



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JANDERSON PEDRO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE BIOCARVÃO E HIDROGEL E SEU EFEITO NA RETENÇÃO
HÍDRICA DO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DE
CAJUEIRO-ANÃO CLONE “BRS 226”**

FORTALEZA

2020

JANDERSON PEDRO DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE BIOCÁRVÃO E HIDROGEL E SEU EFEITO NA RETENÇÃO
HÍDRICA DO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DE CAJUEIRO-
ANÃO CLONE “BRS 226”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

Coorientador: Dr. Rubens Sonsol Gondim

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58u Silva, Janderson Pedro da.
Utilização de biocarvão e hidrogel e seu efeito na retenção hídrica do solo, no crescimento e na produtividade de cajueiro-anão clone “BRS 226” / Janderson Pedro da Silva. – 2020.
70 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.
Coorientação: Prof. Dr. Rubens Sonsol Gondim.
1. Condicionador de solo. 2. Retenção hídrica. 3. Produção. 4. *Annacardium occidentale* L.. I. Título.
CDD 630
-

JANDERSON PEDRO DA SILVA

UTILIZAÇÃO DE BIOCÁRVÃO E HIDROGEL E SEU EFEITO NA RETENÇÃO
HÍDRICA DO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DE CAJUEIRO-
ANÃO CLONE “BRS 226”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 05/07/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Rubens Sonsol Gondim (Coorientador)
Embrapa – Agroindústria Tropical

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e
Trabalho (Sedet) do Estado do Ceará

A Deus.

Aos meus pais José Airton e Maria José.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de desenvolver o presente trabalho em frente aos desafios que foram apresentados durante sua realização.

Ao CNPq, pelo financiamento tanto para a implementação do experimento quanto pelo sustento financeiro durante o período de mestrado.

Ao PPGEA – UFC pela organização, clareza e conhecimentos compartilhados na formação do corpo discente do programa de pós-graduação.

Ao professor Raimundo Nonato pela excelente orientação, amizade, apoio, incentivo, conhecimentos compartilhados e pelo exemplo de profissional e pessoa que certamente levarei por toda minha vida.

Ao Dr. Rubens Sonsol, pela confiança, conselhos, ensinamentos, amizade, incentivo e por ter me dado a oportunidade para melhorar meus conhecimentos.

A toda a equipe da Embrapa – Agroindústria Tropical, pelo apoio fundamental na condução do experimento.

Aos meus pais Maria José e José Airton, pelo incentivo e pelos sacrifícios para que eu pudesse ter uma educação de qualidade.

As minhas irmãs Eugenia Lemos e Eudenia Lemos, e seus respectivos maridos Antônio Edson e José Vandi, pelo apoio em seguir estudando e melhorando.

A minha companheira e namorada, Thaynara Pontes, por todo o apoio emocional durante os momentos difíceis e incentivo em buscar novas conquistas, sem seu apoio não teria conseguido.

Aos meus sogros Fernando Brasileiro e Maria da Conceição, por todo o apoio e confiança.

Aos amigos de vida Elidio Júnior, Jefferson Jales e Victor Bandeira, pelo companheirismo, momentos de descontração e por sempre terem acreditado nos meus objetivos.

A todos os companheiros do programa de pós-graduação em engenharia agrícola da Universidade Federal do Ceará, pelo companheirismo durante os diversos momentos dessa caminhada.

RESUMO

A utilização de sistemas de irrigação é a estratégia mais comumente recomendada para suprir a necessidade hídrica de plantas em regiões com déficit hídrico corriqueiro ou esporádico, porém, por necessitar de um grande investimento na sua implementação e manutenção, sua utilização é limitada entre os produtores. Assim, buscar por estratégias que visem a diminuição da água aplicada são sempre necessárias. Com base nessas características, o uso de condicionadores de solo se mostra como alternativa com potencial na diminuição da utilização da água de irrigação, por terem uma estrutura porosa que eleva a capacidade natural do solo em reter água. Assim, objetivou-se com o presente estudo analisar o efeito de dois condicionadores de solo, biocarvão e hidrogel, nas variáveis de crescimento, produção e retenção hídrica de um pomar de cajueiro-anão “BRS 226” submetido ao regime de sequeiro. O experimento foi realizado no campo experimental de Paraipaba, pertencente a Embrapa – Agroindústria Tropical, Paraipaba – CE, utilizando delineamento de blocos ao acaso com quatro blocos e nove tratamentos. O biocarvão utilizado foi originado da lenha de cajueiro e aplicado nas covas das plantas nas doses de 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 kg cova⁻¹. Já o hidrogel, utilizou-se o polímero de nome comercial Hydroplan – EB[®], nas doses por cova de 20; 40; 60 e 80 g cova⁻¹. O clone de cajueiro-anão estabelecido foi o “BRS 226” com espaçamento de quatro metros entre plantas e oito metros entre linhas. Foram instaladas duas baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,15; 0,45 e 0,75 m de cada tratamento para o monitoramento da variação de umidade no solo. Foram realizadas análises para determinação dos atributos físicos do solo, juntamente da confecção de uma curva característica de água no solo. As variáveis de crescimento analisadas foram altura de plantas, diâmetro de caule e diâmetro de copa. Para as variáveis de crescimento foram analisados peso médio, produção por planta e produtividade de pedúnculos e castanhas. O monitoramento da retenção hídrica foi realizado utilizando os dados diários dos tensiômetros. Os tratamentos que apresentaram maior capacidade de retenção de água no solo foram o T1 e o T7 respectivamente, 0,5 kg de biocarvão por cova e 60 g de polímero hidroretentor por cova, embora não tenha se constatado diferença estatística nas variáveis de crescimento e de produção das plantas tratadas com os condicionadores.

Palavras-Chave: Condicionador de solo. Retenção hídrica. Produção. *Anacardium occidentale* L.

ABSTRACT

The use of irrigation systems is the most commonly recommended strategy to supply the water requirement of plants in regions with ordinary or sporadic water deficit, however, because it requires a large investment in its implementation and maintenance, its use is limited among producers. Thus, looking for strategies that aim to reduce the applied water are always necessary. Based on these characteristics, the use of soil conditioners is an alternative with the potential to decrease the use of irrigation water, as they have a porous structure that increases the natural capacity of the soil to retain water. Thus, the aim of this study was to analyze the effect of two soil conditioners, biochar and hydrogel, on the growth, production and water retention variables of a dwarf cashew orchard “BRS 226” submitted to the rainfed regime. The experiment was carried out in the experimental field of Paraipaba, belonging to Embrapa - Agroindustria Tropical, Paraipaba - CE, using a randomized block design with four blocks and nine treatments. The biochar used was originated from cashew firewood and applied to the pits of the plants in doses of 0.5; 1.0; 2.0 and 4.0 kg pit⁻¹. The hydrogel, on the other hand, used the polymer of the commercial name Hydroplan - EB[®], in doses per pit of 20; 40; 60 and 80 g pit⁻¹. The established dwarf cashew clone was the “BRS 226” with a spacing of four meters between plants and eight meters between lines. Two batteries of tensiometers were installed at depths of 0.15; 0.45 and 0.75 m of each treatment for monitoring soil moisture variation. Analyzes were carried out to determine the physical attributes of the soil, together with the making of a characteristic curve of water in the soil. The growth variables analyzed were plant height, stem diameter and crown diameter. For growth variables, average weight, production per plant and productivity of peduncles and nuts were analyzed. Water retention was monitored using daily data from tensiometers. The treatments that showed the highest water retention capacity in the soil were T1 and T7 respectively, 0.5 kg of biochar per pit and 60 g of water-retaining polymer per pit, although there was no statistical difference in the growth and growth variables. production of plants treated with conditioners.

