



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**ANTÔNIO VINÍCIUS DA COSTA BRAGA**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE NA COBERTURA DO  
SOLO EM POMAR DE COQUEIRO-ANÃO IRRIGADO**

**FORTALEZA-CE**

**2026**

ANTÔNIO VINÍCIUS DA COSTA BRAGA

EFEITO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE NA COBERTURA DO  
SOLO EM POMAR DE COQUEIRO-ANÃO IRRIGADO

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de graduação em agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa.

Coorientadora: Dra. Nazaré Suziane Soares

FORTALEZA-CE

2026

ANTÔNIO VINÍCIUS DA COSTA BRAGA

EFEITO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE NA COBERTURA DO  
SOLO EM POMAR DE COQUEIRO-ANÃO IRRIGADO

Monografia apresentada à Coordenação do curso de graduação em agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 19/1/2026.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Nazaré Suziane Soares (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Mestra Arianna Elizabeth Sotomayor Moran  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Agrônomo. Lucas de Aguiar Silva  
Fazenda Grangeiro

---

Dr. Rubens Sonsol Gondim  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

A Deus.

Aos meus pais, Antônio José e Maria Helena.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me proteger e me dar forças a chegar até aqui. Aos meus pais, Antônio José Ferreira Braga e Maria Helena da Costa Braga, que foram minha base em toda minha vida. A Minha irmã, Laura Maria da Costa Braga e toda minha família, pelo carinho.

Ao meu professor orientador, Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa, por toda oportunidade dada e conhecimentos passados nestes anos. A coorientadora, Dra. Nazaré Suziane Soares, pela ajuda ofertada.

Ao professor, Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Claudivan Feitosa de Lacerda, por possibilitar análises em laboratório. Ao responsável pelo laboratório de física do solo do Departamento de Ciências dos solos, na pessoa do Francisco José da Silva, pelo auxílio e orientação nas análises laboratoriais. Ao Dr. Alexandre do Departamento de Ciência dos solos por ter me auxiliado nas análises de curva característica do solo e ao Dr. Rubens Sonsol Gondim (EMBRAPA) por sua valiosa contribuição.

À Fazenda Grangeiro, na pessoa da, Sra. Rita Luiza Marinho Grangeiro e Sr Fernando Antônio Peroba Grangeiro, pela oportunidade de estágio e pela confiança ofertada em minha pessoa. Ao meu supervisor de estágio, Lucas de Aguiar Silva, por todo aprendizado passado ao longo desse tempo. A todos os funcionários que compõem a Fazenda Grangeiro que me acolheram tão bem.

Aos Doutorandos e Mestrandos do PPGA, Eduardo Lima, Adão Barros, Arianna Sotomayor, Cristiano Lima, que sempre me auxiliaram a esclarecer minhas dúvidas, e a todo o Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Sedimentologia do Semiárido (HIDROSED).

Aos Amigos de Graduação, Lucas Xavier, Alice Correia, Rafael de Freitas, Bruno Harisson, Juan Rodrigues, Ray Santos, Felipe Gonçalves, Alice Lima, Danilo Santos, e colegas do Departamento de Engenharia Agrícola e de disciplinas. Agradecer também à bolsista de iniciação científica, Thais, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Agradeço também à Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFC (DNA). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de Iniciação Científica, e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável (INCTAgriS).

“O homem que sabe de verdade e  
exatamente o quer da vida já  
percorreu um longo caminho para  
consegui-lo”

*Napoleon Hill, 2021.*

“Tudo o que pedires em oração,  
crendo, recebereis”

*Mateus 21:22*

## RESUMO

A gestão sustentável dos resíduos gerados pela cocoicultura representa um desafio ambiental significativo, sendo necessária a busca por alternativas que ofereçam uma destinação produtiva para os restos do processamento do coco. Diante deste cenário, o presente trabalho fundamenta-se na hipótese de que a utilização da fibra e da casca de coco como cobertura orgânica contribui para a retenção de umidade em solos arenosos, característicos das regiões produtoras de coco, o que pode resultar em um melhor direcionamento do subproduto. Além disso, a fibra de coco tem demonstrado uma atuação sobre a física do solo e na retenção de nutrientes, diminuindo a lixiviação. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito em solo na umidade e na estabilidade térmica utilizando a cobertura com casca e casca e endocarpo no solo nas profundidades de 10 - 50 cm sob cultivo de coqueiro-anão irrigado em Paracuru-CE. A metodologia consistiu na análise de três tratamentos utilizando os restos de material da fabricação de produtos: Sem Cobertura (T1), - Cobertura com casca sem endocarpo - (T2) e Cobertura com mistura de casca com endocarpo - (T3). Foram realizados ensaios laboratoriais para a determinação das curvas de retenção de água no solo e monitoramento em campo através de sensores de umidade e temperatura nas profundidades de 0-10cm, 20-30cm e 30-50cm. Os resultados demonstraram que os sensores apresentaram elevada acurácia no monitoramento da dinâmica hídrica, permitindo observar que as áreas com cobertura orgânica (T2 e T3) mantiveram teores de umidade volumétrica até 15% superiores em comparação ao solo descoberto, especialmente na camada de 0-20 cm. A análise da curva de retenção evidenciou que a presença do resíduo altera positivamente a disponibilidade hídrica no solo, elevando a água disponível e retardando a perda de água por evaporação direta. Além disso, a cobertura morta atuou como um isolante térmico eficiente, reduzindo a amplitude térmica do solo em até 5 °C nos horários de pico de radiação. Concluiu-se que o uso de resíduos de coco como cobertura morta é uma prática eficiente de engenharia de água e solo, pois melhora a conservação da umidade, reduz a temperatura do perfil pedológico e oferece uma solução ecológica para o descarte de subprodutos da indústria, otimizando a eficiência do uso da água na produção de coco em regiões semiáridas.

**Palavras-chave:** Disponibilidade hídrica no solo; Curva de retenção de água no solo; Engenharia de água e solo; Irrigação.

## ABSTRACT

The sustainable management of waste generated by coconut cultivation represents a significant environmental challenge, requiring the search for alternatives that offer a productive use for coconut processing residues. Given this scenario, this study is based on the hypothesis that the use of coconut fiber and husks as organic mulch contributes to moisture retention in sandy soils, characteristic of coconut-producing regions, which may result in better use of the by-product. In addition, coconut fiber has been shown to have an effect on soil physics and nutrient retention, reducing leaching. Therefore, the objective was to evaluate the effect on soil moisture and thermal stability using bark and bark and endocarp coverings on soil at depths of 10–50 cm under irrigated dwarf coconut cultivation in Paracuru, Ceará. The methodology consisted of analyzing three treatments using material left over from product manufacturing: No Cover (T1), Cover with Husk without endocarp (T2), and Cover with a mixture of Husk and Endocarp (T3). Laboratory tests were conducted to determine soil water retention curves and field monitoring was performed using moisture and temperature sensors at depths of 0–10 cm, 20–30 cm, and 30–50 cm. The results showed that the sensors were highly accurate in monitoring water dynamics, allowing us to observe that areas with organic cover (T2 and T3) maintained volumetric moisture contents up to 15% higher than bare soil, especially in the 0–20 cm layer. Analysis of the retention curve showed that the presence of residue positively alters water availability in the soil, increasing available water and slowing water loss through direct evaporation. In addition, the mulch acted as an efficient thermal insulator, reducing the soil temperature range by up to 5 °C during peak radiation times. It is concluded that the use of coconut waste as mulch is an efficient water and soil engineering practice, as it improves moisture conservation, reduces the temperature of the soil profile, and offers an ecological solution for the disposal of industrial by-products, optimizing water use efficiency in coconut production in semi-arid regions.

**Keywords:** soil water availability; Soil water retention curve; Water and soil engineering; Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma com etapas metodológicas para obtenção da curva de retenção de água no solo e análise da variação de temperatura e água disponível no solo .....	27
Figura 2 – Localização da área de estudo.....	28
Figura 3 – Produto Mycoco com personalização para eventos .....	28
Figura 4 – Produto Soulcoco em sua apresentação pública.....	29
Figura 5 – Processo da coleta do material: A - Coleta de casca (T2); B - Coleta de casca e endocarpo (T3); C - triturador; D - material do tratamento 2 triturado. ....	30
Figura 6 – Pesagem das fibras de coco utilizadas nos tratamentos .....	30
Figura 7 – Croqui do delineamento experimental em campo, destacando a distribuição dos tratamentos T1, T2 e T3 e as estruturas de apoio. ....	31
Figura 8 – Esquema dos tratamentos no momento da aplicação e disposição dos resíduos na sub-copa dos coqueiros.....	32
Figura 9 – Esquema de coletas de amostras indeformadas de solo .....	33
Figura 10 – Coleta das amostras indeformadas com tubos de PVC (DN100) para análise da acurácia dos sensores de temperatura e umidade do solo sob condições de laboratório.....	34
Figura 11 – Calibração dos sensores de umidade do solo sob condições de laboratório .....	34
Figura 12 – Mesa de tensão para determinação da retenção de água no solo em diferentes tensões.....	36
Figura 13 – Saturação das amostras e na câmara de Richards .....	38
Figura 14 – Representação esquemática: A- Visão de cima, B - Visão horizontal dos sensores .....	40
Figura 15 – Sensores de umidade instalados no experimento .....	41
Figura 16 – Estrutura feita para fixação do datalogger .....	41
Figura 17 – Instalação e coleta de dados .....	42
Figura 18 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30cm (Sensor B); e 30-50cm (Sensor C) sem cobertura (T1). ....	45
Figura 19 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) sob condições de cobertura com casca (T2) .....	45
Figura 20 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) sob condições de cobertura com casca e endocarpo (T3). ....	46
Figura 21 – Umidade do solo máxima e mínima nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) dos tratamentos Sem cobertura (T1), Cobertura com casca (T2) e Cobertura com casca e endocarpo (T3).....	47
Figura 22 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sem cobertura (T1). ....	49
Figura 23 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sob condições de cobertura com casca (T2).....	49
Figura 24 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sob condições de cobertura com casca e endocarpo (T3). ....	49
Figura 25 – Curva de Retenção de Água Sem cobertura (T1) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B). ....	51
Figura 26 – Curva de Retenção de Água com cobertura de Casca (T2) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B). ....	51
Figura 27 – Curva de Retenção de Água com cobertura com Casca e Endocarpo (T3) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B). ....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Umidade do solo em função das tensões aplicadas nas diferentes profundidades..	43
Tabela 2 – Armazenamento Diário de Água Disponível (ADS) no perfil de 0-20 cm e 20-40 cm para diferentes tratamentos de cobertura do solo.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Água Disponível
ADS	Armazenamento de Água Disponível
CC	Capacidade de Campo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
PMP	Ponto de Murcha Permanente
UFC	Universidade Federal do Ceará

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Umidade volumétrica
$\theta_a$	Umidade atual do solo
$\theta_{cc}$	Umidade na capacidade de campo
$\theta_r$	Umidade residual
$\theta_{pmp}$	Umidade no ponto de murcha permanente
$z$	Profundidade da camada do solo (mm ou cm)
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Umidade do solo.....	16
2.2	Relação da água com a cultura do coqueiro no semiárido.....	17
2.3	Distribuição temporal da umidade do solo em coqueiro irrigado.....	18
2.4	Capacidade de armazenamento de água no solo.....	19
2.4.1	Curva Característica de Retenção de Água no Solo.....	19
2.4.2	Faixas limítrofes de retenção de água no solo.....	20
2.5	Resíduos de fibra de coco como cobertura de solo.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Área de estudo.....	27
3.2	Preparação dos resíduos da fibra de coco.....	28
3.3	Instalação do experimento.....	31
3.4	Coleta e preparo das amostras.....	33
3.5	Calibração dos sensores de temperatura e umidade do solo.....	34
3.6	Análises laboratoriais.....	35
3.6.1	Conteúdo de água no solo ( $\theta$ ).....	36
3.6.2	Potencial mátrico ( $\Psi_m$ ).....	37
3.6.3	Análise de Curva de Retenção de Água.....	37
3.6.4	Determinação da densidade do solo ( $D_s$ ).....	38
3.6.5	Determinação de umidade ( $U$ ).....	39
3.6.6	Determinação de Armazenamento de água disponível (ADS).....	39
3.7	Instalação dos sensores de umidade, temperatura e datalogger.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Avaliação da umidade do solo em diferentes tensões.....	43
4.2	Avaliação da umidade do solo sob diferentes coberturas.....	44
4.3	Análise de Temperatura do solo.....	47
4.4	Análise de Curva de Retenção de Solo.....	50
5	CONCLUSÕES.....	53
6	REFERÊNCIAS.....	54

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do coqueiro depende muito de uma irrigação bem-feita, já que a irregularidade das chuvas e a alta evaporação dificultam a manutenção da umidade do solo durante todo o período de crescimento. Estudos mostram que a falta prolongada de água diminui consideravelmente a produção, afetando tanto o número de frutos quanto a qualidade da água de coco (Fernandes et al., 2015; Miranda et al., 2019). Além disso, a eficiência com que o coqueiro usa a água está ligada à forma como a umidade se distribui no solo, influenciada pelo tipo de solo, sistema de irrigação e práticas de manejo utilizadas (Cintra et al., 2009; Amorim; Nogueira; Araújo, 2021).

A quantidade de água presente no solo é um dos fatores cruciais para o bom desenvolvimento e rendimento das plantações, sobretudo em áreas com pouca água, a exemplo dos solos arenosos típicos de regiões semiáridas. Tais solos exibem poros grandes, área de contato pequena e baixa capacidade de reter água, o que leva a uma drenagem rápida e maior vulnerabilidade das plantas ao estresse hídrico (EMBRAPA, 2019). Assim, entender como a água se comporta no solo torna-se fundamental para planejar ações que visem otimizar o uso da água e garantir a continuidade da produção agrícola.

Na região tropical do nordeste do Brasil, vem crescendo cada vez mais e tomando um cenário de grande importância na produção de coco, sendo o Nordeste a região que mais possui área plantada. Conforme apontado por Rodrigues (2024), o estado do Ceará foi 1º colocado do país em 2023 como maior produtor de coco-da-baía, com uma produção de aproximadamente 520 milhões de unidades de coco em 42,7 mil hectares (ha), sendo em áreas irrigadas e não irrigadas. A Fazenda Grangeiro, de Paracuru, possui parceria com a Embrapa Agroindústria Tropical na fabricação de uma água de coco microfiltrada, chamada Soul Coco, que contou com a contribuição de uma equipe da Embrapa Tabuleiros Costeiros, para um produto de alta qualidade e sabor inconfundível.

