ampliação das barragens subterrâneas em um contexto de mudanças climáticas e aumento da demanda por recursos hídricos. Segundo Araújo *et al.* (2022), as barragens subterrâneas podem se tornar um elemento-chave nas políticas de gestão integrada de recursos hídricos no Brasil, contribuindo para a resiliência hídrica de diversas regiões. Ao garantir o uso eficiente da água, essa tecnologia pode ser integrada a estratégias nacionais voltadas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, especialmente em áreas vulneráveis a secas e a eventos climáticos extremos.

Apesar das vantagens apresentadas, a ampliação do uso de barragens subterrâneas em outras regiões do país depende de políticas públicas robustas e de incentivos governamentais. A inclusão dessa tecnologia em programas de desenvolvimento rural e de adaptação às mudanças climáticas seria um passo fundamental para sua implementação em larga escala (BRITO *et al.*, 2019). Além disso, é necessário promover capacitação técnica e fornecer assistência para pequenos agricultores e comunidades rurais, que poderiam se beneficiar diretamente dessa tecnologia.

Portanto, o futuro das barragens subterrâneas no Brasil aponta para uma maior diversificação de seu uso em diferentes biomas e contextos hídricos. Com a continuidade das pesquisas e a integração dessa tecnologia em políticas públicas de gestão sustentável da água, o país pode enfrentar melhor os desafios climáticos e hídricos que se apresentam nas próximas décadas. O sucesso dessa tecnologia, no entanto, depende da adoção de práticas de manejo sustentável e da implementação de políticas que incentivem o uso consciente e eficaz dos recursos hídricos em todo o território nacional.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o papel fundamental das barragens subterrâneas como uma tecnologia de baixo custo e alta relevância para a sustentabilidade hídrica e o desenvolvimento regional no Semiárido brasileiro. Verificou-se que essa técnica é eficaz na retenção e armazenamento de água no solo, proporcionando uma solução prática e acessível para as comunidades rurais enfrentarem os desafios das secas prolongadas.

Em síntese, além de garantir maior disponibilidade de água para consumo humano, animal e agrícola, as barragens subterrâneas contribuem significativamente para o aumento da produção agrícola, especialmente em propriedades familiares, e para a diversificação da produção. Além disso, sua implementação está diretamente associada à melhoria da qualidade de vida das populações rurais, reduzindo a migração e fortalecendo as economias locais.

Além de favorecer indicadores da qualidade do solo, as barragens subterrâneas ajudam a recuperar áreas degradadas e promovem práticas de manejo sustentável que reduzem a erosão e preservam os recursos hídricos. O acesso à água de qualidade, garantido por essas estruturas, é essencial para o desenvolvimento econômico e social das comunidades afetadas pela seca.

No entanto, a implementação dessas tecnologias exige monitoramento regular da qualidade da água, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos. Técnicas de manejo adaptativas são cruciais para mitigar os efeitos da salinização e garantir o uso eficaz das águas subterrâneas, assegurando a sustentabilidade dos recursos e evitando impactos negativos no ecossistema local. Nesse contexto, políticas públicas que incentivem o uso responsável da água e promovam a educação dos agricultores sobre práticas sustentáveis de irrigação são fundamentais.

O estudo também destacou a importância de políticas públicas voltadas à disseminação e ao apoio técnico para a construção e manutenção dessas barragens, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e o Programa Água para Todos. Esses programas são cruciais para a adoção em larga escala da tecnologia, potencializando seus benefícios e promovendo maior segurança hídrica e resiliência climática no Semiárido.

É de suma importância ressaltar que não há uma metodologia ideal de construção de barragens subterrâneas, mas a que melhor se adequa à realidade ambiental do local onde se pretende construí-la e, também, da realidade social da família beneficiada. A solução ideal será aquela que reúna os aspectos construtivos dentro da realidade ambiental e social da família rural, atenuando os problemas de suprimento hídrico e promovendo a segurança alimentar.