Keywords: Soil conditioner. Water retention. Production. *Anacardium occidentale* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspecto do hidrogel desidratado (esquerda) e hidratado (direita)	24
Figura 2 – Mudas enxertadas de cajueiro-anão clone “BRS 226” em viveiro na Embrapa – Campo experimental de Pacaju / CE	25
Figura 3 – Homogeneização do biocarvão com solo da cova de plantio	26
Figura 4 – Croqui detalhado da área experimental	27
Figura 5 – Câmara de pressão de Richards – Laboratório de Física do solo, UFC	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2016	43
Gráfico 2	– Distribuição mensal das Precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2017.....	44
Gráfico 3	– Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2018	44
Gráfico 4	– Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2019	45
Gráfico 5	– Volume de água utilizado por tratamento como irrigação suplementar no de 2016	45
Gráfico 6	– Curvas características do solo em diferentes profundidades do Campo Experimental do Curu – Embrapa – Agroindústria Tropical – Paraipaba – CE	46
Gráfico 7	– Umidade de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na profundidade de 0,15 m, em pomar de cajueiro anão "BRS 226", tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba - CE	48
Gráfico 8	– Umidade de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na profundidade de 0,45 m, em pomar de cajueiro anão "BRS 226", tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba – CE	51
Gráfico 9	– Curvas de ajuste do acúmulo de água no solo (mm) em função do condicionador em pomar de cajueiro–anão "BRS 226", tratados com biocarvão (A) e hidrogel (B), em diferentes períodos de análise, Paraipaba – CE	59
Gráfico 10	– Ajustes do armazenamento de água total (mm) para pomar de cajueiro–anão "BRS 226", tratados com biocarvão (A) e hidrogel (B), em diferentes períodos de análise, Paraipaba – CE	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos físico-hídricos do solo em diferentes profundidades, Paraipaba – CE	23
Tabela 2 – Análise química do biocarvão de lenha de cajueiro	24
Tabela 3 – Doses de biocarvão e hidrogel por cova	27
Tabela 4 – Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) para diferentes profundidades do Campo Experimento do Curu - Embrapa - Agroindústria Tropical – Paraipaba – CE	31
Tabela 5 – Análise de variância em relação à altura média de plantas (m), de cajueiro–anão, clone “BRS 226”, Paraipaba – CE	33
Tabela 6 – Análise de variância em relação ao diâmetro médio da copa de plantas (m), de cajueiro–anão – clone “BRS 226”, Paraipaba – CE	33
Tabela 7 – Análise de variância em relação ao diâmetro médio do caule de plantas (cm) de cajueiro–anão – “BRS 226”, Paraipaba – CE	39
Tabela 8 – Produção média de castanhas por planta de cajueiro–anão (g planta^{-1}), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba–CE	39
Tabela 9 – Produtividade de castanhas de clones de cajueiro–anão (kg ha^{-1}), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE	39
Tabela 10 – Peso médio de castanhas de cajueiro–anão (g), clone “BRS 226” por tratamento, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE	40
Tabela 11 – Produção média dos pedúnculos por planta de cajueiro–anão (kg planta^{-1}), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE	40
Tabela 12 – Produtividade de pedúnculo de clones de cajueiro–anão (kg ha^{-1}), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE	40

Tabela 13 – Peso médio (g) de pedúnculos de cajueiro–anão clone “BRS 226” por tratamento, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE	40
Tabela 14 – Acumulado anual de água no solo (mm) em diferentes profundidades (m), e em diferentes anos, Paraipaba – CE	54
Tabela 15 – Acumulo anual de água no solo (mm) em pomar de cajueiro–anão “BRS 226” tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba – CE	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Impactos do regime hídrico do Nordeste e na agricultura	15
2.2	Importância da água na cajucultura	16
2.3	O biocarvão	17
2.4	Efeito do biocarvão na retenção hídrica	19
2.5	O Hidrogel	19
2.6	Efeito do polímero hidroretentor na retenção hídrica	20
2.7	Efeito do uso de condicionadores de solo no crescimento e produção	21
3	METODOLOGIA	23
3.1	Caracterização da área	23
3.2	Preparo dos condicionadores de solo	23
3.3	Preparo da área e implementação do experimento	25
3.4	Delineamento experimental	27
3.5	Variáveis de crescimento	27
3.6	Produção	28
3.7	Análise da retenção hídrica no solo	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Variáveis de crescimento	31
4.2	Produção de castanhas e de pedúnculo	37
4.3	Retenção hídrica no solo	43
5	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira desponta entre uma das mais competitivas do mundo, segundo dados da FAO (2019) em 2018, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás somente da Índia e da China. Por ter disponível vasto território, regiões com diferentes características climáticas e imensa variedade de espécies passíveis de exploração, o Brasil encontra na produção de frutos um aliado que atende não somente às necessidades comerciais do país, como na exportação, grande oportunidade para geração de divisas.

Por ter uma alta taxa de luminosidade, temperatura elevada e baixa umidade relativa do ar, a região Nordeste apresenta uma vantagem climática em comparação à região Sudeste do país na produção de diversas frutas, representando no ano de 2017, 29% de toda a produção nacional (VIDAL, 2019).

Embora reconhecida importância socioeconômica, um dos desafios inerentes à produção de frutos é a grande demanda de água necessária para produção. Desse modo, regiões com pouca oferta hídrica ou mesmo regiões que sofrem com escassez hídrica esporádica, dependem de precipitações para manter os níveis adequados de produção.

Cirilo (2015) destaca que embora a região Nordeste brasileira seja tradicionalmente mais afetada por períodos de escassez hídrica, o cenário de crises hídricas vem se estabelecendo também nas regiões mais densamente habitadas do Sudeste do país.

Desse modo, uma alternativa para atender a demanda hídrica das culturas na falta de água de chuvas é a utilização de sistemas de irrigação, que embora também dependam de precipitações, permite uma melhor gestão dos recursos hídricos, utilizando a água somente quando realmente necessária, aplicando lâminas de irrigação de maneira a repor a quantidade de umidade utilizada.

Infelizmente, a utilização de sistemas de irrigação pode ser limitada pelo investimento inicial de implementação e custos de manutenção, os quais funcionam como grande gargalo para sua maior difusão entre produtores, em especial aqueles que não possuem tantas condições de realizar grandes investimentos.

Assim, estratégias de manejo de irrigação que tenham por objetivo diminuir sua frequência de aplicação ou o volume de água utilizado, são sempre necessárias.

Nesse contexto, os condicionadores de solos se apresentam como uma promissora alternativa para a diminuição na frequência de irrigação.

Por sua composição porosa que concede uma característica higroscópica capaz de absorver grandes quantidades de água em relação ao peso e liberando-a de maneira gradual aos solos, permitindo assim uma redução nos custos inerentes a utilização da irrigação.

Desse modo, objetivou-se avaliar o efeito de dois condicionadores de solo, biocarvão e hidrogel, nas variáveis de crescimento, produção e retenção hídrica de um pomar de cajueiro-anão “BRS 226”, sob regime de sequeiro.

Observar se o uso dos condicionadores de solo em um pomar de cajueiro exerce diferença significativa nas variáveis de crescimento e produção.

Analisar a variabilidade da retenção hídrica promovida pelos condicionadores e seu impacto no consumo de água pelas culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Impactos do regime hídrico do Nordeste e na agricultura

Regiões de clima árido e semiárido se encontram em todos os continentes do mundo, segundo Parsons e Abrahams (2009), regiões áridas e semiáridas totalizam aproximadamente 12,1 e 17,7% de toda a área mundial. No Brasil, parte considerável da região Nordeste, que tem como clima predominante o semiárido, se encontra no chamado polígono das secas que engloba os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do norte de Minas Gerais (SILVA *et al.* 2010).

As características do clima semiárido brasileiro exercem dificuldades nas áreas de cultivo, uma vez que as precipitações médias são em torno de 800 mm, concentradas em poucos meses e com valores elevados de evapotranspiração, que ultrapassam os 2.000 milímetros ano (DE NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016), fazendo da agricultura, uma prática de risco na região.

Em períodos de estiagem extrema, a agricultura de subsistência nessa região se torna, quase que impraticável, uma vez que com a diminuição do volume de água nos reservatórios unido da falta de chuvas, fazem com que as necessidades hídricas das culturas não sejam atendidas (RAMALHO, 2013).