Considerando essas dificuldades, práticas de conservação do solo e água têm sido bastante discutidas como alternativas para reduzir a perda de água por evaporação e melhorar a retenção de água. O uso de coberturas orgânicas, como a fibra de coco, se destaca por diminuir a evaporação na superfície, controlar a temperatura do solo e ajudar a manter a umidade em camadas mais profundas (Nunes, 2021). Pesquisas indicam que adicionar ou cobrir o solo com restos de coco pode melhorar a estrutura porosa do solo, influenciando a forma como ele retém água e aumentando a quantidade de água disponível para as plantas, principalmente em solos

arenosos (Montenegro et al., 2020; Gomes et al., 2023).

Apesar de ser reconhecida a importância de cuidar da água para o cultivo do coqueiro em solos arenosos, ainda não se sabe ao certo como diferentes tipos de cobertura com restos de coco afetam a movimentação da umidade no solo, a distribuição da água ao longo do tempo e as características relacionadas à forma como o solo retém água. Diante disso, surge a seguinte pergunta: de que forma a utilização de diferentes coberturas à base de fibra de coco influencia a retenção de água, a estabilidade térmica e a disponibilidade hídrica do solo em áreas cultivadas com coqueiro irrigado?

Considerando o cenário atual, esta pesquisa se mostra importante pela urgência em criar métodos de gestão da água mais eficazes e duradouros para a cultura do coco em áreas semiáridas, onde a falta de água é um grande obstáculo para a agricultura. A prática de reaproveitar os restos da produção de coco, como a casca e a fibra, não só ajuda a proteger o solo e a água, mas também é uma forma ecologicamente correta de usar os restos da agroindústria (Nunes, 2021; Pontes, 2013). Cientificamente, o estudo expande o saber sobre como essas coberturas afetam as qualidades físicas e hídricas do solo, oferecendo informações técnicas para a irrigação e para o uso de práticas de conservação adequadas ao clima e ao solo do Nordeste do Brasil.

Portanto, o objetivo principal deste estudo é verificar como diferentes coberturas de solo feitas com restos de coco verde afetam a retenção de água, a variação da umidade e a temperatura do solo em uma área de plantação de coco irrigada em solo arenoso. Os objetivos específicos são: a) avaliar como a umidade do solo se comporta ao longo do tempo em diferentes profundidades sob os variados tipos de cobertura; b) avaliar a qual tratamento obteve melhor resultado no armazenamento de água; c) estabelecer a Curva de Retenção de Água do solo e suas características físicas e hídricas (Capacidade de Campo e Ponto de Murcha Permanente) em cada situação; d) confrontar os impactos das coberturas na temperatura do solo e na eficácia da conservação da água no cultivo do coqueiro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Umidade do solo**

A umidade do solo é um fator determinante para a disponibilidade hídrica para as plantas e para a atividade biológica, física e química do perfil do solo. Em solos arenosos, caracterizados por elevada porosidade grosseira, baixa capacidade de retenção de água e menor conteúdo de argila e matéria orgânica estável, a disponibilidade de água para as plantas depende fortemente da tensão de retenção e da densidade de partícula, tornando os regimes de umidade mais suscetíveis a variações diárias de precipitação e evaporação.

A principal limitação desses solos é a baixa capacidade de retenção de água (CRA). A grande dimensão das partículas de areia resulta em uma porosidade elevada e em uma baixa área superficial específica, fatores que facilitam a rápida infiltração e o escoamento acelerado da água sob a ação da gravidade (EMBRAPA, 2019). Diferentemente dos solos argilosos, que possuem poros de menor diâmetro e maior superfície para adsorção da água, os solos arenosos apresentam uma CRA reduzida, o que limita drasticamente o volume de água que permanece na zona radicular disponível para as plantas.

No Brasil, estudos têm mostrado que solos arenosos, especialmente em regiões semiáridas, apresentam baixa capacidade de retenção de água devido à baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o que agrava a lixiviação de nutrientes (Cordeiro et al., 2020). Essa característica exige manejo especializado para manter a umidade disponível para as culturas. A água livre tende a escoar mais rapidamente devido à pouca capacidade de retenção na microporosidade, resultando em menor água disponível para as raízes em comparação com solos hidráulicamente mais finos (textura arenosa predominantemente de grãos de areia e baixa fração de argila).

Uma investigação sobre solos arenosos na bacia sedimentar do Tucano (BA) avaliou a curva de retenção de água e a distribuição de umidade (Parahyba et al., 2015). Os autores mostraram que a fração mais fina (silte e argila) presente no solo influencia fortemente a retenção de água, mesmo em solos predominantemente arenosos, e que pequenas variações texturais podem afetar muito a dinâmica hídrica.

## 2.2 Relação da água com a cultura do coqueiro no semiárido

No semiárido brasileiro, a água desempenha papel central na viabilidade da cultura do coqueiro, especialmente porque essa região é marcada por precipitações irregulares e elevadas taxas de evapotranspiração (Fernandes et al., 2015). Estudos apontam que a seca prolongada pode reduzir significativamente a produtividade, afetando tanto o número de frutos quanto o volume de água nos cocos.

Segundo Miranda, Rocha e Guimarães (2019), acompanharam a eficiência do uso da água (EUA) na irrigação de coqueiros anões no Ceará dois pomares por 24 meses para determinar a relação entre o volume de água aplicado e a produção de frutos e de água de coco. Foi observado que, em uma das propriedades, valores elevados de irrigação levaram a uma baixa eficiência (2,7 frutos/m<sup>3</sup> e 1,2 L/m<sup>3</sup>), enquanto na outra, com lâminas menores, a eficiência aumentou para 5,5 frutos/m<sup>3</sup> e 2,0 L/m<sup>3</sup>.

A irrigação por microaspersão, bastante usada em coqueirais semiáridos, requer manejo cuidadoso, pois o diâmetro molhado influencia fortemente a distribuição de água para o sistema radicular do coqueiro. Segundo a Circular Técnica da Embrapa (2012), diâmetros molhados entre 2 m e 6 m podem ser usados dependendo da idade da planta, e esse ajuste é crucial para evitar perdas por evaporação excessiva ou irrigação ineficiente.

A fisiologia do coqueiro também é modulada pela disponibilidade hídrica: segundo Pordeus (2018), a variação de umidade no solo afeta a área foliar, a transpiração e até a alocação de carbono, o que repercute na produção de coco. A irrigação com déficit hídrico sustentado (SDI) foi testada como uma estratégia para economizar água no coqueiral semiárido. Esse regime, em que se aplica uma lâmina abaixo da evapotranspiração potencial, levou a um aumento da eficiência de uso da água, mas reduziu a produtividade (número de frutos e volume de água por fruto) e não foi economicamente vantajoso em condições normais (Miranda et al., 2022).

Além disso, a seca tem impactos socioeconômicos para produtores de coco em perímetros irrigados: um estudo no perímetro de São Gonçalo Sousa (PB) identificou que a crise hídrica levou a perdas parciais ou totais para muitos agricultores, refletindo como a gestão da água afeta diretamente a sustentabilidade econômica da cultura do coqueiro no semiárido (Fernandes et al., 2015).

O potencial climático para o cultivo do coqueiro nos tabuleiros costeiros do Nordeste (áreas que incluem partes semiáridas) foi analisado por Silva e Barros (2017). Eles usaram balanço hídrico para estimar o risco climático, levando em conta precipitação,

temperatura e umidade relativa, e concluíram que certas áreas apresentam deficiência hídrica que exige irrigação complementar para manter a produtividade do coqueiral.

A demanda hídrica do coqueiro depende fortemente das características ambientais: Sousa et al. (2011) mediram o consumo hídrico de coqueiros anões irrigados e mostraram que fatores como textura do solo, umidade prévia e idades das plantas (altura, área foliar) determinam a quantidade de água necessária para manter o crescimento e a produção.

No que diz respeito a práticas de manejo, há propostas para reduzir o volume de água aplicado via irrigação localizada, apenas na área radicular mais ativa (“bulbo molhado”). Um estudo conduzido no semiárido testou diferentes diâmetros molhados (de 0,7 a 1,0 m) e coberturas do solo; eles observaram que controlar a temperatura do solo (por meio de cobertura plástica) reduziu a evaporação e permitiu uma economia de até 90% da água aplicada nas fases iniciais de plantio, sem prejudicar o crescimento inicial das plantas (Santos, 2015).

Assim, a seca não afeta apenas a produção imediata: segundo Medeiros (2022), a fisiologia do coqueiro sob estresse hídrico também pode comprometer a qualidade da água de coco (teor de sólidos solúveis), o que pode impactar o valor comercial do fruto e sua aceitação no mercado, mostrando que a gestão hídrica é estratégica não só para rendimento, mas também para a qualidade do produto

### **2.3 Distribuição temporal da umidade do solo em coqueiro irrigado**

A distribuição temporal da umidade do solo em coqueirais irrigados é fundamental para compreender o balanço hídrico da cultura e para definir regimes de irrigação ótimos. Historicamente, o estudo de Camboim Neto (1995) tornou-se uma referência relevante ao utilizar microirrigação e traçadores de potássio para mapear a distribuição da solução no solo ao longo do tempo. O autor demonstrou que a uniformidade de água no bulbo úmido varia consideravelmente com a distância do emissor e a profundidade, observando que, mesmo com uma alta uniformidade de aplicação (CUC ~ 94%), o padrão de umidade no solo não era homogêneo, o que indica que a distribuição real da água pode sofrer microvariabilidade significativa ao longo do tempo.

Posteriormente, Cintra et al. (2009) investigaram o efeito de diferentes volumes de irrigação sobre o regime hídrico em coqueirais de tabuleiros costeiros, monitorando a umidade através de sondas TDR. Os resultados evidenciaram que volumes maiores resultaram numa

melhor manutenção da umidade nas camadas mais profundas, embora a presença de uma camada coesa entre 20 e 60 cm tenha limitado a penetração e a retenção de água, gerando variações temporais dependentes do volume e da frequência da rega.

Dando continuidade a esta linha de investigação, Rodrigues et al. (2015) mostraram que a substituição da vegetação nativa por coqueirais irrigados no semiárido pode alterar os atributos físicos do solo, como o aumento da densidade e a redução da porosidade, o que impacta diretamente a dinâmica de infiltração e retenção hídrica a longo prazo. Mais recentemente, o manejo da irrigação baseado na tensão do solo tem sido preconizado como uma estratégia eficaz.

Segundo Amorim, Nogueira e Araújo (2021), para o coqueiro-anão em solos arenosos, os valores de tensão devem ser mantidos entre 10 e 25 kPa para evitar o estresse hídrico, servindo como um critério temporal de controle rigoroso. Corroborando esta necessidade de precisão, estudos de Carvalho et al. (2024) na Amazônia Oriental indicaram que a umidade do solo pode permanecer relativamente estável quando o manejo é eficiente, relacionando uma produtividade de 139,5 frutos por planta a níveis adequados de umidade sem flutuações drásticas. No mesmo ano, Fernandes et al. (2024) reforçaram que, em períodos de baixa pluviosidade, a irrigação suplementar é crucial para suprir a elevada demanda evaporativa e evitar quedas acentuadas na umidade.

Finalmente, o trabalho de Rua et al. (2025) quantificou a evaporação no coqueiro-anão verde, demonstrando que a prática da irrigação reduz claramente a perda evaporativa direta do solo, auxiliando na manutenção de um teor de umidade mais constante e previsível ao longo do ciclo temporal da cultura.

## **2.4 Capacidade de armazenamento de água no solo**

### **2.4.1 Curva Característica de Retenção de Água no Solo**

A curva característica (ou curva de retenção) descreve a relação entre o teor volumétrico de água no solo ( $\theta$ ) e o potencial matricial ( $\psi$ ), ou seja, ela mostra quanta água está retida no solo para diferentes intensidades de sucção matricial. Conforme Andrade et al (2007), essa curva é uma propriedade físico-hídrica fundamental, pois reflete tanto a estrutura de poros do solo (tamanho, distribuição e conectividade) quanto a textura e a matéria orgânica.

A forma da curva característica varia muito de solo para solo. Segundo o mesmo documento da Embrapa supracitado, solos argilosos têm muitos microporos, o que permite que retenham água mesmo em sucções elevadas; já solos arenosos, com predominância de macroporos, mostram curvas mais íngremes, pois perdem água rapidamente conforme a sucção aumenta. Esse comportamento é essencial para entender como o solo responde à secagem e à re-umidificação, e para estimar a disponibilidade de água para as plantas.

Em laboratório, a curva característica é tipicamente obtida usando extratores de placa porosa, câmaras de pressão (Richards) ou outros métodos que impõem diferentes tensões matriciais e medem o teor de água correspondente (Embrapa, 2021). Além disso, ajustes matemáticos são usados para descrever a curva: modelos como o de Van Genuchten são frequentemente aplicados para ajustar dados experimentais e estimar parâmetros como a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Filgueiras et al. 2018).

No entanto, há desafios práticos. Algumas medições clássicas consideram apenas alguns pontos (saturação, CC e PMP), o que pode simplificar demais a curva e levar a estimativas imprecisas da dinâmica real da água no solo. Estudos recentes, usam técnicas avançadas como ressonância magnética nuclear para medir a curva de retenção com maior resolução e capturar a histerese (diferença entre secagem e reumidificação) (Guimarães et al., 2025). Esse tipo de abordagem mais sofisticada permite uma compreensão mais realista do comportamento hídrico, especialmente em solos complexos.

Finalmente, a curva característica não é estática: fatores como compactação, manejo agrícola, bioturbação ou adição de matéria orgânica podem alterar a distribuição de poros e, conseqüentemente, a forma da curva ao longo do tempo. Portanto, entender a curva característica é fundamental para a gestão da água no solo, seja para irrigação, drenagem ou conservação.

#### 2.4.2 Faixas limítrofes de retenção de água no solo

A Faixa Limítrofe correspondem aos pontos de mudança entre água livre nos poros maiores e água adsorvida ou ligada a superfícies em poros menores, entre a água que é facilmente acessível às plantas e a água que não está mais disponível fisiologicamente, e entre regimes onde predominam a capilaridade, a adsorção superficial ou água existente em poros isolados. Essas faixas delimitam a expansão efetiva da conectividade de poros utilizáveis pela

planta e pela hidrologia do solo, marcando transições na relação entre teor de água e potencial matricial ao longo da curva de retenção, tal como a transição água livre-adsorbida e a transição entre água potencialmente disponível e água residual.