Por fim, apesar das vantagens evidenciadas, é necessário um acompanhamento contínuo e estudos futuros que avaliem o desempenho das barragens subterrâneas em diferentes contextos geográficos e climáticos, bem como as possíveis limitações relacionadas à salinização do solo e à manutenção dessas estruturas a longo prazo. Dessa forma, espera-se que o fortalecimento dessa tecnologia, associado a uma gestão eficiente dos recursos hídricos e a incentivos governamentais, transforme o cenário de escassez hídrica e contribua para o desenvolvimento sustentável das regiões áridas e semiáridas do Brasil.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-ELATY, I.; STRAFACE, S.; KURIQI, A. Sustainable saltwater intrusion management in coastal aquifers under climatic changes for humid and hyper-arid regions. **Ecological Engineering**, v. 171, 1 nov. 2021.
- ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; EIRA LEITÃO, T.,; DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A. Análise preliminar da vulnerabilidade e contaminação de área sob cultivo agrícola com barragem subterrânea no semi-árido. **Águas Subterrâneas**. 2006.
- APAYDIN, A. M. **Groundwater dam: na alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater**. Environment Earth Science. v. 59, n. 2, p. 339-345. 2009.
- ARAÚJO, J. P.; SILVA, M. F.; LIMA, R. A. Reuso de águas e manejo sustentável no Semiárido brasileiro: uma revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 26, n. 3, p. 35-50, 2021.
- ARAÚJO, M. F., *et al.* Tecnologias de Convivência com o Semiárido: A Experiência das Barragens Subterrâneas. **Editora UFBA**. 2019.
- ARAÚJO, R. S. *et al.* Conservação do solo e sustentabilidade hídrica no semiárido. **Embrapa Solos**. 2011.
- ARAÚJO, S. M. S. **A região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos**. Revista Rios Eletrônica, v. 5, n. 5, p. 89-98, 2011.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório anual de 2018 do banco mundial**. v 1. 2018.
- BRASIL. Decreto n. 9.256, de 28 de dezembro de 1911. Reorganiza os serviços a cargo da Inspetoria de Obras Contra as Secas. **Coleção das leis da República dos Estados Unidos do Brasil, Rio de Janeiro**. V 3, p. 358-383, 1915.
- BRASIL. Ministério do Interior. **Mapa geológico: escala 1:25.000.000**. Recife: SUDENE, 1974.
- BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**. 2024.
- BRITO, L. T. L.; ANJOS, J. B. Barragem subterrânea: captação e armazenamento de água no meio rural. **EMBRAPA**, Petrolina - PE, Brasil. 2013.
- CARVALHO, C. *et al.* Tecnologias de captação e armazenamento de água no semiárido: um estudo sobre a adoção de barragens subterrâneas. **Journal of Agricultural Technology**, 8(3), 425-439. 2011.
- CARVALHO, L. A., *et al.* Plano Brasil Sem Miséria: Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável. **Editora Fiocruz**. 2018.

- CARVALHO, R. M.; SILVA, A. B. Barragens Subterrâneas e Agricultura Sustentável no Semiárido. **Editora UFMG**. 2020.
- CAVALCANTE, T. F. **A SUDENE e a promoção do desenvolvimento no Semiárido: Desafios e oportunidades**. *Estudos Avançados*, 28(80), 23-38. 2014.
- CIRILO, J. A.; COSTA, W. D. **Barragem subterrânea: experiência em Pernambuco**. 2º Simpósio, Simpósios Brasileiros de Captação de Água da Chuva. Captação de Água da Chuva: uma resposta para a escassez de água no próximo milênio. 10 p. 1999.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, p. 46. 1988.
- CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; de CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A.; ARAUJO, J. L. P. **A região semiárida**. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.
- FAO. **Sustainable water management in agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- FERREIRA, J. L., *et al.* **O PRONAF e a Agricultura Familiar: Avanços e Desafios**. Editora Embrapa. 2011.
- FRANÇA, A. M., *et al.* **Integração de práticas agrícolas e pecuárias com o uso de barragens subterrâneas**. *Revista Brasileira de Agricultura Familiar*, 9(1), 10-25. 2016.
- FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, M. R.; SILVA, T. A. **A irrigação por gotejamento em áreas de barragens subterrâneas: análise de eficiência**. *Engenharia Agrícola*, v. 40, n. 2, p. 231-243, 2020.
- GHAZAVI, R.; VALI, A.B.; ESLAMIAN, S. **Impact of flood spreading on groundwater level variation and groundwater quality in an arid environment**. *Water Resources Management*, v. 26, n. 6, p. 1651-1663, 2012.
- GONÇALVES, A. B.; COSTA, P. M.; PEREIRA, L. C. **Políticas públicas e sustentabilidade hídrica no semiárido: uma análise crítica**. *Revista de Políticas Públicas*, v. 12, n. 4, p. 321-337, 2018.
- GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S.; HOLLER, W. A.; BOGNOLA, I. A. **Características gerais dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina**. In: GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S. (ed.). Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina: estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- HE, Z. *et al.* **Impact of human activities on coastal groundwater pollution in the Yang-Dai River plain, northern China**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 30, p. 37592–37613, 2020.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Boletim Informativo**. 2020.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Delimitação do Semiárido brasileiro (2024)**. 2024.