Nóbrega *et al.* (2016) apontam ainda que, um dos principais aspectos que torna a região Nordeste vulnerável à sua condição climática é ser a região semiárida mais povoada do mundo, decorrência de um histórico migratório do litoral para o interior.

Essa condição de fragilidade pôde ser vista em estudo realizado por Moura *et al.* (2016), onde se constatou que entre os anos 2003 e 2015, que o Nordeste é a região do país com maior número de registros de desastres naturais, 57,3%, desse valor 46,9% ligados diretamente a desastres de caráter hidrológico, em especial estiagem e seca.

Numa visão mais regional, atualmente, o estado com maior área pertencente ao clima semiárido no Nordeste é o Ceará, com 95% das cidades categorizadas nesse clima (BRASIL, 2017).

O impacto do regime climático presente no Estado do Ceará foi estudado por Olímpio e Zanella (2017), mostrando que 22,3% dos municípios cearenses apresentam um risco alto de ser afetado por desastre natural associado ao clima, de maneira majoritária, com relação a estiagens.

Períodos curtos de seca são suficientes para diminuir a produção agrícola das regiões afetadas, afetando o emprego no setor agrícola e consequentemente a renda da população

dependente desse setor, demonstrando que anos com chuvas abaixo da média representam problemas de caráter econômico e social (KHAN *et al.* 2005)

Mesmo com essas características adversas, a região nordeste se destaca em caráter nacional pela prática de cultivo de diversas fruteiras, em especial o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), planta típica da região, onde segundo Johnson (1973) é seu provável centro de origem, sendo assim, uma cultura de elevado valor econômico e social para todo o Nordeste brasileiro.

2.2 Importância da água na cajucultura

Embora bem adaptado às condições climáticas do semiárido quanto à restrição hídrica, longos períodos de estiagem tornam-se a principal ameaça à cajucultura, tendo em vista que tradicionalmente a maioria das áreas do cultivo se encontra em regime de sequeiro (MACÊDO *et al.* 2018), onde a maior parte de sua demanda de água é atendida somente pelas chuvas. Logo, a utilização de técnicas que promovam um incremento na quantidade de água disponível para as plantas, se torna essencial para essas localidades.

É importante salientar que uma quantidade adequada de água deve ser oferecida à cultura de interesse para que ela apresente desempenho e produção adequada, uma vez que o déficit hídrico representa efeito negativo nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, consequentemente diminuindo sua produção (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2006).

Em experimento realizado em regime de sequeiro em duas localidades do Ceará, uma com maior precipitação (litoral) e outra com menor precipitação (sertão), utilizando três diferentes clones de cajueiro-anão (CCP 09, BRS 265 e PRO 555-1), foi possível observar melhores respostas às variáveis de massa total, massa da castanha e massa do pedúnculo, na região litorânea para os clones BRS 265 e PRO 555-1, demonstrando que o regime hídrico da região apresenta grande importância nos parâmetros de produção para diferentes clones do cajueiro-anão (ALMEIDA *et al.* 2018)

A alternativa para suprir a demanda hídrica mais difundida nos meios de produção de caju para elevação de produção é a utilização de sistemas de irrigação, em especial irrigação localizada.

Para cultivos irrigados de cajueiro na região semiárida, a recomendação adotada é de entre 10 a 20 L planta⁻¹dia⁻¹ para o primeiro ano, com aumento do volume aplicado proporcional para os anos posteriores até o 5º ano, onde o volume de água recomendado para irrigação diária chega a 109 L planta⁻¹ dia⁻¹ (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Leite *et al.* (2012), analisando o efeito de diferentes lâminas de irrigação no clone de cajueiro–ano BRS 189, observaram melhores resultados de produção no tratamento que repôs o valor equivalente de evapotranspiração da cultura. Resultado semelhante foi obtido por Ribeiro *et al.* (2006), utilizando o clone CCP 09.

Quanto ao período de maior necessidade hídrica do cajueiro, Daniel (2008), demonstrou que a fase fonológica de maior fragilidade quanto à falta de água é a frutificação, fase que ocorre no segundo semestre do ano, período onde também ocorre escassez de chuvas na região do Nordeste.

Entretanto, a principal dificuldade para a implementação das áreas irrigadas, encontra-se no investimento inicial. Para um sistema de irrigação localizado, onde o custo inicial aproxima-se de R\$ 3.000,00 a R\$ 5.000,00 por hectare, sendo recomendada principalmente para a exploração de castanha e pedúnculo para consumo *in natura* (MIRANDA, 2013; DE PAULA, 2000).

Desse modo, para regiões de ocorrência de déficit hídrico, buscar por alternativas aos métodos tradicionais de suplementação da necessidade hídrica das plantas, como o aumento da capacidade de retenção hídrica do solo, pode representar uma opção viável para um melhor proveito da água disponível.

2.3 O biocarvão

O biocarvão é definido por Lehmann e Joseph (2015) como um produto rico em carbono, obtido com biomassa e que foi aquecido em recipiente com pouco ou nenhum nível de ar.

Esse processo, embora parecido com o método de obtenção do carvão, um dos processos mais antigos, se não o mais antigo, dominado pela humanidade (HARRIS, 1999), se diferencia segundo Maia, Madari, Novotny (2011), pelo seu propósito de ser aplicado na agricultura, de modo a promover um incremento dos parâmetros agrônômicos de crescimento e produção, e ambientais do solo.

Outra diferenciação entre os dois compostos se dá quanto ao seu método de obtenção. Na produção do carvão convencional, a queima do material com a presença de O₂, libera a maior parte de carbono presente na estrutura como dióxido de carbono (CO₂), além de parte dos minerais constituintes ser perdida na forma de cinzas (SHAMIM *et al.* 2015). Para o biocarvão, o processo é o de pirólise, ou seja, o aquecimento do material com limitação ou ausência de O₂, promove uma condensação molecular no interior do material de origem, levando-o a um processo de grafitação ou carbonização (SEVILLA; FUERTES, 2009).

Quanto à temperatura de produção do biocarvão, trabalhos demonstram que temperatura em torno de 600 – 700°C expressam melhores resultados por proporcionar um aumento da área superficial das partículas, causando por consequência um maior potencial de melhora da qualidade do solo (KINNEY *et al.* 2012; NOVAK *et al.* 2009).

Para a conversão do material de origem em biocarvão, Brown (2012) demonstra que existem vários equipamentos que realizam essa função, variando de métodos mais acessíveis, porém, com menor controle como poços, montes ou fornalhas, até métodos de elevado grau de controle, porém de custo mais elevado, como fornos de pirólise e plantas de pirólise.

Segundo Granatstein *et al.* (2009), as principais matérias primas para produção de biocarvão com finalidade de uso na agricultura são restos de culturas anuais, resíduos florestais e resíduos animais, uma vez que, esses materiais se encontram próximos das áreas agrícolas, diminuindo seu custo de transporte.

Apesar do biocarvão ser em sua maioria produzido por via de produtos vegetais, é necessária precaução na extração do material de origem, evitando-se explorar florestas, áreas de preservação ou de produção de alimentos com o intuito de adquirir material para carbonização, sendo o mais recomendado material residual de podas (MAIA; MADARI; NOVOTNY, 2011).

Outro fator que deve ser considerado na produção do biocarvão, é que, sua utilização pode representar um risco de erosão para as áreas de onde a matéria prima é retirada, principalmente para restos de culturas anuais, uma vez que o material vegetal restante de colheitas, fornece proteção para o solo contra os processos de erosão (LAL, 2005).

Embora atualmente sua utilização seja envolta de metodologias quantitativas e qualitativas modernas, NOVOTNY *et al.* (2009), citam que a utilização do biocarvão na agricultura, é um método antigo, datado de antes mesmo do período pré-colombiano, evidenciada pela utilização da chamada “terra preta de índio”, um solo com clara interferência antrópica, devido ao acúmulo de carvão, cerâmicas e cinzas, que quando comparado a outros solos da região, apresenta maiores teores de P, Mg, Zn, Cu, Ca, S e Ba, sendo assim, solos mais férteis.