Conceitualmente, as faixas limítrofes estão associadas aos limites entre Teor de água na saturação ( $\theta_s$ ), Teor de água a uma condição de umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) Teor de água a uma condição de umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), e de água residual ( $\theta_r$ ).

A Umidade de Saturação, frequentemente representada pela variável  $\theta_s$ , descreve o teor de água no solo quando todos os poros estão completamente preenchidos pela fase líquida, isto é, o estado de saturação do solo. O conteúdo de água do solo no estágio em que não existem vazios de ar dentro da morfologia porosa; o sistema está saturado, com água ocupando todo o volume poroso. No contexto da curva de retenção da água no solo,  $\theta_s$  funciona como o limite superior da água retida no sistema, servindo como referência para o cálculo da saturação volumétrica efetiva  $\theta$  e para a parametrização de funções de pedotransferência que descrevem a disponibilidade hídrica para plantas.

Segundo Van Lier (2020), a curva de retenção da água no solo é comumente apresentada por meio de três teores de água: teor de água na saturação ( $\theta_s$ ), teor de água residual ( $\theta_r$ ) e, por vezes, teor de água a uma dada condição de umidade ( $\theta$ ). A diferença entre  $\theta_s$  e  $\theta_r$  define a faixa de variação disponível para as plantas e para processos hidrológicos: a saturação efetiva. Este enquadramento facilita a comparação entre solos com distintas texturas e estruturas, uma vez que a disponibilidade hídrica para as culturas depende da distância entre  $\theta$  e  $\theta_r$ , normalizada pela faixa entre  $\theta_s$  e  $\theta_r$ .

A capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) é definida como o teor de água que o solo retém após a drenagem gravitacional decrescer a níveis muito baixos, ou seja, quando o solo drena o excesso e atinge um equilíbrio de retenção por forças matriciais (capilaridade + adsorção) (Embrapa 2021).

De acordo com a Embrapa (2021), para solos de textura grossa (arenosos) como os solos estudados neste trabalho, a tensão matricial equivalente à CC é frequentemente considerada em torno de  $-10$  kPa, enquanto para outros solos de textura fina (argilosos), pode-se usar  $-33$  kPa. Esses valores são amplamente utilizados para estimar a CC, tanto em laboratório quanto para modelagem de irrigação.

No entanto, a CC pode variar muito dependendo das características do solo. Silva et al. (1990) desenvolveram um modelo matemático baseado em milhares de amostras coletadas no semiárido brasileiro para estimar a CC e o PMP. Esse estudo é especialmente relevante

porque relaciona os parâmetros de retenção de água (CC e PMP) com a textura do solo e aplica os resultados para manejo prático da irrigação em regiões irrigáveis.

Além disso, Filgueiras et al (2018) compararam modelos de retenção (Van Genuchten e modelo potencial) para diferentes tensões (10, 30, 50, 100, 500, 1500 kPa) usando câmaras de Richards, e encontraram que ambos os modelos previram com bastante precisão a umidade correspondente à CC (em 33 kPa) para os solos testados. Essa comparação mostra como diferentes métodos de modelagem podem convergir para estimativas realistas da CC.

Do ponto de vista prático, a CC é utilizada para planejar irrigação. A quantidade ideal de água aplicada muitas vezes visa reabastecer o solo até a CC sem ultrapassá-la, porque água além desse ponto provavelmente se perderá por percolação (segundo a Embrapa, em práticas de irrigação eficientes, evita-se irrigar acima da CC sempre que possível) (Embrapa, 2021).

O ponto de murcha permanente (PMP) é definido como o teor de água no solo em que a maioria das plantas não consegue extrair mais água: abaixo desse ponto, a planta murcha e não recupera a turgidez mesmo se o solo for irrigado posteriormente. A Embrapa considera esse ponto equivalente a uma tensão matricial de aproximadamente  $-1.500$  kPa (câmara de pressão) para muitos solos (Circular Técnica Embrapa, 2002).

Esse limite é importante por duas razões principais. Primeiro, ele define o limite inferior da água realmente disponível para as plantas (quando estouro para menos umidade ocorre estresse severo). Segundo, é usado para dimensionar regimes de irrigação: agrônomos e irrigantes normalmente evitam deixar o solo secar até esse ponto para prevenir danos fisiológicos às culturas (Embrapa, 2021).

No estudo de Silva, Brito, Oliveira e Moita (1990), o PMP foi estimado via modelo matemático para os solos irrigáveis do semiárido brasileiro. Esses autores usaram o valor de  $1,5$  MPa ( $1.500$  kPa) como referência para definir o PMP em seu modelo, o que permitiu calcular a disponibilidade total de água (DTA) para diferentes classes de solo, considerando a textura e os atributos hídricos (Silva et al., 1990).

Além disso, a determinação experimental do PMP normalmente exige uso de extratores de pressão (placas porosas ou câmaras de Richards), porque é necessário impor sucções muito altas para equilibrar o potencial matricial do solo (Circular Técnica Embrapa, 2002). No entanto, esse processo pode ser demorado, o que leva muitos estudos a estimarem o PMP via modelos ajustados a poucos pontos da curva de retenção (Filgueiras et al.2018).

Um desafio recente apontado pela literatura brasileira é que muitas medições tradicionais (saturação, CC e PMP) são insuficientes para capturar completamente a dinâmica

da água no solo, especialmente em solos com comportamento complexo. Por exemplo, em trabalho recente com ressonância magnética nuclear (RMN), pesquisadores observaram que medir mais pontos da curva (além de apenas CC e PMP) pode revelar variações importantes e histerese que modelos simples não capturam (Guimarães et al. 2025). Isso sugere que, para estudos avançados de disponibilidade de água, a determinação mais refinada do PMP pode trazer benefícios práticos e teóricos.

A umidade residual, representada pela variável  $\theta_r$ , é definida no contexto da curva de retenção da água no solo como o teor de água que persiste no solo quando o potencial matricial tende a valores negativos. O valor corresponde ao conteúdo de água que permanece no sistema poroso mesmo sob condições extremas de secagem, isto é, após o solo ter sido removido o teor de água até o limite em que não há água disponível para as plantas. A umidade residual é utilizada nas equações que descrevem a curva de retenção para representar a condição de solo seco ao extremo, mas é importante destacar que o valor experimentalmente mensurado de  $\theta_r$  não pode ser obtido diretamente, já que o potencial matricial tende a valores muito negativos além do alcance dos equipamentos laboratoriais comuns (por exemplo, até -1500 kPa ou -150 m, correspondente ao ponto de murcha permanente). Assim, o  $\theta_r$  é obtido por ajuste matemático da curva de retenção ou por abordagens multimodais que incorporam os componentes de capilaridade e adsorção.

No âmbito conceitual,  $\theta_r$  é utilizado extensivamente em equações que descrevem a curva de retenção e as propriedades hidráulicas associadas. Por exemplo, a descrição da curva de retenção envolve  $\theta_s$  (teor de água na saturação),  $\theta_r$  (teor de água residual) e  $\theta$  (teor de água a base de volume), de modo que a saturação efetiva  $\Theta$  é definida como  $\Theta = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ . Essa normalização facilita a modelagem da disponibilidade hídrica para as plantas e a interpretação da variação de teores de água ao longo do perfil do solo, especialmente quando se compara solos com diferentes texturas e estruturas.

É relevante notar, conforme o autor, que  $\theta_r$  obtido por ajuste de uma equação de retenção não corresponde a um valor físico exato para potenciais muito negativos; ele representa, na prática, um parâmetro de ajuste matemático que facilita a modelagem da curva de retenção na faixa de interesse agrônomo (0 a ~150 m de potencial, correspondente à disponibilidade hídrica para as plantas). Umidade Residual  $\theta_r$  representa o estado mínimo de água retida pelo solo sob condições extremas no teor de água, não estando disponível para as plantas. Seu valor é fundamental para caracterizar a capacidade de retenção do solo em equilíbrio estático, orientar a parametrização de funções de pedotransferência que estimam curvas de retenção e, conseqüentemente, impactar previsões de disponibilidade de água para

culturas, infiltração, evaporação e dinâmica de água no solo. O tratamento adequado de  $\theta$  envolve considerar as limitações de medição experimental e recorrer a ajustes que integrem a física de poros (capilares, adsorção, poros isolados) para uma descrição coerente da curva de retenção em toda a faixa de potencial matricial relevante para aplicações hidrológicas e agronômicas (van Lier, 2020).

## 2.5 Resíduos de fibra de coco como cobertura de solo

A fibra de coco, proveniente da casca do coco (mesocarpo), tem sido cada vez mais empregada na agricultura como cobertura de solo (*mulch*) devido à sua capacidade de reter umidade e retardar a evaporação. Segundo a Embrapa, mantas de fibra de coco (“biomantas”) reduzem a perda de água pela superfície do solo, criando microambientes mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, aumentando a atividade microbiana e protegendo contra erosão (Nunes, 2021).

Um estudo laboratorial realizado por Montenegro et al. (2020), em ambiente semiárido testou a cobertura de solo com pó de coco (*coir dust*) sob chuva simulada, e mostrou que essa cobertura reduziu o escoamento superficial e a perda de solo, ao mesmo tempo em que aumentou a umidade do solo. Isso evidencia a eficácia da fibra de coco como técnica de conservação de solo e água, especialmente em regiões áridas ou semiáridas.

A fibra de coco, ao ser adicionada ao solo compactado em pequenas frações (0,1 %, 0,5 % e 1% em massa), altera a estrutura porosa e a curva de retenção de água do solo, Gomes et al. (2023). Com isso, obtém-se maior umidade residual, o que significa que parte da água fica “presa” no solo mesmo após drenagem, beneficiando culturas em períodos secos.

Além da retenção hídrica, a fibra de coco como cobertura ajuda a moderar a temperatura do solo. Por ser um material orgânico relativamente poroso e de lenta decomposição, ela funciona como isolante térmico superficial, minimizando oscilações extremas de temperatura e protegendo as raízes contra estresse térmico (Nunes, 2021).

Para Assis et al. (2021), a utilização de fibra de coco também contribui para a redução da lixiviação de nutrientes. Por exemplo, em experimentos com pó de coco, observou-se uma diminuição na lixiviação de íons como sódio, quando comparado a solos descobertos, o que demonstra que a cobertura ajuda a reter certos nutrientes no perfil superficial.

No contexto de horticultura, Silva (2014) investigaram o uso de fibra de coco combinada com esterco de galinha para cultivar alface em solos rurais, muitos deles arenosos, e constataram que a fibra aumentou a retenção de água e melhorou o crescimento das plantas, em comparação com solos sem esse material.

Um ponto importante ressaltado por Nunes (2021) é a longevidade da fibra de coco: por se decompor lentamente, ela permanece na superfície do solo por meses ou até anos, o que reduz a necessidade de reposição frequente e mantém os benefícios por mais tempo, conforme relata a Embrapa.

No manejo de encostas e recuperação de áreas degradadas, as mantas de fibra de coco são usadas para estabilizar o solo e promover o crescimento de vegetação. A estrutura tecida da biomanta permite o enraizamento das plantas sobre ela, o que auxilia na regeneração do solo e no controle da erosão (Nunes, 2021).

Apesar das vantagens, Pontes (2013) descreve que há desafios para o uso da fibra de coco. A casca de coco verde (ou fibra fresca) pode ter alta condutividade elétrica (sais solúveis) e taninos, que podem ser prejudiciais para algumas plantas. Por isso, é frequentemente necessário um pré-tratamento (lavagem, estabilização) para tornar o material mais seguro para uso agrícola.

Assim, fibra de coco como cobertura de solo é uma alternativa sustentável: é um subproduto abundante da indústria do coco, evita a queima ou descarte inadequado da casca, e oferece benefícios agronômicos notáveis (retenção de água, controle de erosão, moderação térmica), sendo uma solução eficiente especialmente em sistemas agrícolas vulneráveis à seca ou erosão.

É no solo onde as plantas encontram os elementos fundamentais para seu nascimento, crescimento e produção, mas para que isso ocorra, não são indispensáveis somente os atributos químicos, mas também os fatores físicos e biológicos.

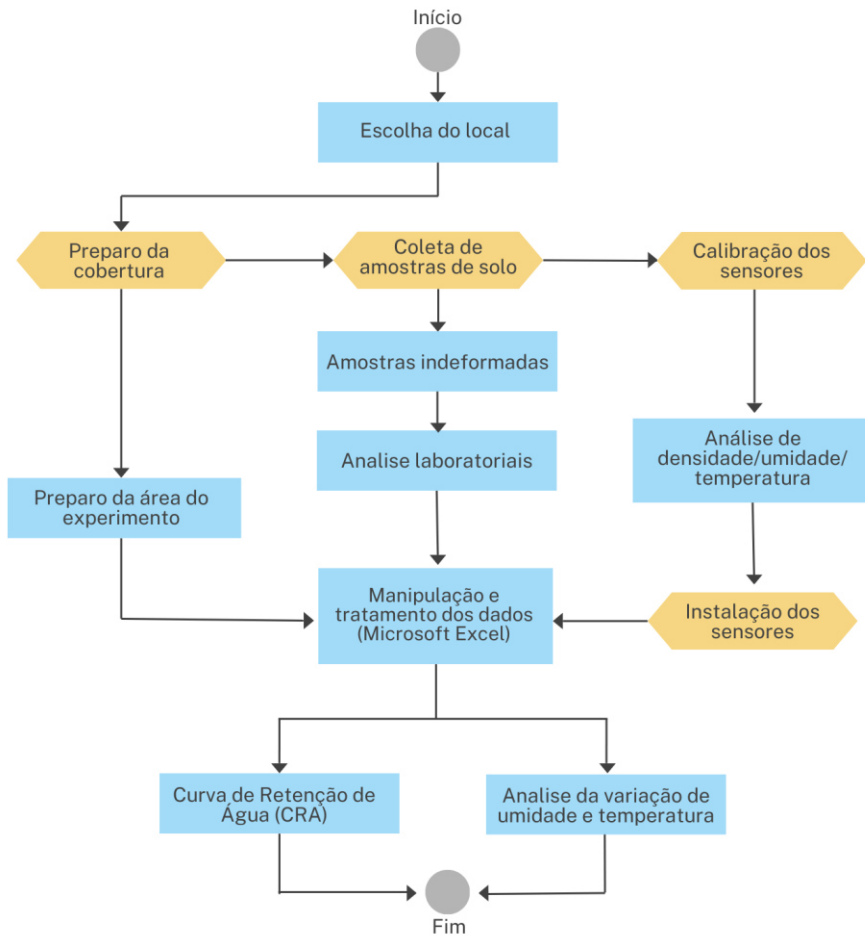
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida através de um experimento, realizado em um cultivo de coqueiros irrigados em Paracuru–CE, em solo Neossolo Quartzarênicos (Funceme, 2024). Foram analisados três tratamentos: T1 (solo descoberto); T2 (solo coberto com casca de coco); e T3 (solo com uma mistura de casca e a parte interna do coco, endocarpo). Foram retiradas amostras do solo em duas diferentes profundidades (0-20 cm e 20-40cm), levando-as ao laboratório para exames que mediram suas propriedades físicas e hídricas. Foi usado a câmara de pressão de Richards para criar a Curva de Retenção de Água. Também foi instalado sensores no campo para acompanhar de perto como a água e a temperatura se comportavam no solo, observando como cada tipo de cobertura influenciava a dinâmica da água.