- ISHIDA, S.; KOTURU, M.; ABE, E.; FAZAL, M. A.; TSUCHIHARA, T.; IMAIZUMI, M. **Construction of subsurface dams and their impacts on the environment.** Materials and Geoenvironment Journal. V. 50, n. 1, p. 149-152. 2003.
- IPCC. **Climate Change and Land: An IPCC Special Report.** Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. da. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco.** Recife: SUDENE, v 2 (Brasil. SUDENE. Pedologia, 14; DNPEA. Boletim Técnico, 26). 1973.
- JACOMINE, P. T. K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, p. 96-111. 1996.
- KIILL, L. H. P.; ARAÚJO, F. P.; DOS ANJOS, J. B.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I., AIDAR, S. T.; SOUZA, A. V. V. **Biodiversidade da Caatinga como potencialidade para a agricultura familiar.** In: MELO, R. F.; VOLTOLINI, T. V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Brasília - DF: Embrapa, p. 15 – 43. 2019.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes.** Wall-map 150cmx200cm. 1928.
- LIMA, A. O.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, J. E. J.; REGO, P. G. A.; LIMAFILHO, F. P. **Barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro: análise histórica e metodologias de construção.** Irriga. V. 18, n. 2, p. 200-211. 2013.
- LIMA, J. R. *et al.* **Contribuições das barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2013.
- LIMA, L. G. **Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios estratégicos da sub-bacia do alto piranhas – PB.** UFPB. 2019.
- LIMA, M. L., *et al.* **Incentivos Fiscais e Financeiros para Tecnologias de Conservação.** Editora Embrapa. 2016.
- LIMA, M. M.; MIRANDA, M. G.; DUSEK, P. M.; AVELAR, K. E. S. **A quarta revolução industrial sob o tripé da sustentabilidade.** Semioses – Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade, v.13, n. 3, p. 76-86, 2019.
- LOPES, A. R.; FERREIRA, C. J.; COSTA, L. S. **Uso de sensores de umidade no manejo de barragens subterrâneas.** Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, v. 25, n. 1, p. 85-96, 2021.
- LÖWY, M. **CRISE ECOLÓGICA, CRISE CAPITALISTA, CRISE DE CIVILIZAÇÃO: a alternativa ecossocialista.** Caderno CRH, [S. l.], v. 26, n. 67, 2013.

- MARTINS, G. P., *et al.* **Programa de Incentivo à Produção Sustentável: Impactos e Resultados.** Editora UFPE. 2020.
- MARQUES JUNIOR, P. R. D. **A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o desenvolvimento sustentável da agropecuária brasileira.** 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.
- MEDEIROS, P. R. **Agricultura familiar e o uso de barragens subterrâneas no semiárido.** Instituto de Estudos do Semiárido. 2004.
- MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo.** 2018.
- MELO, C. A., *et al.* **Barragens Subterrâneas no Semiárido: Experiências e Avanços.** Editora UFPE. 2009.
- MELO, M. *et al.* **A importância das barragens subterrâneas na gestão de recursos hídricos em Pernambuco.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 14(1), 65-78. 2009.
- MELO, V. B. *et al.* **Uso sustentável da água no semiárido: estudo de caso em Pernambuco.** Universidade Federal de Pernambuco. 2009.
- MUNNS, R.; JAMES, R.A. **Screening Methods for Salinity Tolerance: A Case Study with Tetraploid Wheat.** Plant and Soil, 253, 201-218. 2003.
- NIMER, E. **Clima.** In: Geografia do Brasil: Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, 1977. pp. 47-84. SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI.** São Paulo: Studio Nobel/ Fundap. 1977.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; p. 421. 1989.
- NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E. **Mudanças climáticas e recursos hídricos: uma abordagem multidisciplinar.** *Revista de Geografia e Meio Ambiente*, v. 29, n. 2, p. 27-42, 2017.
- OLIVEIRA, F. M., *et al.* **Energia Renovável no Semiárido: Políticas e Perspectivas.** Editora UNIVASF. 2019.
- OLIVEIRA, J. A., *et al.* **Uso de barragens subterrâneas como alternativa para a convivência com a seca no Semiárido brasileiro.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(1), 25-34. 2015.
- ONU. **Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015.
- PEIXINHO, F. C. **Gestão sustentável dos recursos hídricos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POCOS. São Paulo: CBAS, 2010.