As principais vantagens na utilização do biocarvão estão relacionadas à sua capacidade de sequestro de gases de efeito estufa (SPOKAS *et al.* 2009), aumento na microbiota dos solos (LEHMANN *et al.* 2011), elevação dos níveis de nutrientes disponíveis (DING *et al.* 2010; MAJOR *et al.* 2010), e principalmente, no aumento da retenção hídrica dos solos

(ULYETT *et al.* 2014). Esses efeitos ocorrem principalmente pela estrutura porosa do biocarvão que promove a retenção de água e consequente retenção de nutrientes (JOSEPH *et al.* 2010).

2.4 Efeito do biocarvão na retenção hídrica

Devido ao seu potencial de incremento na quantidade de água do solo, os principais estudos sobre utilização dos dois condicionadores de solo na agricultura envolvem seus efeitos na quantidade de água que é utilizada nas irrigações e dos valores de umidade no solo.

Em experimento de drenagem, De Carvalho; Miranda; Da Silva (2014) obtiveram relação positiva, entre as doses de biocarvão de cajueiro e o aumento da capacidade de retenção de água, demonstrado pelo peso das amostras de solo após drenagem do excesso de água que não foi retida.

Freitas *et al.* (2017) em experimento com quiabo observaram que os tratamentos com biocarvão adicionados ao solo foram os que permaneceram mais tempo próximo da capacidade de campo, também atribuindo esse resultado a sua capacidade retentora.

De modo geral, solos arenosos, apresentam melhores resultados com a adição de biocarvão, elevando sua capacidade de retenção em 13,7% (STREUBEL *et al.* 2011).

Akhtar *et al.* (2014) usando doses de biocarvão, juntamente com irrigação parcial e irrigação com déficit, observaram uma elevação da umidade do solo, concluindo que a utilização do biocarvão, juntamente com outras técnicas de diminuição do volume de água aplicada pode apresentar resultados promissores para crescimento e produção das plantas.

Utilizando biocarvão originário de colmos de bambu, Teixeira *et al.* (2017) notaram que os maiores valores de umidade retida estavam relacionados aos compostos produzidos com maiores temperaturas, entre 500 e 550°C, atribuindo esse efeito a maior área de partículas gerada pela temperatura de produção, entretanto, temperaturas acima de 550 e 600°C apresentaram um maior volume de água retida, porém com maior nível de retenção, o que pode apresentar dificuldades na absorção de água pelas plantas.

Valores distintos foram observados por Feitosa *et al.* (2017), utilizando outro material de origem, casca de banana e bagaço de laranja, concluindo que diferentes capacidades de retenção estão diretamente relacionadas à temperatura de pirólise e material de origem do condicionador.

2.5 O Hidrogel

Polímeros hidroabsorventes ou simplesmente hidrogéis são compostos hidrofílicos de estrutura caracterizada por uma rede reticulada, com capacidade de absorver grandes

quantidades de água ou de fluídos, podendo chegar a valores de 10 a 100 vezes seu volume inicial e em curtos intervalos de tempo (AHMED *et al.* 2013; OMIDIAN; ROCCA; PARK, 2005).

Segundo Ahmed (2015), esse composto vem recebendo uma atenção considerável ao longo dos últimos 50 anos, devido ao seu processo de produção que pode ser puramente sintético, e por sua enorme variedade de aplicações, desde utilização em equipamentos médicos, até a agricultura.

Aouada *et al.* (2009) acrescentam, que a estrutura dos hidrogéis é mantida por ligações covalentes e/ou eletrostáticas, envoltas em um determinado solvente que em geral é a água.

Devido essa forte interação com a água, os polímeros hidroabsorventes podem ser utilizados na agricultura, principalmente como condicionadores de solo, promovendo uma alta capacidade de armazenar água e reter nutrientes, diminuindo os custos com irrigações e com a lixiviação de nutrientes (SAAD *et al.*, 2009).

Freitas; Bertonha; Andrade (2002) em trabalho de revisão citam que os primeiros trabalhos com utilização de hidrogel no mundo, foram realizados no início dos anos 1980, e que no Brasil, os primeiros relatos de sua utilização em pesquisa datam do final da década de 1990, início dos anos 2000.

Para Neto *et al.* (2017), o maior destaque na utilização dos hidrogéis nos últimos anos se deve principalmente à perda da patente da empresa criadora desse composto, o que permitiu que outras empresas pudessem melhorar as características do material.

2.6 Efeito do polímero hidroretentor na retenção hídrica

Marques; Cripa; Martinez (2013), em experimento com mudas de café, observaram que o tratamento com dois gramas de hidrogel e sem irrigação apresentou os mesmos resultados de crescimento que os tratamentos sem o hidro retentor e com a utilização de irrigação suplementar, sendo assim, uma possível alternativa para a substituição da irrigação suplementar na produção de mudas nessa cultura.

Saad; Lopes; Santos (2009), analisando a sobrevivência de mudas de eucalipto em vasos com e sem hidrogel, observaram um maior período de sobrevivência nos tratamentos com condicionador de solo, o que pode ser uma alternativa para maiores intervalos de reposição de água do solo, como a irrigação.

Em experimento realizado no Iran, Abedi-Koupai; Sohrab; Swarbrick(2008) testando o efeito de diferentes doses de hidrogel em solos arenosos e argilosos, puderam

constatar uma relação de aumento no volume de água de saturação e residual, e aumento de doses do composto, sendo a maior dose, oito gramas de hidrogel por quilograma de solo, o que apresentou os maiores volumes para ambos os solos, embora o solo arenoso tenha apresentado maior volume de água retida.

Quanto à característica do hidrogel no aumento da retenção de água no solo, os maiores incrementos estão relacionados principalmente nos solos de textura arenosa (IDROBO; RODRÍGUEZ; ORTÍZ, 2010). Em solos arenosos tratados com hidrogel, é possível notar ainda uma tendência de diminuição da condutividade hidráulica, causada pela porosidade do material que promove o processo de retenção de água, seguida de um posterior aumento da condutividade hidráulica já que uma vez o solo estando saturado, o processo de drenagem pode ocorrer livremente, sendo assim, uma possível alternativa para o manejo da água nesses solos (BHARDWAJ *et al.* 2007).

2.7 Efeito do uso de condicionadores de solo no crescimento e produção

A maioria dos estudos envolvendo biocarvão ou hidrogel demonstra uma melhoria nos seus parâmetros de crescimento e na sua produção.

Vaccari *et al.* (2015), testando biocarvões de diferentes processos de fabricação e seu efeito em plantio de tomate, observaram que a aplicação do biocarvão promoveu uma elevação no conteúdo de carbono, e na disponibilidade de nutriente como N, P, K, resultando em níveis de produção semelhantes ao tratamento teste, o que resulta em menos gastos com insumos para produção.

Xiao *et al.* (2016) testando o efeito do biocarvão, juntamente com técnica de *mulching* em região semiárida da China, concluíram que o biocarvão elevou a porosidade do solo, a quantidade disponível de N, P e K, promovendo uma aumento no peso de massa seca, comprimento e área do sistema radicular das plantas de milho, resultando em uma elevação da produção de grãos em cerca de 13%, quando se utiliza dose de 30 t ha⁻¹ de biocarvão, atribuindo esse desempenho ao sistema radicular robusto gerado pelo tratamento, que permitiu uma maior absorção de nutrientes.

Castaldi *et al.* (2011), utilizando biocarvão em experimento com trigo, puderam observar uma relação positiva, tanto na produção, quanto na qualidade dos grãos em dois anos consecutivos de experimento, atribuindo o resultado à capacidade de retenção hídrica do condicionador.

Egamberdieva *et al.* (2016) verificaram efeito positivo entre diferentes tipos de biocarvão e um tipo de hidrogel, nos valores de massa seca e crescimento, em plantas de soja,

notando ainda uma interferência do hidrogel na comunidade microbiana associada com essa planta, atribuindo a esse fato, as melhores taxas de crescimento.