O estudo está dividido em 4 etapas, sendo a primeira dela, a explicação das teorias básicas sobre a umidade do solo, o cultivo de coqueiros em áreas semiáridas, como a água se move no solo ao longo do tempo e os principais aspectos físicos e hídricos, como a capacidade de campo, o ponto de murcha e a curva de retenção de água. Depois, discute-se o uso da fibra de coco para cobrir o solo, mostrando como isso ajuda a manter a água e a temperatura. Em seguida, os materiais e métodos usados são detalhados. Os resultados são apresentados e discutidos na etapa seguinte, analisando-se a umidade, a temperatura do solo e as curvas de retenção em cada situação. Para finalizar, conclui-se detalhando as principais descobertas, demonstrando como cobrir o solo com restos de coco pode ser uma forma eficaz de reter mais umidade e melhorar a conservação da água em plantações de coqueiros em solos arenosos.

O fluxograma (Figura 1) descreve a metodologia aplicada para a avaliação da eficiência dos resíduos de coco como cobertura morta com detalhes referente às etapas sequenciais adotadas, destacando-se a integração entre os ensaios laboratoriais e a coleta de dados automatizada via sensores, permitindo uma análise comparativa rigorosa entre os tratamentos: Solo descoberto (T1), Cobertura com casca (T2) e Cobertura com casca e endocarpo (T3).

Figura 1 – Fluxograma com etapas metodológicas para obtenção da curva de retenção de água no solo e análise da variação de temperatura e água disponível no solo

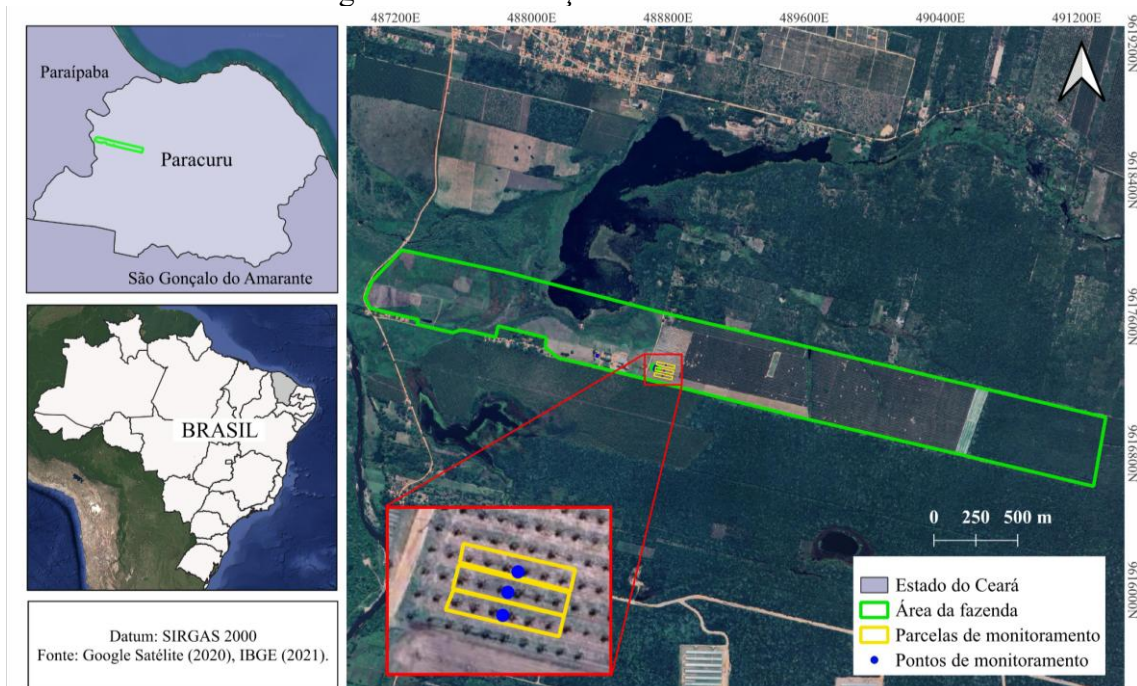


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 Área de estudo

As amostras foram coletadas na Fazenda Grangeiro localizada no município de Paracuru - CE, próximo ao rio Curu. A fazenda possui cerca de 170 hectares, sendo 70 ha com a cultura do coco, cultura predominante da região litorânea do estado, que é a maior produtora de coco no Brasil. A Fazenda fica localizada mais especificamente nas coordenadas: 3°27'42.30"S, 39° 6'16.42"O como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Preparação dos resíduos da fibra de coco

O produto Mycoco é derivado do coco verde, consolidado no mercado de bebidas saudáveis principalmente sob a forma de água de coco integral. O processo de produção do Mycoco é feito através da remoção da casca do coco, sendo utilizado apenas o endocarpo e sua água, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Produto Mycoco com personalização para eventos



Fonte: Mycoco (2024).

O Soulcoco é outro produto de água de coco que se diferencia no mercado pelo uso de tecnologia de microfiltração a frio. Ao contrário dos processos térmicos convencionais (como o UHT), que podem alterar o sabor e degradar nutrientes sensíveis ao calor, a microfiltração utiliza membranas microporosas para remover impurezas e microrganismos. Esse método preserva as propriedades físico-químicas e organolépticas originais da água de coco verde, garantindo um produto com sabor mais próximo ao do fruto recém-colhido e um *shelf life* (prazo de validade) estendido sob refrigeração. Desenvolvido em parceria com a instituição de pesquisa Embrapa, o Soulcoco foca na entrega de uma bebida 100% natural, sem adição de conservantes ou açúcares, posicionando-se como uma opção de alta qualidade nutricional. Ao contrário do produto Mycoco, esse conta com embalagem de plástico e com a utilização apenas da água do coco, sendo a casca e endocarpo descartados. (Figura 4).

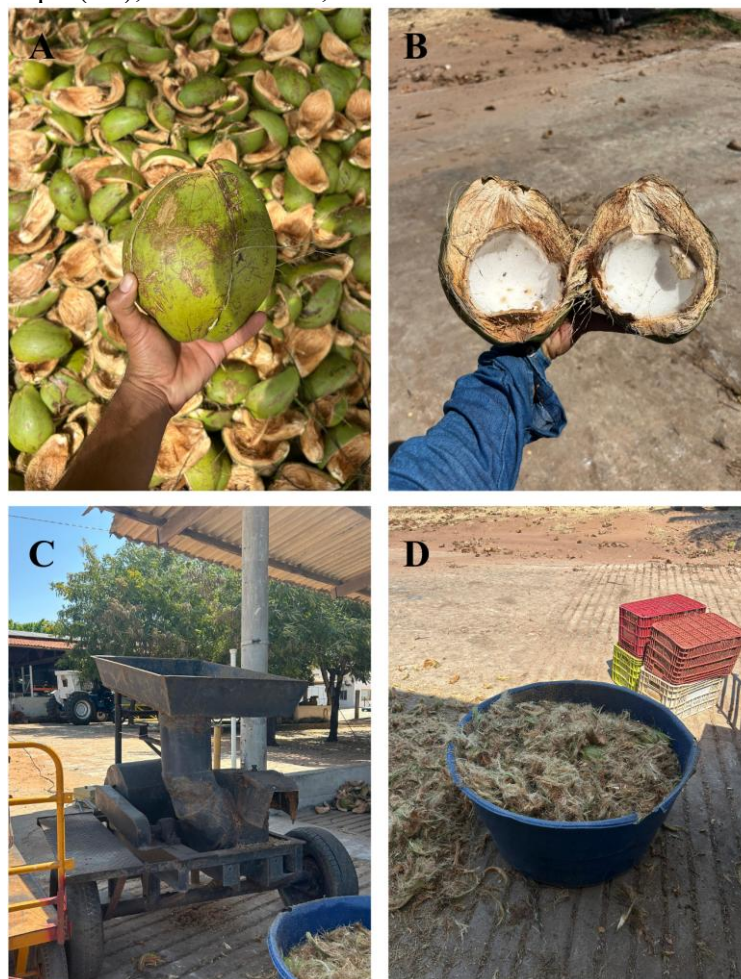
Figura 4 – Produto Soulcoco em sua apresentação pública



Fonte: Serpa (2024).

O material de fibras de coco, de ambos os produtos, foi preparado com auxílio de uma máquina forrageira. Foi feita a trituração do material coletado e o material foi armazenado em caixas plásticas para facilitar o transporte, as quais foram pesadas e transportadas para área de plantas dos tratamentos como mencionado anteriormente (Figura 5). Todo o material foi pesado e levado à área do experimento (Figura 6).

Figura 5 – Processo da coleta do material: A - Coleta de casca (T2); B - Coleta de casca e endocarpo (T3); C - triturador; D - material do tratamento 2 triturado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Pesagem das fibras de coco utilizadas nos tratamentos



Fonte: Elaborado pelo autor.

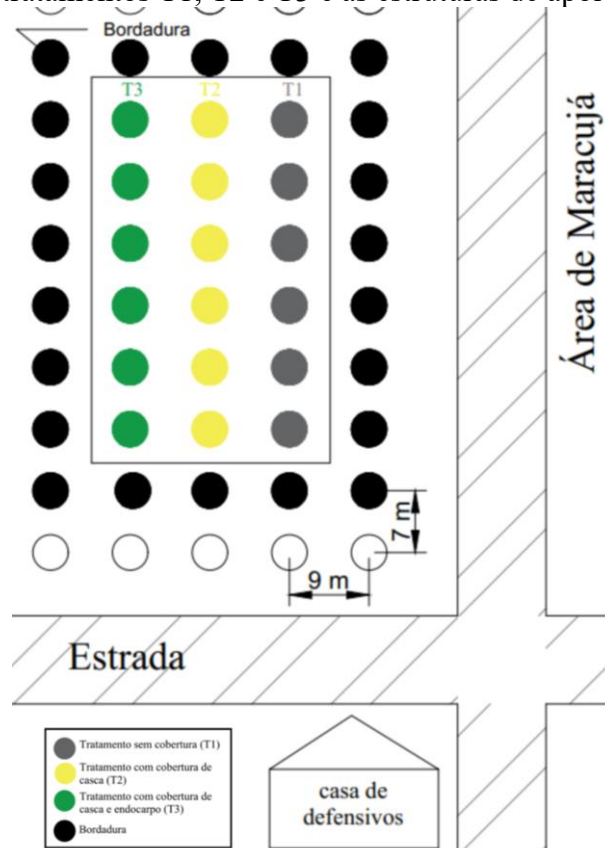
### 3.3 Instalação do experimento

O experimento foi instalado na fazenda, dentro de uma das áreas de pomar de coco e as amostras de solo coletadas foram transportadas até Fortaleza, onde foram feitas as análises de Curva de Retenção de Água e calibração dos sensores antes de irem a campo.

O trabalho foi dividido em coleta de amostras indeformadas de solo, na região de desenvolvimento em um raio de 1,0 m da base do coqueiro, onde possui maior predominância do sistema radicular e em profundidades de 0 – 20cm e 20 – 40cm. E em obtenção do material de fibras de coco verde de diferentes produtos da Fazenda Grageiro - CE, como Mycoco e Soulcoco.

Durante os primeiros meses foi feita a escolha do local no qual foi feita a adição do material com casca de coco, em 25 de outubro de 2025, e análise de umidade. O local possui 141m<sup>2</sup> e pode ser visualizado na representação do croqui na Figura 7. Dentro desse tempo, foi feita a coleta de amostras de coco de cada tratamento e preparo das plantas, sendo realizados os desbastes de folhas mais velhas e baixas, retirada de plantas daninhas e verificação dos microaspersores.

Figura 7 – Croqui do delineamento experimental em campo, destacando a distribuição dos tratamentos T1, T2 e T3 e as estruturas de apoio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No experimento foram analisados 3 tratamentos sendo eles: T1- sem cobertura, T2- casca do coco, T3- cascas e endocarpo do coco. Foram aplicados 50kg de casca, *in natura*, triturada por planta, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Esquema dos tratamentos no momento da aplicação e disposição dos resíduos na sub-copa dos coqueiros



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 Coleta e preparo das amostras

As coletas foram realizadas no período de 8 a 25 de outubro de 2025, a uma camada de até 40 cm de profundidade. A amostragem do solo foi precedida pela limpeza da superfície e foram utilizadas amostrador tipo Uhland, martelo, faca para corte de raízes, pano para limpeza, saco plástico, caneta para identificação, régua e tesoura (Figura 9).

Figura 9 – Esquema de coletas de amostras indeformadas de solo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi utilizado um cilindro de PVC (DN 100) para retirada de amostras indeformadas de solo para calibração dos sensores, como mostra a Figura 10. O tubo foi cravado no solo com ajuda de um martelo e um pedaço de madeira, retirando-se com cuidado para que a amostra fosse coletada íntegra. Também, como as amostras do Uhland, foi feito o corte das raízes externas (RABELO et al, 2024). As amostras indeformadas de solo foram usadas para a realização das análises de Curva de Retenção de Água. Ao todo foram coletadas 6 amostras da área do experimento, sendo 2 amostras para tratamento. As amostras do tratamento sem cobertura foram coletadas no dia 8 de outubro de 2025, e dos tratamentos T2 e T3 em 18 de novembro de 2025.