- PEREIRA, J. A., *et al.* **Gestão de Recursos Hídricos e Recuperação Ambiental no Semiárido.** Editora Sumaré. 2022.
- ROCHA, W. F. **Situação da Cobertura Vegetal do Bioma Caatinga.** In: Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro. Embrapa Semiárido/Embrapa Informática Agropecuária, Petrolina-PE e Campinas-SP, 2009.
- RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e flora da Caatinga.** Recife: APNE, p. 11-24. 2002.
- RODRIGUES, P. S., *et al.* **Desenvolvimento Sustentável e Tecnologias de Conservação no Semiárido brasileiro.** Editora UNIVASF. 2021.
- SANTOS, A.; SILVA, R. **Apropriação tecnológica e práticas de manejo no semiárido: um estudo de caso.** Estudos de Desenvolvimento Rural, 12(2), 189-204. 2015.
- SCHUSTER, H. D. M.; SRINIVASAN, V. S. **Uma Investigação dos Efeitos Hidráulicos de Barragens Subterrâneas em um Aquífero Aluvial na Região Semi-Árida da Paraíba.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 9, 3, 55-68. 2004.
- SEFIANI, S. *et al.* **Evaluation of Groundwater Quality and Agricultural use Under a Semi-arid Environment: Case of Agafay, Western Haouz, Morocco.** Irrigation and Drainage, v. 68, n. 4, p. 778–796, 2019.
- SENTHILKUMAR, M.; ELANGO, L. **Modelling the impact of a subsurface barrier on groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India.** Hydrogeology Journal, Hudson. V. 19, n. 4, p. 917-928. 2011.
- SEVILLA-GUZMÁN, E. **Agroecologia: Fundamentos e Práticas.** Universidade de Salamanca. 1995.
- SILVA, A. C. *et al.* **Agricultura sustentável no Semiárido brasileiro.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 2007a.
- SILVA, A. F.; SANTOS, J. B.; ALMEIDA, D. R. **Governança e segurança hídrica no Semiárido brasileiro: desafios e oportunidades.** Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, v. 14, n. 1, p. 45-58, 2020.
- SILVA, F. B. R.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAUJO FILHO, J. C. de; LEITE, <sup>a</sup> P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnostico do quadro natural e agrossocioeconômico.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 2 v. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 80). 1993.
- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America.** Cahm: Springer International Publishing, v. 482. p. 2017.
- SILVA, L.H. **Análise biométrica de frutos e sementes de Croton blanchetianus baill.** 2023.

- SILVA, M. S. L.; MENDONÇA, C. E. S.; ANJOS, J. B.; FERREIRA, G. B.; SANTOS, J. C. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. **Barragem subterrânea: uma opção de sustentabilidade para a agricultura familiar do semi-árido do Brasil**. EMBRAPA Solo – Circular Técnica (INFOTECA-E). 10 p. 2007b.
- SILVA, M. S. L.; MENDONÇA, C. E. S.; ANJOS, J. B.; HONÓRIO, A. P. M.; BRITO, L. T. L. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. **Potencialidades da água da chuva no Semiárido Brasileiro**. P. 121-137. 2007c.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 286 p. 2000.
- SILVA, R. M. A. *et al.* **Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do 000Censo Agropecuário de 2017**. Desenvolvimento e Meio ambiente, v. 55, p. 314-338, dez. 2020.
- SILVA, T. F., *et al.* **O PRONAF e o Desenvolvimento Regional: Impactos e Perspectivas**. Editora UFBA. 2017.
- SOUZA, A. J.; CARVALHO, D. P. **Estudo do embasamento geológico para construção de barragens subterrâneas**. Revista Geotécnica, v. 14, n. 4, p. 199-210, 2020.
- SOUSA, R. R. **Políticas Públicas e Desenvolvimento Regional no Nordeste: O Papel da SUDENE**. Revista de Políticas Públicas, 6(1), 47-64. 2012.
- SOUZA, P. A., *et al.* **Sistema de Gestão de Recursos Hídricos: Desafios e Oportunidades**. Editora Fiocruz. 2018.
- SOUZA, R. M.; MENDES, R. C. **Diversificação da produção agrícola em áreas com barragens subterrâneas: um estudo de caso no Semiárido brasileiro**. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, 11(3), 65-78. 2017.
- SUDENE. **Lei Complementar 125/2007**. 2007.
- THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical review, v. 38, p. 55-94. 1948.