Nicoletti *et al.* (2014), observaram uma maior taxa de crescimento do sistema radicular, crescimento vegetativo e porcentagem de enraizamento de mudas de eucalipto submetidas a tratamento com hidrogel, atribuindo esse efeito à capacidade do condicionador de solo de reter água e nutrientes.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

O experimento foi realizado no Campo Experimental do Curu, pertencente a Embrapa Agroindústria Tropical, localizado no município de Paraipaba – Ceará, cujas coordenadas geográficas são: W 39°09'54" e S 3°29'6".

Segundo classificação de Köppen, o clima da região é tropical chuvoso, Aw. A precipitação média da região é de aproximadamente 1.200 mm por ano.

O solo possui textura média a arenosa na camada de 0 a 30 cm, categorizado como Argissolo Vermelho – Amarelo, com teor de matéria orgânica máximo de 6,4 g dm⁻³ (ARAÚJO, 2018).

Os atributos físico-hídricos das diferentes camadas de solo analisadas se encontram presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos físico-hídricos do solo em diferentes profundidades, Paraipaba – CE.

Profundidade (cm)	θ_{cc} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{pmp} (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	ds (g cm ⁻³)	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Sílte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
0 - 30	0,06593	0,04888	0,04936	1,62	704,85	129,00	94,55	71,60
30 - 60	0,07732	0,06324	0,06363	1,58	556,45	194,32	123,23	126,00
60 - 90	0,0925	0,06156	0,06216	1,54	544,36	193,89	119,75	142,00

θ_{cc} – Capacidade de campo; θ_{pmp} – Ponto de murchar permanente; θ_s – Ponto de estresse hídrico considerado no experimento (50 kPa); ds – Densidade do solo.

Fonte: Adaptado de Araújo (2018).

3.2 Preparo dos condicionadores de solo.

O biocarvão utilizado no experimento foi oriundo de restos de poda de cajueiro realizados no Campo Experimental de Pacajus, da Embrapa Agroindústria Tropical, Pacajus – CE. Após a realização das podas, o material vegetal foi levado para fornos de carvão convencional, localizados na região, que foram previamente adaptados a realizar a queima parcial do material.

Após o processo de combustão na ausência de oxigênio ser realizado, o material foi transportado para a sede da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Fortaleza, onde foi realizado maceramento manual com propósito de diminuir a granulometria do carvão em torno de dois milímetros de diâmetro, promovendo assim, um aumento na área superficial do carvão.

Após o procedimento de maceramento, o carvão foi separado em sacos plásticos nas quantidades de 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 quilogramas, respectivamente doses 1, 2, 3 e 4, para serem utilizados na área do experimento.

O biocarvão de lenha de cajueiro foi então submetido a análise química os quais seus resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química do biocarvão de lenha de cajueiro.

Macronutrientes (g kg ⁻¹)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					%	ds/m	
N	P	Mg	Na	S	K	Cu	Fe	Zn	Mn	Ctotal	pH	CE
3,5	1,2	4	1,4	1,6	7,3	2	363	16	42	62,5	7,26	0,32

Fonte: Gondim *et al.* (2018).

A capacidade de retenção hídrica para o biocarvão de lenha de cajueiro foi determinada pelo funil de Haines com valores de 0,53 g g⁻¹ e 0,57 g g⁻¹ para as partículas de diâmetro de 4 mm e 2 mm, respectivamente.

Para o hidrogel, foi utilizado composto comercial de registro Hydroplan – EB[®], cujo uso é específico para agricultura.

Desidratado, o hidrogel apresenta característica pulverulenta, de cor branca, e uma vez em contato com a água, sua aparência se modifica na forma de um gel transparente (Figura 1).

Figura 1 – Aspecto do hidrogel desidratado (esquerda) e hidratado (direita).



Fonte: Hydroplan – EB[®]

O hidrogel foi pesado em balanças de precisão no Laboratório de Solos e Água da Embrapa Agroindústria Tropical, onde foram recolhidos em sacos plásticos nas doses de 20; 40; 60 e 80 gramas, valores referentes aos tratamentos 5, 6, 7 e 8.

3.3 Preparo da área e implementação do experimento

As mudas utilizadas foram obtidas junto ao viveiro do Campo Experimental de Pacajus, e posteriormente transportadas para o Campo Experimental do Curu, ambos pertencentes à Embrapa Agroindústria Tropical (Figura 2).

As mudas utilizadas foram do clone “BRS 226” (Figura 2), que segundo Cavalcanti; Vidal Neto; Barros (2013), são clones de pequeno porte, com boa aptidão para a produção de castanha e elevada tolerância ao déficit hídrico, sendo assim, um dos clones mais indicados para locais de produção localizados na região Nordeste.

Figura 2 – Mudas enxertadas de cajueiro-anão clone “BRS 226” em viveiro na EMBRAPA – Campo experimental de Pacajus / CE.



Fonte: Autor.

As dimensões totais da área do experimento foram de 80 m de comprimento por 96 m de largura, totalizando aproximadamente 0,77 ha.

As covas com dimensões de 0,40 m de profundidade por 0,40 m de diâmetros foram abertas com auxílio de implemento perfurador de solo acoplado ao trator. Foi realizada adubação de fundação com 80 g cova⁻¹ de calcário dolomítico, 400 g cova⁻¹ de superfosfato simples; 50 g cova⁻¹ de cloreto de potássio e 50 g cova⁻¹ de FTE BR 12. Quarenta e cinco dias

após o plantio, as plantas receberam em adição $130 \text{ g planta}^{-1}$ de ureia e $100 \text{ g planta}^{-1}$ de cloreto de potássio, divididos em duas parcelas.

Em seguida, biocarvão e hidrogel desidratado foram homogeneizados ao solo retirado das covas dos seus respectivos tratamentos, e em seguida retornados para o preenchimento da cova no momento do plantio das mudas (Figura 3).

Figura 3 – Homogeneização do biocarvão com solo da cova de plantio.



Fonte: Autor.

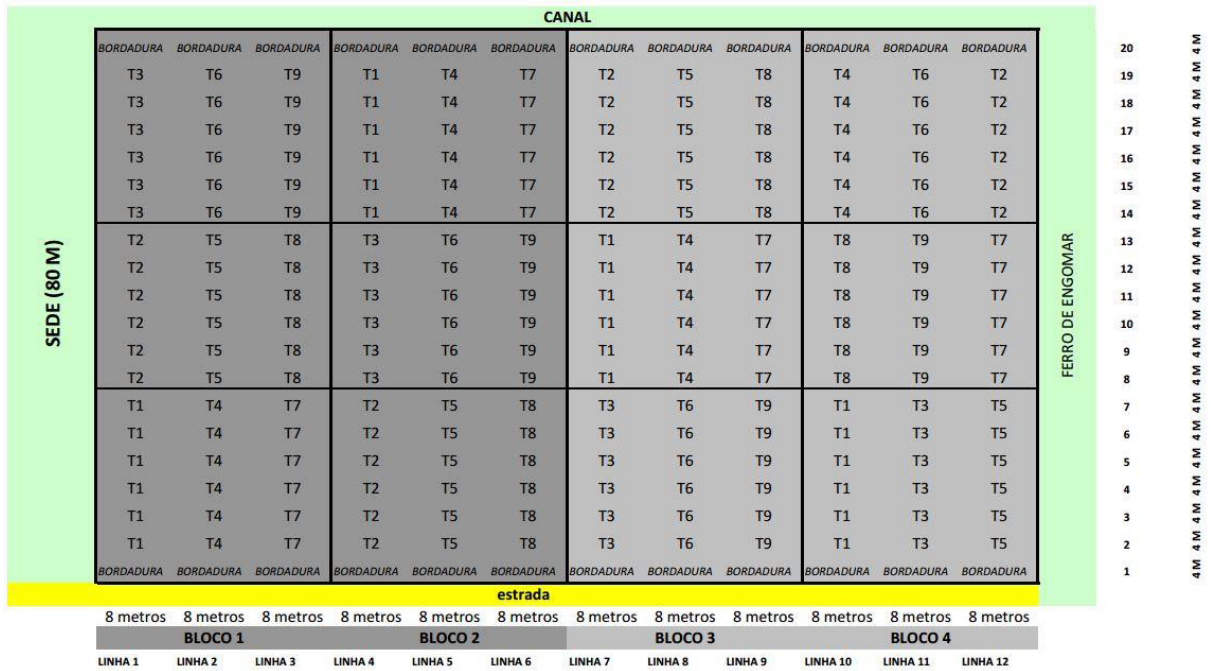
As plantas foram dispostas em espaçamento de quatro metros entre plantas e oito entre fileiras, com bordaduras nas laterais da área. Ao total, foram estabelecidas 240 plantas, sendo 6 plantas úteis por parcela, totalizando 216, as quais foram utilizadas para as avaliações e análises do experimento (Figura 4).