Figura 10 – Coleta das amostras indeformadas com tubos de PVC (DN100) para análise da acurácia dos sensores de temperatura e umidade do solo sob condições de laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.5 Calibração dos sensores de temperatura e umidade do solo

A calibração se deu no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará, utilizando os sensores de umidade (ECH<sub>2</sub>O EC-5). Foram coletadas 3 amostras indeformadas da área em que o experimento foi instalado em profundidade de 12 cm, a fim de preservar a estrutura do solo.

Os sensores foram instalados na superfície das amostras e foram feitas as leituras diretamente com o equipamento de armazenamento de dados HOBO e que foram armazenadas através do programa HOBOWare. O Teste iniciou com as amostras saturadas e foi realizada uma leitura após 40 min em estufa para diminuição do teor de água, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Calibração dos sensores de umidade do solo sob condições de laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor.

A umidade do solo foi medida por gravimetria: pesou-se a amostra úmida, secou-se em estufa a 105 °C por 24 horas, pesou-se novamente a amostra seca e calculou-se a umidade gravimétrica.

A densidade foi determinada por meio do método de ALMEIDA et al. (2017) em que se utiliza o volume e peso da amostra, conhecido como densidade absoluta. Primeiro, obtém-se o volume da amostra, que pode ser determinado de várias maneiras dependendo da geometria da amostra.

### 3.6 Análises laboratoriais

Para compreender e manejar essa problemática de forma científica, a Curva de Retenção de Água no Solo é uma ferramenta indispensável. Ela expressa a relação funcional entre o conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) e o potencial mátrico ( $\Psi_m$ ), a força com que a água está retida (RICHARDS, 1965). A análise da CRA é crucial para solos arenosos, pois permite: 1) quantificar precisamente a água disponível para a planta; 2) refletir a distribuição de poros e a rápida liberação de água em baixas tensões, característica desses solos; e 3) fornecer os parâmetros fundamentais (como PMP e CC) para a calibração de modelos de irrigação e a definição de lâminas e frequências ideais de aplicação. A determinação desses parâmetros, frequentemente realizada por métodos como a Câmara de Pressão de Richards e ajustada por modelos como o de Van Genuchten (1980), é a base para transformar o manejo hídrico em solos de baixa retenção de uma arte empírica em uma ciência precisa.

A Câmara de Richards é uma técnica clássica e amplamente utilizada para determinar curvas de retenção de água no solo e, conseqüentemente, obter dados de conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) em diferentes potenciais mátricos ( $\Psi_m$ ). O método envolve a aplicação de pressão de gás (ou água) sobre uma amostra de solo contida em uma câmara, promovendo a retirada de água sob condições controladas. O solo é saturado previamente e, em seguida, colocado na câmara de Richards. Uma pressão conhecida é aplicada para extrair água do poro do solo. O volume de água removido é registrado em função da pressão aplicada, permitindo estimar o conteúdo de água remanescente ( $\theta$ ) para cada nível de  $\Psi_m$ . Ao variar a tensão exercida e medir a água removida, é possível traçar a relação entre  $\theta$  e  $\Psi_m$ , ou seja, a relação entre o conteúdo de água do solo e o potencial mátrico. A curva resultante entre  $\theta$  e  $\Psi_m$  constitui

a Curva de Retenção de Água no Solo, que é fundamental para caracterizar a capacidade de retenção do solo e para calibrar modelos de irrigação.

Normalmente o espaço poroso do solo no campo é ocupado por quantidades variáveis de uma solução aquosa ou água no solo e de uma solução gasosa ou ar no solo; o solo nesta situação é chamado de solo não saturado. O solo com o seu espaço poroso totalmente cheio de água é chamado de solo saturado (LIBARDI, 2010).

As análises realizadas em laboratório foram concernentes aos parâmetros físicos-hídricos: Conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) densidade do solo-substrato ( $D_s$ ), Umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (Figura 12). Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará, coordenado pelo Dr. Prof. Jaedson Cláudio Anunciato Mota e pertencente ao Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias (CCA) – UFC com o auxílio de Francisco José da Silva, responsável pela logística do laboratório.

Figura 12 – Mesa de tensão para determinação da retenção de água no solo em diferentes tensões.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.6.1 Conteúdo de água no solo ( $\theta$ )

Conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) é a fração volumétrica de água presente no volume de solo, ou seja, a razão entre o volume de água contido no solo e o volume total de solo considerado, geralmente expressa em  $\text{cm}^3$  de água por  $\text{cm}^3$  de solo ou  $\text{m}^3/\text{m}^3$ , a depender do formato de obtenção da amostra.

Valores baixos de  $\theta$  indicam déficit hídrico, enquanto valores elevados, próximos da saturação, podem favorecer percolação, anaerobiose e perdas de nutrientes. Assim, o

conhecimento de  $\theta$  é essencial para o manejo da irrigação, pois orienta a definição de lâminas de água, intervalos e políticas de manejo em diferentes culturas e regimes climáticos.

### **3.6.2 Potencial mátrico ( $\Psi_m$ )**

Segundo de JONG VAN LIER (2020) o potencial matricial se refere à energia da água em função da sua adesão aos sólidos que formam a matriz do solo. Em solos,  $\Psi_m$  é relevante para entender a disponibilidade de água para as plantas, pois influencia a direção e a magnitude do fluxo hídrico entre a fase sólida, a solução do solo e a atmosfera.

Assim, a compreensão de  $\Psi_m$  é crucial para a avaliação da disponibilidade hídrica das plantas, a osmose em solos salinos e o movimento de água na matriz, sob influência de fatores como temperatura e composição química do meio.

### **3.6.3 Análise de Curva de Retenção de Água**

A curva de retenção de água no solo foi determinada utilizando-se a metodologia da câmara de pressão de Richards, seguindo os procedimentos detalhados por Andrade Júnior et al. (2007). De acordo com o folder técnico da Embrapa, o preparo das amostras e os pontos de tensão aplicados buscaram simular as condições de campo necessárias para a caracterização hidrológica (JÚNIOR ET AL., 2007).

O regime de retenção hídrica do solo foi caracterizado pela determinação da Curva de Retenção de Água, um procedimento realizado com base na metodologia técnica de Júnior et al. (2007). A técnica central empregada foi Mesa de Tensão e Câmara de Richards, que utilizou as pressões já mencionadas anteriormente que são controladas para simular a energia com que a matriz do solo segura a água.

O processo iniciou-se com a coleta de amostras de solo em cilindros indeformados, essenciais para manter a integridade da amostra e da porosidade. Essas amostras foram submetidas à saturação completa por capilaridade para preencher todos os vazios com água. Posteriormente, elas foram acondicionadas na primeira na Mesa de Tensão e depois na câmara de Richards sobre membranas porosas e expostas a uma série de incrementos de tensão, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Saturação das amostras e na câmara de Richards



Fonte: Elaborado pelo autor.

A aplicação dessas pressões sucessivas permitiu a drenagem da água livre até que o equilíbrio hídrico fosse alcançado em cada potencial mátrico testado. Os potenciais selecionados foram estrategicamente escolhidos para mapear pontos cruciais do comportamento hídrico, como o equivalente à Capacidade de Campo e o Ponto de Murcha Permanente.

Em cada potencial, a umidade retida foi quantificada. Essa determinação foi feita pela pesagem das amostras úmidas após o equilíbrio, seguida pela secagem em estufa a 105°C por 24 horas para obtenção do peso de Solo seco (Mss). O pano e a ligas foram retiradas para que não houvesse a queima dentro da estufa e foram pesadas. Após a amostra seca foi feita a pesagem do cilindro com solo e posteriormente a pesagem do cilindro para que fosse descontado do valor do peso da amostra após a aplicação das tensões, para que assim obtivesse o valor de umidade da amostra. Os dados de massa podem ser convertidos tanto em unidade de massa (g/g) como unidade volumétrica ( $m^3 \cdot m^{-3}$ ). O pareamento desses valores de umidade com suas respectivas tensões originou a Curva de Retenção, que foi então ajustada a um modelo matemático de Van Genuchten.

#### **3.6.4 Determinação da densidade do solo ( $D_s$ )**

A densidade do solo foi medida utilizando o método do anel volumétrico. O protocolo de coleta e preparo das amostras indeformadas, a secagem em estufa a 105 °C e o cálculo da densidade foram rigorosamente seguidos de acordo com o Capítulo 7 do Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (ALMEIDA ET AL., 2017). O procedimento para o cálculo da densidade baseia-se na razão entre a massa de solo seco (Mss) e o volume total

interno do cilindro ( $V_t$ ) que contém a amostra, sendo a fórmula representada da seguinte Equação 1:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_t} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:  $D_s$ = densidade do solo ( $\text{g. cm}^{-3}$ );  $M_{ss}$ = massa do solo seco (g);  $V_t$  = volume total do cilindro ( $\text{cm}^3$ )

### 3.6.5 *Determinação de umidade (U)*

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, conforme as diretrizes para a caracterização hídrica do solo sugeridas por Júnior et al. (2007). A umidade é dada seguindo a equação 2 a seguir:

$$U = M \frac{S_u - MS_s}{MS_s} \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:  $U$  - conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em g g<sup>-1</sup>.  $MS_u$  – massa da amostra úmida, em g.  $MS_s$  – massa da amostra seca a 105 °C, em g.

### 3.6.6 *Determinação de Armazenamento de água disponível (ADS)*

A escolha desta equação justifica-se pela necessidade de monitorar a dinâmica da água disponível em solos de textura arenosa sob cultivo de coqueiro-anão, onde a aplicação de condicionadores ou coberturas orgânicas visa aumentar a capacidade de armazenamento hídrico na zona radicular

O armazenamento diário de água disponível (ADS) no perfil do solo foi estimado seguindo a metodologia proposta por Oliveira et al. (2024), que calcula o conteúdo de água compreendido entre a umidade atual e o ponto de murcha permanente, conforme a Equação 3:

$$ADS = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot z \quad \text{Eq.(3)}$$

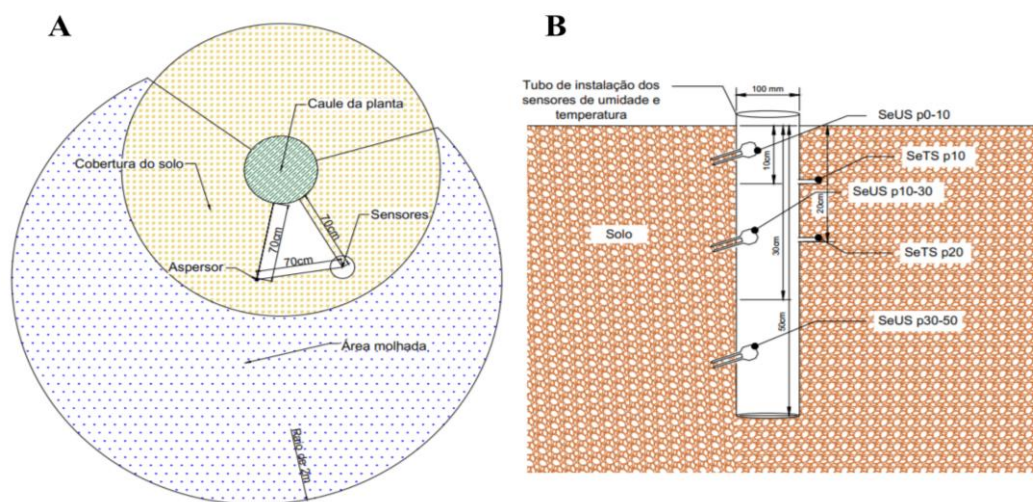
Em que: ADS é o armazenamento diário de água disponível no solo (mm);  $\theta_{cc}$  é a umidade atual do solo ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ );  $\theta_{pmp}$  é a umidade no ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ );  $z$  é a profundidade da camada de solo considerada (mm).

### 3.7 Instalação dos sensores de umidade, temperatura e datalogger

Sensores de umidade foram instalados para monitorar o comportamento da água no solo durante o ciclo de irrigação e para determinar a curva de depleção da umidade. As medições foram realizadas em intervalos de dez minutos, com a umidade registrada em volume/volume ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ). Os sensores foram instalados no experimento após serem preparadas todas as plantas e calibração dos sensores.

A instalação foi feita com auxílio de um cavador articulado e um cano de 50 cm de diâmetro e 55cm de altura, com fendas intercaladas em intervalos de 0 – 10 cm, 10 cm – 30cm e 30cm – 50cm, com intuito de observar melhor a variação temporal de umidade, para instalação dos sensores de umidade e perfurações em 10 cm e 20 cm de profundidade para colocar os sensores de temperatura (Figura 14B). Para serem colocados os sensores na forma em que o fabricante aconselha (inclinado) e com distanciamento triangular do sensor, planta e aspersor, de 70 cm – 70 cm – 70 cm, como mostra a Figura 14A, sendo medido com uma trena. Para que a água do aspersor não entrasse por dentro do cano e viesse causar alguma alteração nos valores de umidade, foi colocado fita adesiva, como mostra a Figura 15.

Figura 14 – Representação esquemática: A- Visão de cima, B - Visão horizontal dos sensores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 – Sensores de umidade instalados no experimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todo equipamento foi fixado no solo através de uma estrutura feita na oficina da fazenda (Figura 16), esses sensores monitoram a umidade continuamente e apresenta dispositivo de armazenamento (*datalogger*) que apresenta data, hora e valores a cada intervalo (Figura 17). O sensor foi obtido através do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA/UFC. O sistema de irrigação permanece ligado por 6 horas de 10 horas às 16 horas, sendo analisado a vazão do aspersor de cada planta por uma média de 3 repetições de 15 segundos, que posteriormente seria extrapolado para o horário de irrigação.

Figura 16 – Estrutura feita para fixação do datalogger



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Instalação e coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação da umidade do solo em diferentes tensões

Os resultados de umidade indicam que o tipo de cobertura do solo e a profundidade influenciam de modo direto a capacidade de retenção hídrica, corroborando a literatura que destaca a importância da permanência de resíduos superficiais para a estrutura física do solo (Braga et al., 2015). Observou-se que a amostra sem cobertura apresentou os maiores valores de umidade saturada na profundidade de 20-40cm (tensão de 2 kPa), com teores de  $0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  que pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Umidade do solo em função das tensões aplicadas nas diferentes profundidades.