Após o plantio foram instaladas duas baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,15; 0,45 e 0,75 m, de modo a se obter informações de tensão de água no solo e, portanto, da umidade presente nas diferentes camadas do solo ao longo do tempo de desenvolvimento das plantas.

No primeiro ano de plantio foram realizadas irrigações de salvação com volume de cinco litros de água em todas as plantas do tratamento quando o primeiro tensiômetro de 0,15 m atingisse tensão de 60 kPa em seu vacuômetro. Nos anos seguintes, a irrigação de salvação foi suspensa, caracterizando desse modo uma área de sequeiro.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado para análise estatística dos fatores de crescimento foi o de blocos ao acaso, com dois fatores (biocarvão e hidrogel), nove tratamentos, quatro blocos. (Figura 4). Os níveis dos fatores dos tratamentos são apresentados na Tabela 1. Figura 4 – Croqui detalhado da área experimental.



Fonte: Autor.

Tabela 3 – Doses de biocarvão e hidrogel por cova.

Tratamento	Dose de Biocarvão (kg cova ⁻¹)	Tratamento	Dose de Hidrogel (g cova ⁻¹)
Tratamento 1	0,5	Tratamento 5	20
Tratamento 2	1,0	Tratamento 6	40
Tratamento 3	2,0	Tratamento 7	60
Tratamento 4	4,0	Tratamento 8	80
Tratamento 9: 0,0 kg.cova⁻¹			

Fonte: Dados da pesquisa.

3.5 Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento avaliadas foram altura das plantas, envergadura de copa, diâmetro do caule e mortalidade.

Na determinação de altura de plantas, realizaram-se no primeiro ano, avaliações a cada dois meses após o plantio. A medição de altura foi realizada com auxílio de trena e posteriormente, uma régua graduada.

A partir do segundo ano mediram-se a cada seis meses as demais variáveis de crescimento, sendo o diâmetro de caule medido com auxílio de paquímetro digital, e envergadura de copa com trena. Adotou-se uma periodicidade de seis meses, face à redução na velocidade de crescimento e de modo a analisar possível efeito dos condicionadores frente ao período de chuvas e de escassez hídrica.

3.6 Produção

Devido a sua precocidade, o cajueiro-anão clone “BRS 226” pode iniciar a emissão de suas panículas ainda no primeiro ano, entretanto, por representar um dreno, a recomendação é que essas panículas sejam retiradas, direcionando a energia para seu crescimento (OLIVEIRA, 2008).

A colheita se iniciou a partir do segundo ano de estabelecimento da área de cultivo, 2017, e se estendeu pelos períodos de produção dos anos seguintes até 2019, compreendendo assim, três anos de produção.

As castanhas foram colhidas e separadas por planta de cada tratamento, e ao término do período de colheita foi possível obter o peso médio de castanhas por tratamento de cada repetição.

Para peso médio do pedúnculo, devido à impossibilidade de colheita diária, foram realizadas amostragens dos pedúnculos em ponto de colheita aleatoriamente, independentemente do tamanho, sendo assim, selecionados os pedúnculos em estado firme e sem danos mecânicos ou danos causados por pragas e/ou doenças, e posteriormente, o valor obtido foi relacionado com a quantidade de castanhas produzida por cada tratamento.

Devido à presença de falhas nas parcelas do experimento, foi utilizado o modelo proposto por Zuber (1942) para correção de estande (Equação 1).

$$CW = FW \frac{H - 0,3M}{H - M}$$

(1)

Onde,

CW – Peso corrigido;

FW – Peso obtido em campo;

H – Quantidade inicial de plantas da parcela;

M – Quantidade de falhas na parcela.

3.7 Análise da retenção hídrica no solo

Os dados de análise da retenção foram obtidos diariamente, com exceção dos finais de semana, por meio dos tensiômetros dispostos na área do experimento. Os dados foram organizados em tabelas e ao final do período do experimento a variação da retenção hídrica foi observada com o auxílio de uma curva característica de água no solo.

Para a elaboração da curva característica de água no solo foram coletadas amostras indeformadas com trado de Uhland, sendo três amostras de solo para cada profundidade, coincidindo com as profundidades que os tensiômetros foram instalados, totalizando nove amostras de solo.

As amostras foram levadas ao Laboratório de Física do Solo – Universidade Federal do Ceará, onde foi elaborada a curva característica de água no solo.

Para as menores tensões (2, 4, 6, 8 e 10 kPa) utilizou-se mesa de tensão e para as tensões mais elevadas (33, 100, 300 e 1.500 kPa), uma câmara de pressão de Richards (Figura 5).

Figura 5 – Câmara de pressão de Richards – Laboratório de Física do solo, UFC.



Fonte: Autor.

Ao final das medições, as amostras seguiram para estufa onde foram submetidas a uma temperatura de 105°C por aproximadamente 48h, para determinação da densidade - e peso seco da amostra do solo.

Na determinação do conteúdo de água no solo foi utilizada a equação de determinação de água no solo em base de massa (g g^{-1}) (Equação 2) e posteriormente equação de água no solo em base de volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) (Equação 3).

$$U = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad (2)$$

$$\theta = U \times D_s \quad (3)$$

sendo,

U – Conteúdo de água no solo com base em massa (g g^{-1});

θ – Conteúdo de água no solo com base em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

M_t – Massa do solo úmido (g);

M_s – Massa do solo seco (g);

D_s – Densidade do solo (g cm^{-3}).

A curva resultante foi então ajustada ao modelo estatístico de Van Genuchten (1980) (Equação 4), que possibilita a determinação de conteúdos de água no solo para todos os potenciais mátricos, em especial, para aqueles que não foram utilizados no procedimento de confecção da curva.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} \quad (4)$$

sendo,

θ – Conteúdo de água no solo com base em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r – Umidade de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s – Umidade de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ_m – Potencial mátrico da água no solo (kPa);

α , n e m – Parâmetros de ajuste da curva.

Dessa maneira foi possível relacionar os dados obtidos por tensiômetros com a curva ajustada, demonstrando por meio gráfico a variação do armazenamento de água disponível no solo, ao longo do período do experimento utilizando a Equação 5.

$$A = (\theta_d - \theta_{es}) \cdot z \quad (5)$$

sendo,

A – Armazenamento de água no solo (mm);

θ_d – Umidade volumétrica diária observada em campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{es} – Umidade volumétrica no ponto de estresse hídrico considerado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

z – profundidade (mm).

Os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), podem ser consultados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) para diferentes profundidades do Campo Experimento do Curu – Embrapa – Agroindústria Tropical – Paraipaba – CE.

Parâmetros	Profundidade (cm)		
	15	45	75
θ_s	0,3976	0,4118	0,3253
θ_r	0,0488	0,0632	0,0631
α	0,3880	0,4212	0,2313
n	3,2194	3,2270	3,1453
m	0,6894	0,6901	0,6821

Fonte: Dados da pesquisa.

Também foi realizada uma caracterização química e de retenção hídrica para o biocarvão de lenha de cajueiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis de crescimento

As análises de variância relativas às variáveis de crescimento avaliadas no experimento podem ser observadas nas Tabelas 5, 6 e 7, onde é possível observar os valores dos testes de média de cada variável para cada tratamento nas respectivas datas de avaliação.

Os valores de altura e diâmetro da copa seguiram os aceitáveis para o cajueiro–ano, compreendidas entre quatro metros de altura e no máximo oito metros de diâmetro de copa, ressaltando que esses valores estão diretamente ligados ao espaçamento recomendado para o clone escolhido (BARROS, 1995; SERRANO e OLIVEIRA, 2013).

Para a variável de crescimento altura de planta, é possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos, e que todas as médias seguiram padrões de crescimento semelhantes em cada data de avaliação. Também é possível observar que, embora o coeficiente de variação tenha sofrido um incremento no momento da segunda avaliação, ao longo das demais datas ocorreu uma diminuição, demonstrando outro indício da pouca variabilidade da altura que ocorreu nas plantas submetidas aos tratamentos.

Foi possível constatar que a altura de planta observada no presente experimento difere da altura de planta estabelecida como referência do clone “BRS 226”, em específico, para todos os tratamentos.

Enquanto que é possível observar em trabalhos, alturas de plantas em torno de 1,4 m no sexto ano (CAVALCANTI; VIDAL NETO; BARROS, 2013), as plantas tratadas com biocarvão e hidrogel atingiram em média, uma altura de 2,90 m já no quarto ano de cultivo.

Os resultados de altura divergem dos observados por Vidal Neto *et al.* (2018), para o mesmo período de crescimento e mesmo clone utilizado, enquanto que no terceiro ano de produção os autores encontraram uma média de 1,97 m, os resultados do presente trabalho apontam para um valor médio aproximadamente 1,0 m maior.

Tabela 5 – Análise de variância em relação à altura média de plantas (m), de cajueiro–anão, clone “BRS 226”, Paraipaba – CE.

Data de avaliação	Tratamentos									CV (%)	DMS (5%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
29/06/2017	1,193 a	1,183 a	1,193 a	1,100 a	1,122 a	1,133 a	1,313 a	1,150 a	1,210 a	8,25	0,233
12/12/2017	1,483 a	1,468 a	1,408 a	1,303 a	1,343 a	1,395 a	1,495 a	1,343 a	1,408 a	10,32	0,348
20/12/2018	2,235 a	2,140 a	2,210 a	2,110 a	1,993 a	2,165 a	2,285 a	2,120 a	2,175 a	6,16	0,320
25/07/2019	3,065 a	2,920 a	2,928 a	2,805 a	2,863 a	2,890 a	2,900 a	2,925 a	2,955 a	3,83	0,269

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 6 – Análise de variância em relação ao diâmetro médio da copa de plantas (m), de cajueiro–anão – clone “BRS 226”, Paraipaba – CE.

Data de avaliação	Tratamentos									CV (%)	DMS (5%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
29/06/2017	2,105 a	2,063 a	2,14 a	1,920 a	2,188 a	2,088 a	2,540 a	2,058 a	2,325 a	13,21	0,685
12/12/2017	2,323 ab	2,473 ab	2,40 ab	2,13 b	2,393 ab	2,275 ab	2,898 a	2,343 ab	2,570 ab	12,86	0,749
20/12/2018	3,798 a	3,958 a	3,803 a	4,103 a	3,903 a	3,885 a	4,185 a	4,07 a	4,163 a	8,03	0,769
25/07/2019	4,485 a	4,75 a	4,76 a	5,495 a	4,62 a	4,803 a	4,873 a	4,975 a	4,885 a	10,50	1,224

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 7 – Análise de variância em relação ao diâmetro médio do caule de plantas (cm) de cajueiro–anão – “BRS 226”, Paraipaba – CE.

Data de avaliação	Tratamentos									CV	DMS (5%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
29/06/2017	5,998 a	5,840 a	6,173 a	5,813 a	5,778 a	5,533 a	6,595 a	5,880 a	6,303 a	10,78	1,55
12/12/2017	8,680 a	9,000 a	8,845 a	8,075 a	7,788 a	7,083 a	9,525 a	8,470 a	9,250 a	12,73	2,61
20/12/2018	14,950 a	15,975 a	14,600 a	15,188 a	14,375 a	14,950 a	16,450 a	15,108 a	15,100 a	7,65	2,79
25/07/2019	16,800 a	16,800 a	16,087 a	16,837 a	15,475 a	16,012 a	17,200 a	16,180 a	16,400 a	5,24	2,070

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os maiores valores de altura de plantas de cajueiro–anão “BRS 226” encontrados no presente estudo quando comparados com os valores presentes em demais trabalhos, podem ser atribuídos ao adensamento utilizado na implementação do experimento, uma vez que, plantas mais adensadas, ou seja, com menor espaçamento entre plantas, tendem a elevar a competição por luz, o que estimula seu crescimento podendo causar o estiolamento (BIZINOTO *et al.* 2010; MARTINEZ *et al.* 2007; PEREIRA *et al.* 2011).

De Oliveira *et al.* (2015), analisando o efeito de diferentes doses de biocarvão e umidade do solo na altura de mudas de sorgo (*Sorghum bicolor*) e Guandu (*Cajanus cajan*) plantados em solo de textura arenosa, observaram que maiores proporções de biocarvão no solo quando conciliadas a valores de umidade na capacidade de campo, promoveram taxas decrescentes de crescimento, tanto no sorgo, quanto no Guandu, somente sendo observado taxa linear crescente no Guandu quando o solo foi submetido a uma restrição hídrica equivalente ao valor de 30% de sua capacidade de campo, demonstrando assim que, o biocarvão não acelera as taxas de crescimento em plantas de sorgo, além de causar efeito prejudicial em grandes quantidades, e para Guandu somente se torna favorável sua utilização em situação de estresse hídrico.

Lira *et al.* (2013), avaliando a utilização de biocarvão oriundo do bagaço da cana–de–açúcar (*Saccharum spp.*) e dois tipos diferentes de textura de solo, arenoso e argiloso, e seus efeitos no crescimento inicial de mudas de cana–de–açúcar, observaram que, para a variável altura houve uma diminuição do crescimento médio em solo arenoso, enquanto que houve acréscimo do valor médio da altura em solos argilosos, demonstrando que a utilização do biocarvão apresenta potencialidade de melhoria de variáveis de crescimento, uma vez que os valores obtidos estão diretamente ligados a produtividade por hectare.

Já os resultados obtidos no presente estudo, De Sousa *et al.* (2016), utilizando diferentes dosagens de biocarvão oriundo de lodo de esgoto e seus efeitos no crescimento e consequente produção de plantas de Rabanete (*Raphanus sativus* L.), puderam observar um aumento em todas as variáveis de crescimento (altura, massa seca da parte aérea, número e comprimento de folhas) para as dosagens médias utilizadas, resultado atribuído ao material fonte da produção do biocarvão que os autores acreditam ter agido como fornecedor de nutrientes para as plantas.

Navroski *et al.* (2015), ao utilizar hidrogel como fator de interferência em diversas variáveis de crescimento em mudas de *Eucalyptus dunnii*, puderam observar que a altura das mudas variou positivamente em relação à quantidade de hidrogel aplicada, atribuindo o resultado à quantidade de água retida no substrato de crescimento, e ressaltando que as maiores

doses do composto não apresentaram diferença quando comparado às doses intermediárias, sendo assim, um fator de tomada de decisão econômica para a melhor dose aplicada.

Bernardi *et al.* (2012), estudando o efeito de diferentes doses de hidrogel na altura de mudas de *Corymbia citriodora*, observaram maiores valores de altura nos tratamentos com maior dosagem do condicionador de solo, atribuindo esses valores à alta capacidade retentora do hidrogel, em específico à capacidade de reter nutrientes e liberá-los de forma lenta para o solo, evitando assim, sua lixiviação.

Mazen; Radwan; Ahmed (2015), avaliando cinco diferentes tipos de hidrogel, em cinco concentrações cada (0%, 0,05%, 0,1%, 0,2% e 0,4%), no crescimento de milho plantado em solo arenoso no Egito, observaram que houve uma relação positiva para todas as variáveis (altura, umidade na folha, massa fresca e seca) em todos os tratamentos, à medida que a concentração do polímero retentor era elevada, concluindo assim que, o hidrogel é uma alternativa viável para regiões de clima árido.