Tratamentos	Camada (cm)	Tensão (kpa)						
		2	6	10 (CC*)	33	100	500	1500 (PMP*)
Sem Cobertura	0-20	0,365	0,209	0,175	0,146	0,140	0,138	0,1380
	20-40	0,422	0,151	0,121	0,114	0,110	0,111	0,110
Cobertura com casca	0-20	0,394	0,286	0,252	0,210	0,208	0,188	0,1860
	20-40	0,330	0,158	0,131	0,094	0,093	0,080	0,0701
Cobertura Casca + Endocarpo	0-20	0,337	0,211	0,177	0,142	0,133	0,130	0,1292
	20-40	0,394	0,286	0,127	0,111	0,11	0,11	0,1860

CC\*= Capacidade de Campo; PMP\*= Ponto de Murcha Permanente.

Entretanto, essa amostra apresentou queda acentuada na retenção, conforme o acréscimo da tensão, o que sugere a predominância de macroporos que drenam rapidamente. Em contraste, os tratamentos com cobertura (Casca e Casca + Endocarpo) exibiram curvas de perda de água mais suaves, indicando maior resistência à perda de água.

Destaca-se que a amostra com cobertura com apenas casca triturada (T2), na profundidade de 20–40 cm, manteve teores de umidade mais elevados em tensões elevadas (aproximadamente  $0,1860 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a 1500 kPa) em comparação com os demais tratamentos. Isso

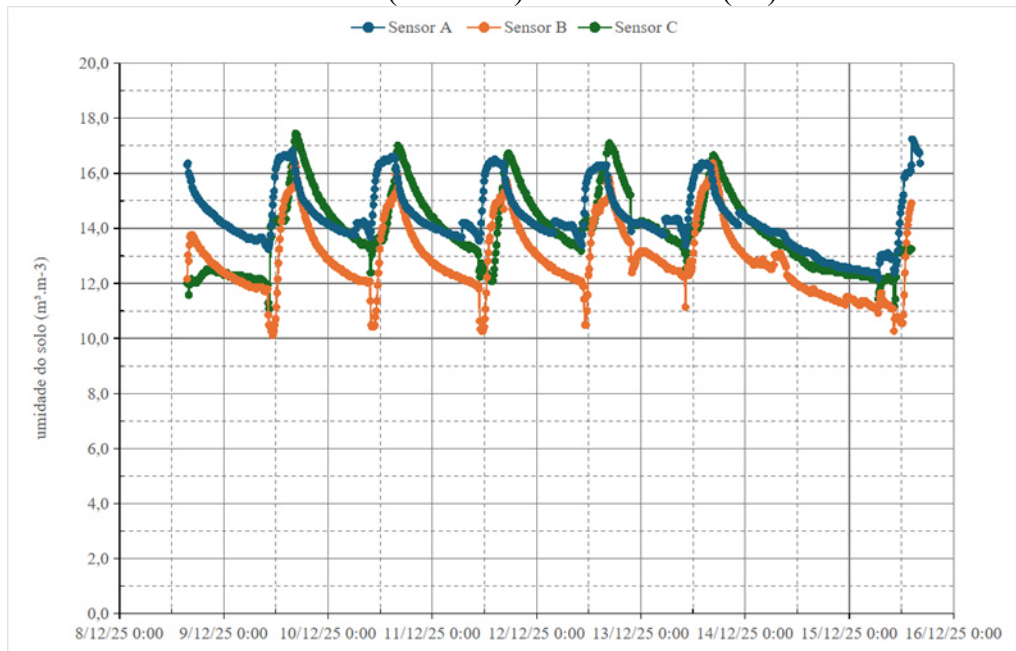
sugere que a proteção do solo favorece a preservação de microporos e a constituição de agregados estáveis que retêm água, aspecto essencial para a disponibilidade hídrica em períodos de déficit, conforme discutido na literatura de referência

## **4.2 Avaliação da umidade do solo sob diferentes coberturas**

A análise do balanço hídrico do solo sob o cultivo de coqueiro revela variações significativas conforme o tipo de cobertura utilizado. No tratamento testemunha (T1: SEM COBERTURA), a ausência de barreira física resultou em maior instabilidade hídrica em todo o perfil monitorado (0 – 50 cm). Segundo Oliveira et al. (2005), solos sem cobertura apresentam as maiores amplitudes de variação térmica e os menores valores de umidade, uma vez que a radiação solar incide diretamente sobre a superfície, elevando a temperatura e acelerando a evaporação da água armazenada. Esta maior exposição da superfície facilita a perda de água, especialmente nas camadas superficiais, onde a temperatura do solo pode superar a temperatura ambiente, a depender da incidência solar, intensificando o ressecamento (Figura 18). Os tratamentos que utilizaram resíduos de coco (T2 e T3) demonstraram uma capacidade superior de retenção hídrica, em comparação com o tratamento sem cobertura (T1). A presença da cobertura vegetal ou de resíduos culturais atua na interceptação dos raios solares, criando um microclima que atua na redução das ondas térmicas e atenua a temperatura do solo. No tratamento T2, a casca de coco funcionou como um regulador hídrico, mantendo a umidade mais estável nas profundidades de 10 – 50 cm (Sensores B e C) ao decorrer do dia, conseguindo assim armazenar água e com um teor de umidade bem expressivo. Este comportamento é corroborado por Oliveira et al. (2005), que afirmam que a cobertura dificulta o fluxo do vento na superfície e reduz a renovação da massa gasosa, minimizando o ressecamento do solo, como mostra a Figura 19. O tratamento sem cobertura (T1) obteve uma máxima no entorno de  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  e uma mínima de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ , que se comparada ao tratamento com casca (T2) teve uma similaridade em suas máximas e mínimas, se diferenciando no tempo de retenção ao longo do dia, com quedas abruptas do T1. Já o tratamento T3 teve uma máxima muito expressiva de aproximadamente  $21 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  e uma mínima de  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ , sendo esse com variação bem mais sinuosa ao longo do tempo, mostrando uma retenção de umidade maior. O tratamento T3 (Casca e endocarpo), que integra a casca ao endocarpo, apresentou os melhores índices de conservação

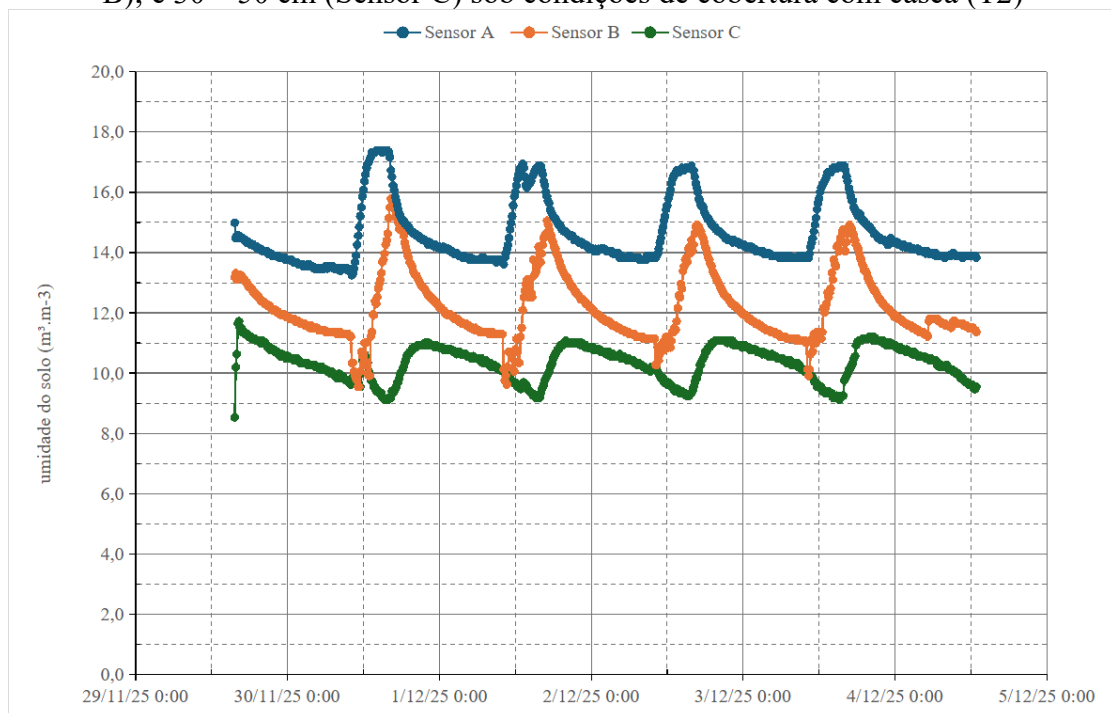
de umidade em todas as profundidades avaliadas (Sensores A, B e C). A densidade desta cobertura oferece uma proteção ainda mais robusta contra a insolação direta (Figura 20).

Figura 18 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30cm (Sensor B); e 30-50cm (Sensor C) sem cobertura (T1).



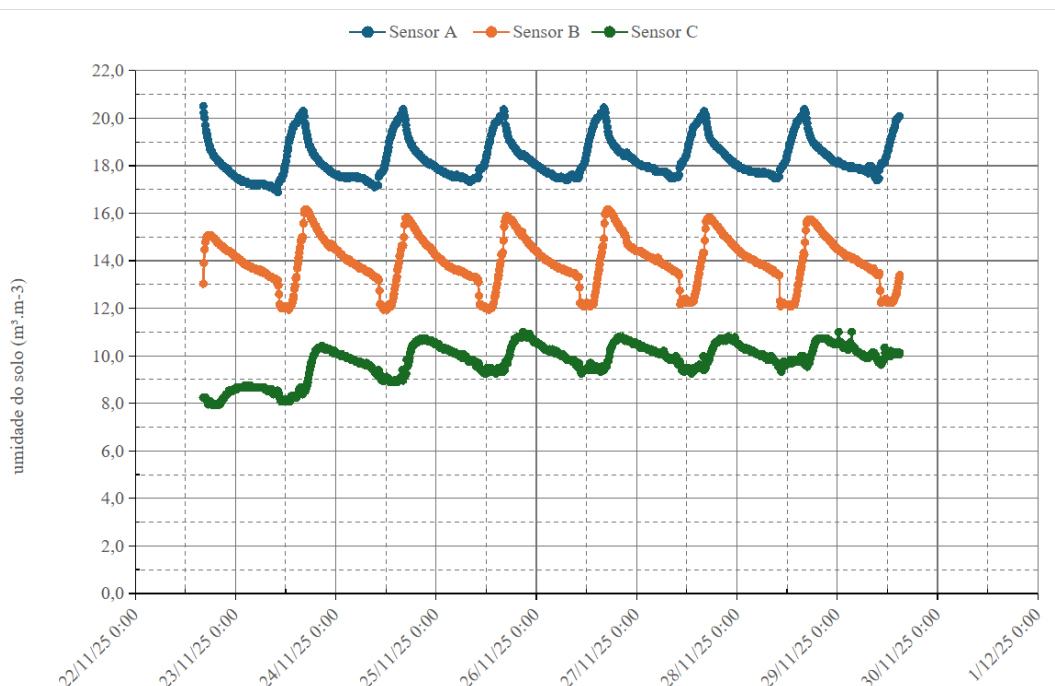
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) sob condições de cobertura com casca (T2)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Umidade do solo nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) sob condições de cobertura com casca e endocarpo (T3).



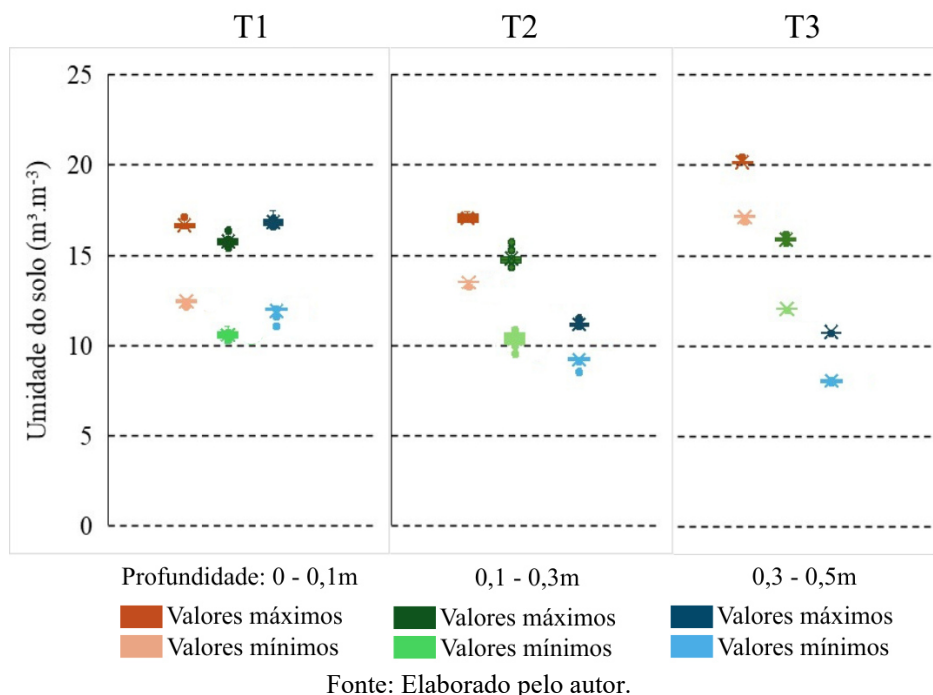
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos através da manipulação e tratamento de dados no Microsoft Excel revelam que a dinâmica da água no perfil do solo é diretamente influenciada pela profundidade de instalação dos sensores. Ao comparar os três tratamentos (T1, T2 e T3), observa-se que a camada superficial (0 -10 cm), representada pelo tratamento T1, com a umidade variando em uma janela estreita, mantendo máximos próximos a  $17 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ .

O tratamento T2, apresentando valores máximos similares a T1, porém com uma queda mais perceptível nos valores mínimos, aproximando-se de  $10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ .

Em comparação ao T3, que obteve para o Sensor A, localizado na camada superficial (0-20cm), observou-se uma umidade máxima na saturação de aproximadamente  $20 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , cerca de 11% a mais que os outros tratamentos. Este valor decaiu para um mínimo de  $17 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , como mostra a Figura 21. No Sensor B (10-30 cm), que compreende a zona de transição, os valores de umidade máxima situam-se entre  $16 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , enquanto a umidade mínima variou entre  $13 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , uma queda de aproximadamente  $4 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ . Já na profundidade de 30-50 cm, os valores indicam uma máxima de  $11 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$  e mínima de  $8 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , podendo ser indício de que a água nas profundidades mais rasas está ajudando para que a umidade não chegue a obter os mesmos valores, indicando que a umidade é menor à medida que a profundidade aumenta.

Figura 21 – Umidade do solo máxima e mínima nas profundidades 0 – 10 cm (Sensor A); 10 – 30 cm (Sensor B); e 30 – 50 cm (Sensor C) dos tratamentos Sem cobertura (T1), Cobertura com casca (T2) e Cobertura com casca e endocarpo (T3).



### 4.3 Análise de Temperatura do solo

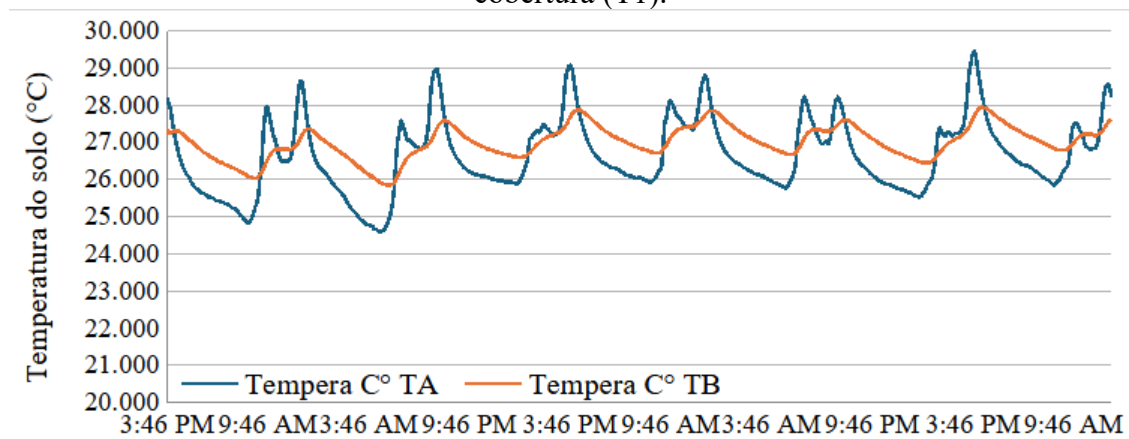
No que tange à umidade do solo, observa-se que as coberturas com coco promovem maior retenção de água na camada superficial (0–10 cm) e reduzem as perdas por evaporação, mantendo a umidade ao longo do perfil monitorado (até ~50 cm) de forma mais estável; a Tabela 1 e as Figuras associadas indicam menor variação de umidade sob tensões de 2 a 10 kPa em T1, ao passo que T2 e, principalmente, T3 apresentam teores de água mais elevados sob tensões altas (1000–1500 kPa) na camada de 20–50 cm, sugerindo maior conservação de micro porosidade e agregados estáveis (Montenegro et al., 2020; Gomes et al., 2023; Nunes, 2021). A diferença entre T2 e T3 permanece, com T3 apresentando melhor desempenho de retenção de água, o que aponta para o benefício adicional proporcionado pelo maior teor de material (Endocarpo) na cobertura com casca e endocarpo ao reduzir a evaporação.

A presença de cobertura com resíduos de coco, especialmente a com cobertura de casca e endocarpo (T3), reduziu as oscilações de temperatura na camada superficial do solo (0–20 cm) em comparação com o tratamento sem cobertura (T1), conforme observado nas Figuras 22 a 23, o que indica efeito isolante térmico da cobertura orgânica e atenuação do ganho de calor solar na superfície; esse comportamento estende-se até a camada de 20–50 cm, ainda que

com intensidade menor, corroborando a hipótese de que a cobertura influencia o gradiente de temperatura do solo ao longo do perfil (Oliveira et al., 2005; Medeiros et al., 2022). Em outros trabalhos, coberturas orgânicas atuam como barreiras térmicas que modulam a radiação incidente sobre o solo e reduzem a volatilização de água, promovendo um microclima rizosférico menos extremo e, conseqüentemente, menor estresse térmico nas raízes superficiais e na microbiota associada, especialmente em cenários de clima seco ou semiárido (Nunes, 2021; Montenegro et al., 2020).

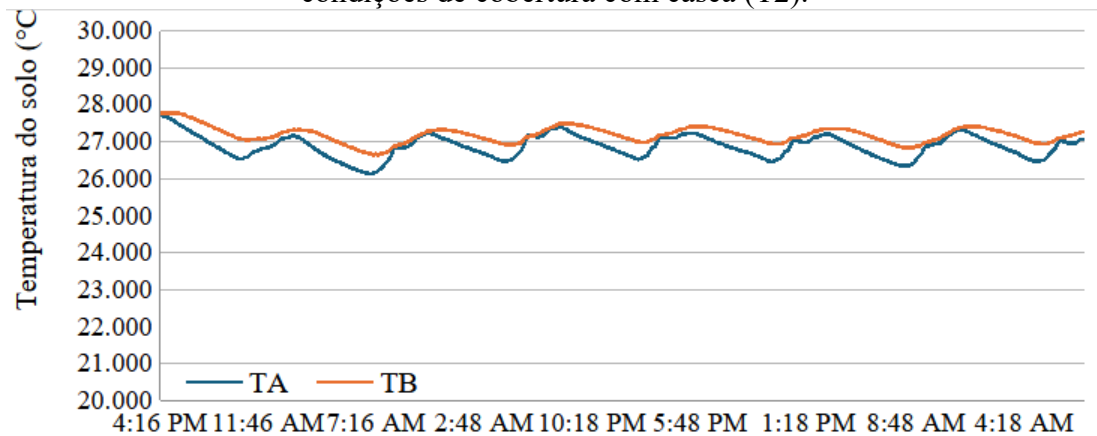
Em termos práticos, esses padrões combinados indicam que a adoção de coberturas de coco, especialmente do Tratamento 3, pode reduzir a necessidade de irrigação durante determinados períodos, além de favorecer condições fisiológicas mais favoráveis à planta ao manter a raiz superficial menos sujeita a flutuações extremas de temperatura e disponibilidade hídrica (Fernandes et al., 2015; Miranda et al., 2019). Contudo, ressalta-se que os resultados se referem a uma configuração experimental específica e devem ser validados em diferentes solos, climas e manejos, para ampliar a generalização das conclusões apresentadas.

Figura 22 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sem cobertura (T1).



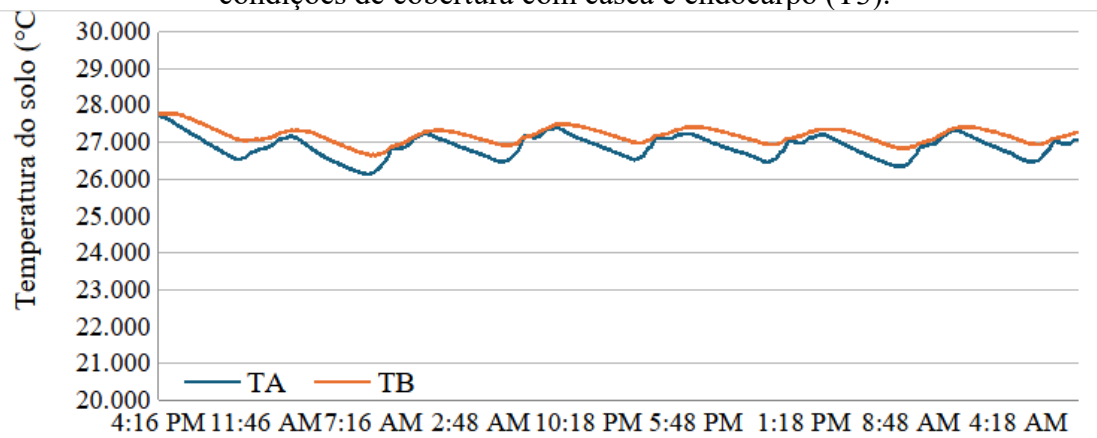
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 23 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sob condições de cobertura com casca (T2).



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 24 - Temperatura do solo nas profundidades 0 – 20 cm (TA) e 20 – 40 cm (TB) sob condições de cobertura com casca e endocarpo (T3).



Fonte: elaborada pelo autor.

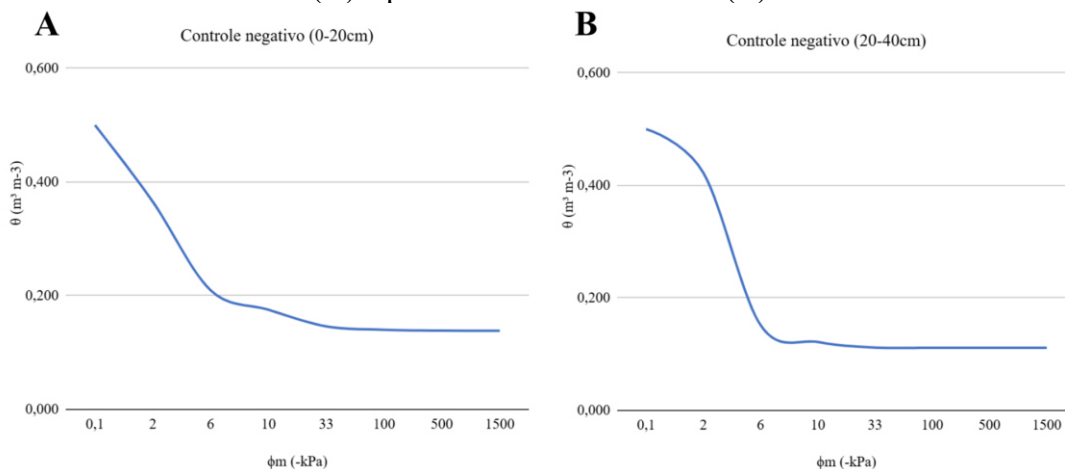
#### 4.4 Análise de Curva de Retenção de Solo

A caracterização do comportamento hídrico do solo nos diferentes tratamentos foi realizada por meio da Curva de Retenção de Água, a qual representa a relação fundamental entre o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) e a energia com que esta é retida, expressa pelo potencial matricial ( $\Psi_m$ ). Segundo Van Lier (2020), a forma desta curva está intrinsecamente ligada à distribuição do tamanho de poros e à estrutura do solo, sendo essencial para definir a disponibilidade de água para as plantas.

Observando os resultados obtidos, nota-se que todos os tratamentos apresentam um comportamento característico de esvaziamento progressivo da porosidade à medida que a tensão aumenta. Inicialmente, no estado de saturação, onde o potencial matricial é nulo, todos os poros estão preenchidos, porém, com o incremento das tensões entre 0,1 e 10 kPa, ocorre uma redução acentuada da umidade. Este fenômeno indica a drenagem dos macroporos, que são os primeiros a serem esvaziados por oferecerem menor resistência capilar.

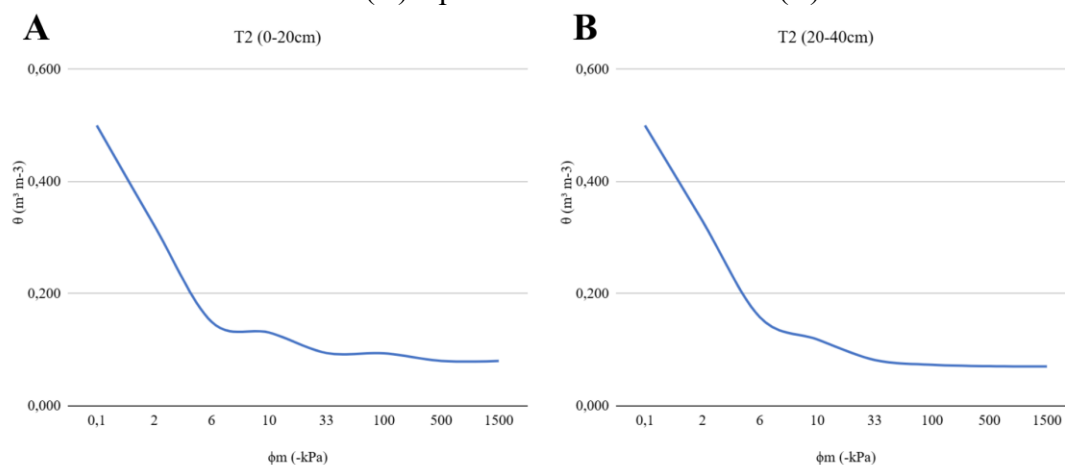
No entanto, a análise comparativa entre os tratamentos revela distinções significativas, especialmente no tratamento com cobertura de casca e endocarpo (T3) - Figura 25 - em relação ao sem cobertura (T1) - Figura 26 - e ao tratamento com cobertura com casca (T2) - Figura 26. Enquanto os controles apresentam quedas mais bruscas e atingem teores de umidade residual mais baixos — chegando a valores próximos de 0,11 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> no potencial de 1500 kPa na profundidade de 20-40 cm —, o tratamento T3 demonstra uma capacidade superior de retenção hídrica, como mostra a Figura 27. Especificamente na profundidade de 20-40 cm, o tratamento com casca e endocarpo mantém uma umidade de aproximadamente 0,19 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> no Ponto de Murcha Permanente, indicando que a aplicação deste produto pode ter alterado a matriz do solo de forma a conservar um maior volume de água sob altas tensões.

Figura 25 – Curva de Retenção de Água Sem cobertura (T1) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B).



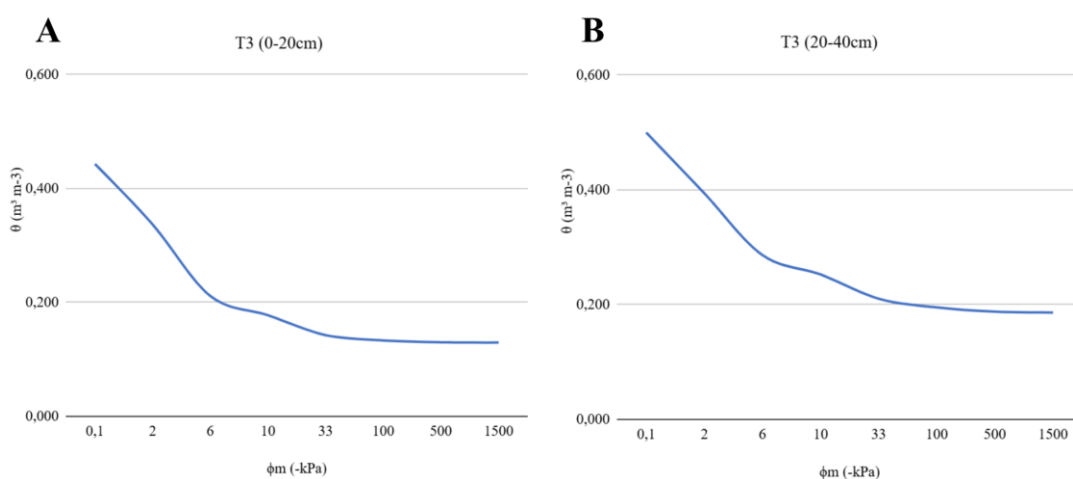
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 26 – Curva de Retenção de Água com cobertura de Casca (T2) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B).



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 27 – Curva de Retenção de Água com cobertura com Casca e Endocarpo (T3) com profundidade de 0-20cm (A) e profundidade de 20-40cm (B).



Fonte: elaborada pelo autor.

Nas camadas monitoradas pelos sensores A (0–10 cm) e B (10–30 cm), o uso da cobertura com resíduos de coco atuou como um regulador da evaporação. Em contraste, nos tratamentos com solo descoberto, a perda hídrica acelerada pode levar a planta a atingir potenciais mátricos mais negativos em intervalos curtos, reduzindo a eficiência do manejo da irrigação.

Os resultados obtidos para o Armazenamento Diário de Água Disponível (ADS), calculados conforme a metodologia de Oliveira et al. (2024) utilizando os resultados através dados ajustados pelo modelo de Van Genuchten (1980), evidenciam o contraste na retenção hídrica entre as diferentes condições de manejo do solo. No tratamento correspondente ao Solo Nu (T1), a umidade volumétrica atual registrou  $0,1213 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , valor que se encontra criticamente próximo ao ponto de murcha permanente de  $0,1110 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , para segunda camada de profundidade de 200 mm (20-40 cm). Esta proximidade resultou em um ADS de apenas 2,06 mm, indicando que a ausência de cobertura expõe o solo a uma perda acelerada de água por evaporação, reduzindo drasticamente a reserva útil para o coqueiro-anão, conforme a Tabela 2.

Por outro lado, nos tratamentos que utilizaram resíduos da cococultura como cobertura (T2/T3), a umidade volumétrica elevou-se para  $0,2524 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , proporcionando um armazenamento de 13,28mm acima do ponto de murcha de  $0,1292 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ . Embora este valor de umidade supere a capacidade de campo estabelecida  $0,1860 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ , e uma maior retenção na segunda profundidade de 6,12mm, caracterizando momentaneamente água gravitacional, a presença da fibra de coco atua como uma barreira física e isolante térmica que prolonga a disponibilidade hídrica no perfil de 0-20 cm.

Tabela 2 – Armazenamento Diário de Água Disponível (ADS) no perfil de 0-20 cm e 20-40 cm para diferentes tratamentos de cobertura do solo.

Tratamento	Umidade na Capacidade de Campo ( $\theta_{cc}$ ) ( $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ )	Umidade no Ponto de Murcha Permanente ( $\theta_{pmp}$ ) ( $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ )	Profundidade e (z) (mm)	ADS (mm)
T1	0,1751	0,1380		7,42
T2	0,2524	0,1860	200	13,28
T3	0,177	0,1292		9,56
T1	0,1213	0,1110		2,06
T2	0,1306	0,10	200	6,12
T3	0,1269	0,1096		3,46

Fonte: elaborada pelo autor.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados evidenciaram que o tratamento sem cobertura (T1) é o mais vulnerável às variações ambientais, apresentando os menores índices de umidade e as maiores amplitudes térmicas, o que acelera a evaporação e compromete a reserva hídrica nas camadas superficiais. Em contrapartida, os tratamentos T2 e T3 demonstraram ser alternativas eficazes de manejo, atuando como isolantes térmicos que atenuam a radiação solar direta e suavizam as oscilações de temperatura. Assim, o tratamento 2 e 3 obteve melhores resultados com um armazenamento bem mais admissíveis, ressaltando que, o tratamento 3 obteve melhores resultados na conservação de umidade favorável em campo, além de temperaturas menores em suas diferentes profundidades.

## 6 REFERÊNCIAS

ABDELGELIL, A. A. et al. Enhancement of sandy soil water retention using superabsorbent carboxymethyl cellulose grafted with polyacrylamide and polyacrylamidomethyl propanesulfonic acid copolymer. *Scientific Reports*, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-94490-4.

ABDEL-MOTALEB, M. A.; ABDEL-HADY, E. S.; ZAGHLOUL, A. K.; GHANY, G. B. A.; SHETA, M. H. Impact of Bentonite, Biochar and Compost on Physical and Hydro-Physical Properties of a Sandy Soil. *Egyptian Journal of Soil Science*, v. 65, n. 1, p. 401–412, 2025. Disponível em: [http://ejss.journals.ekb.eg/article\\_403845\\_1171aeeb7fcc20bbf7b3f7b1ccf3435b.pdf](http://ejss.journals.ekb.eg/article_403845_1171aeeb7fcc20bbf7b3f7b1ccf3435b.pdf).

ALESSANDRO, Costa da Silva. Reaproveitamento da casca de coco verde. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, v. 13, n. 5, p. 4077–4086, 2014. DOI: 10.5902/2236130815186.

ALGHAMDI, A. G.; MAJRASHI, M. A.; IBRAHIM, H. M. Improving the Physical Properties and Water Retention of Sandy Soils by the Synergistic Utilization of Natural Clay Deposits and Wheat Straw. *Sustainability*, v. 16, n. 1, art. 46, 2023. DOI: 10.3390/su16010046.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; MASCHIO, R.; SILVA, E. M. da. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. (Folder). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/56415/1/curvaretencao.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

ASSIS, F. M. C. V. et al. Influência do substrato de pó de coco na lixiviação de água residuária. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 495–504, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/Fgjv8jhjcJh3mH3yPry8spH/>.

BARROS, T. H. S.; ULIANA, M. V.; COSTA, J. O.; FARIAS-RAMÍREZ, A. J.; ABREU JUNIOR, C. H. Como utilizar o ponto de inflexão da curva de retenção de água e os atributos físicos do solo para previsão da capacidade de campo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 54, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/78125>.

BENASSI, A. C. O cultivo do coqueiro-anão-verde. 2017. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2711/1/BRT-cultivodocoqueiroanao-benassi.pdf>.

CAMBOIM NETO, L. F. Distribuição de água e fertilizante no solo em coqueiral microirrigado. 1995. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal do Ceará.

CARVALHO, E. O. T. et al. Water productivity in irrigated coconut palms in humid tropical climate conditions in Eastern Brazilian Amazon. *Scientia Agricola*, 2024.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes

de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro-anão-verde. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1041–1051, 2009.

CIRCULAR TÉCNICA EMBRAPA. Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo. Embrapa, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486994/1/Circ21.pdf>.

CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista. Embrapa CPAC, 2020.

COSTABEL, C.; HILLER, S. Curvas de retenção de água [...] obtidas por ressonância magnética nuclear em baixo campo. In: *Anais da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*, 2025. Embrapa.

De JONG VAN LIER, Quirijn. Física do solo baseada em processos. Piracicaba: Edição do autor, 2020. 413 p. Il.

DIEGO, Bortolini. Propriedades hidráulicas do solo: curva de retenção, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Tese (Doutorado) – UDESC. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1476/Tese\\_Diego\\_Bortolini](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1476/Tese_Diego_Bortolini).

EMBRAPA. **Manejo da água de irrigação**. In: SILVA, A. C. B. et al. (Org.). **Irrigação e Fertirrigação no Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2012. cap. 5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/915574/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap5.pdf>. Acesso em: 8 out. 2025.

FALKER. O que são ponto de murcha permanente e capacidade de campo? 2011. Disponível em: <https://www.falker.com.br/base/article/AA-00281>.

FERNANDES, J. B. R. et al. Impacto causado pela seca sobre a produção de coco no perímetro irrigado de São Gonçalo Sousa-PB. *Cadernos de Agroecologia*, v. 10, n. 3, 2015.

FILGUEIRAS, R. et al. Modelos de curva de retenção de água no solo: comparação entre van Genuchten e modelo potencial. *Irriga*, n.d. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2396>.

FRIONI, T. et al. Soil incorporation of Superabsorbent Hydrogels to counteract water scarcity: Modelling tree physiological and biochemical response. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.223, 109775, 2025. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.109775.

GOMES, F. et al. Influence of coconut fiber on the microstructural, mechanical and hydraulic behavior of unsaturated compacted soil. *Soils and Rocks*, v. 46, n. 2, 2023.

GUIMARÃES, D. V. et al. Curvas de retenção de água [...] obtidas por RMN de baixo campo. In: *Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação de Solos*. Embrapa, 2025.

HERAWATI, A. et al. Chitosan-Graft-Poly(acrylic acid) Superabsorbent's Water Holding in Sandy Soils and Its Application in Agriculture. *Journal of Applied Polymers*, 2022.

JÚNIOR, A. S. de A.; BASTOS, E. A.; MASCHIO, R.; SILVA, E. M. da. **Determinação**

da curva de retenção de água no solo em laboratório. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 1 folder. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/56415/1/curvaretenciao.pdf>. Acesso em: 29 de novembro 2025.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Água no solo**. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 103-52, 2010.

MEDEIROS, M. B. C. L. et al. Fenologia do coqueiro irrigado em função de diferentes taxas de evapotranspiração. *Irriga*, v. 27, n. 1, p. 208–220, 2022.

MEDEIROS, M. B. C. L. Fisiologia e produção do coqueiro submetido à irrigação e fertirrigação no Nordeste Paraense. 2022. Tese (Doutorado) – UFRA.

MIRANDA, F. R.; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. *Irriga*, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019.

MIRANDA, F. R. et al. Manejo da irrigação do coqueiro-anão. Circular Técnica 025. Embrapa, 2005.

MONTENEGRO, A. A. A. et al. Evaluating mulch cover with coir dust [...] in semiarid environments. *Hydrology*, v. 7, n. 3, p. 61, 2020.

MOREIRA, C. G. et al. Efeito da irrigação com déficit hídrico sustentado sobre a produtividade do coqueiro anão verde. *Ciência Rural*, v. 52, n. 11, 2022.

NUNES, M. U. C. Fibra de coco na proteção do solo e recuperação de áreas degradadas. Embrapa, 2025.

OLIVEIRA, J. J. G.; GONDIM, R. S.; COSTA, R. N. T.; SILVA, J. P. Effect of Biochar on Dwarf Green Coconut Orchard Yield and Irrigation Water Productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 16, p. 2355-2366, 2024. DOI: 10.1080/00103624.2024.2359573.

OLIVEIRA, Milson L. de et al. **Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 535-539, 2005.

OMAR, H.; ALSHARAEH, E. Improving Water Retention in Sandy Soils with High-Performance Superabsorbents Hydrogel Polymer. *ACS Omega*, v. 9, n. 22, p. 23531–23541, 2024.

PARAHYBA, R. B. V. et al. Retenção de água em solos arenosos da Bacia do Tucano. In: *35º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Natal: SBSCS, 2015.

PONTES, J. S. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em cultivo de feijão caupi. Dissertação (Mestrado) – UFPE, 2002.

PORDEUS, G. O. Ecofisiologia de coqueiro anão verde sob diferentes condições. Dissertação (Mestrado) – UFCG, 2018.

RAMOS, M. R.; SOARES, R. Solos de textura arenosa: uma revisão acerca do uso e manejo

no Tocantins. *Revista Sapiência*, v. 14, n. 1, p. 1–22, 2025.

RABELO, D. R.; ARAÚJO, J. C. de; CAVALCANTE, A. A.; ALMEIDA, I. C. de S. Avaliação da erodibilidade (fator K) do solo em uma bacia hidrográfica semiárida. Margarida Penteado – *Revista de Geomorfologia*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-17, jun. 2024.

RUA, M. L. et al. Soil water evaporation in the cultivation of green dwarf coconut. *Revista Ambiente & Água*, v. 29, n. 12, 2025.

RODRIGUES, Luciano. Cidade do Litoral Oeste do Ceará é a maior produtora de coco do Brasil; saiba qual. *DIÁRIO DO NORDESTE/Verdes Mares*, 2024. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/cidade-do-litoral-oeste-do-ceara-e-a-maior-produtora-de-coco-do-brasil-saiba-qual-1.3567931>. Acesso em: 29 dez. 2025.

RODRIGUES, M. S. et al. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida. UNIVASF, 2015.

SANTOS, I. S. Proposta de redução de volume de água na irrigação localizada do coqueiro anão. Dissertação (Mestrado) – UFCG, 2015.

SERPA, Egidio. Embrapa cearense cria tecnologia para envasamento da água de coco. *Diário do Nordeste*, Fortaleza, 28 ago. 2024. Coluna Egidio Serpa. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/egidio-serpa/embrapa-cearense-cria-tecnologia-para-embalagem-da-agua-de-coco-1.3552103>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SILVA, A. A. G.; BARROS, A. H. C. Potencial climático para produção de coco nos tabuleiros costeiros do Nordeste. In: *20º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2017.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; OLIVEIRA, C. A. V.; MOITA, A. W. Parâmetros de solo em função da umidade na capacidade de campo no semiárido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 25, n. 1, p. 103–116, 1990.

SIMÃO, A. R. et al. Water-retaining efficiency of starch-based hydrogel in clay and sandy soils. *Ensaio e Ciência*, v. 28, n. 5, p. 672–681, 2024.

SOUSA, I. F. et al. Consumo hídrico do coco anão irrigado por microaspersão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011.

TEIXEIRA, W. G. et al. Retenção de água em amostras de solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. In: *Anais da XV RBCCS*, 2025.

VAZ, C. M. P.; IOSSI, M. F.; NAIME, J. M.; SILVA, A. M. Retenção de água no solo estimada via distribuição do tamanho das partículas. Embrapa, 2003.