Para a variável diâmetro de copa, foi possível observar diferença estatística somente na data da segunda análise, sendo o tratamento quatro, aquele que apresentou menor média (2,13 m) quando comparado aos outros tratamentos e o tratamento sete, aquele que apresentou maior média (2,89 m).

Os valores de diâmetro da copa observados pelo presente trabalho para plantas no terceiro ano produtivo, são maiores que os encontrados por Vidal Neto *et al.* (2018), segundo os autores o diâmetro da copa para o clone “BRS 226”, no sexto ano produtivo é de aproximadamente 4,35 m.

Salienta-se que, embora as plantas tenham apresentado um diâmetro médio maior que o apresentado na literatura de referência, tal fato pode ter origem nas podas de condução, que podem ter estimulado uma rebrota intensa no ano seguinte.

Entretanto, o resultado não se repetiu ao longo das demais datas de análise do experimento, demonstrando que ocorreu uma estabilização nos fatores de interferência, desse modo foi possível observar que a aplicação dos condicionadores de solo em diferentes quantidades, não surtiu efeito a longo prazo, no diâmetro de copa das plantas de cajueiro-anão clone “BRS 226”.

Resultado similar às variáveis de crescimento anteriores, foram encontradas para a variável de diâmetro médio do caule, uma vez que em nenhuma das análises realizadas foi possível identificar diferença estatística, evidenciando uma vez mais que, a utilização tanto de biocarvão quanto de hidrogel, não estimularam, neste trabalho, efeito estatístico significativo no diâmetro de caule de plantas de cajueiro-anão clone “BRS 226”.

Os resultados de diâmetro do caule, demonstraram de acordo com os encontrados por De Oliveira *et al.* (2010).

Sovu; Savadogo; Odén (2012), estudando os efeitos do biocarvão de casca de arroz em diferentes variáveis de crescimento de oito espécies diferentes e naturais da região de Laos, puderam observar um resultado misto, uma vez que, para algumas espécies não foi constada diferença na utilização do biocarvão, enquanto que para espécies de crescimento mais lento, foi possível constatar um incremento em seu diâmetro de caule, atribuindo o resultado obtido, à própria fenologia das espécies envolvidas, onde espécies de crescimento tardio se adaptam melhor que espécies consideradas pioneiras.

Schmidt *et al.* (2014), encontraram resultados semelhantes, em estudo aplicando biocarvão de origem arbórea disposto na superfície do solo em videira, atribuindo o resultado obtido ao método utilizado na aplicação do biocarvão, ressaltando que resultados diferenciados poderiam ser obtidos caso o composto tivesse sido incorporado ao solo, criando uma maior disponibilidade de água, devido a sua característica retentora.

De Lima *et al.* (2019) estudando o efeito do biocarvão, oriundo de cama de aviário, no desenvolvimento de planta de pimentão (*Capsicum annuum L.*), puderam constatar um efeito positivo na utilização de doses de biocarvão no diâmetro do caule das plantas, atribuindo esse efeito à quantidade de nitrogênio residual presente no biocarvão, tendo em vista que, o material de origem é rico nesse nutriente.

Bartieres *et al.* (2016), utilizando diferentes combinações de hidrogel com calagem e adubação, em fatores de desenvolvimento de plantas híbridas de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), obtiveram resultado semelhante ao presente trabalho, uma vez que puderam concluir que, a utilização somente do hidrogel nas plantas não resultou em incremento no diâmetro de caule, mesmo tendo observado uma aumento na taxa de sobrevivência e umidade do solo, evidenciando resultados positivos somente com a combinação de hidrogel e adubações.

Já Bernardi *et al.* (2012), encontraram relação positiva entre a utilização de hidrogel e diâmetro de caule em mudas de *Corymbia citriodora*, encontrando um aumento de 23,1% em comparação ao tratamento teste, atribuindo o efeito à capacidade de reter nutrientes que o hidrogel confere.

Os resultados apresentados no presente estudo demonstram que a utilização tanto do biocarvão quanto do hidrogel não surtiu efeito estatístico significativo nas variáveis de crescimento das plantas de cajueiro–anão, clone “BRS 226”.

Cesar *et al.* (2004) demonstraram em experimento utilizando diferentes lâminas de irrigação e regime de sequeiro, que o aumento na disponibilidade de água em áreas de cultivo de cajueiro-anão nos primeiros 20 meses de plantio, não resulta em diferença nas características de altura e diâmetro da copa das plantas.

Esses resultados podem estar relacionados à alta adaptabilidade às condições edafoclimáticas do cajueiro-anão ao nordeste brasileiro, sendo nativo e disperso por todo o litoral da região, pelas áreas de transição e região central (SILVA *et al.* 2010).

Os resultados encontrados por Lima *et al.* (2010) demonstram que por ter uma alta capacidade de plasticidade fisiológica frente às condições de sequeiro, plantas de cajueiro-anão mantêm suas taxas metabólicas e fisiológicas estáveis por todo período do ano, o que evita danos na estrutura das plantas.

Contribuindo para o resultado, o clone utilizado tem como principais características a resistência à resinose e tolerância ao estresse hídrico, sendo o clone de cajueiro-anão mais recomendado para regiões de clima semiárido (PAIVA *et al.* 2002), reforçando assim sua adaptação a condições extremas de escassez hídrica.

Desse modo, as condições edafoclimáticas do local do experimento, podem não ter estimulado o potencial de utilização dos condicionadores de solo, uma vez que as plantas não foram submetidas a estresse hídrico suficiente ou devido à elevada tolerância do cajueiro a longos períodos de escassez hídrica.

4.2 Produção de castanhas e de pedúnculo

Os resultados obtidos de produção média por plantas e produtividade de castanhas para cada tratamento, podem ser consultados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Do mesmo modo, os resultados para a produção média de pedúnculos por planta e sua respectiva produção, podem ser consultados nas Tabelas 11, 12 e 13.

A análise da variável produção de castanhas não demonstrou diferença estatística para os tratamentos com biocarvão e hidrogel, em comparação com a testemunha, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

É possível notar grande amplitude do coeficiente de variação em especial no primeiro ano de análise, tanto para produção de castanha, quanto para a produção de pedúnculos.

Essa característica também foi observada por Serrano; Melo; Vidal Neto, (2017), destacando uma alta variabilidade dentro dos próprios genótipos de cajueiro, muitas vezes relacionados ao regime hídrico da região de cultivo.

Os presentes resultados de produtividade tanto de castanhas quanto de pedúnculo são referentes ao espaçamento utilizado no experimento, quatro metros entre plantas e oito metros entre fileiras.

Ressalta-se que o espaçamento recomendado para a cultura do cajueiro anão é a de oito metros entre plantas e oito metros entre fileiras (ARAÚJO, 2015).

Dessa maneira, a presente área de estudo encontrava-se em sistema de produção adensada.

A escolha do plantio de modo adensado, se deu no momento de implementação do projeto e tinha por objetivo de realizações de análises destrutivas para estudo do sistema radicular, procedimento que não foi realizado, considerando-se não haver detectado diferenças significativas na parte aérea.

Tabela 8 – Produção média de castanhas por planta de cajueiro–anão (g planta⁻¹), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba–CE.

Produção média de castanhas por planta (g planta ⁻¹)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	214,40 ^a	160,81 ^a	190,80 ^a	160,88 ^a	271,42 ^a	259,37 ^a	337,58 ^a	194,64 ^a	320,50 ^a	51,11
2018	1434,63 ^a	1058,56 ^a	1411,16 ^a	1065,41 ^a	1300,49 ^a	1496,97 ^a	1269,00 ^a	1241,51 ^a	1682,42 ^a	26,95
2019	4733,19 ^a	5411,88 ^a	6506,14 ^a	4151,43 ^a	4891,36 ^a	6006,97 ^a	5730,91 ^a	5252,57 ^a	5720,83 ^a	22,34

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 9 – Produtividade de castanhas de clones de cajueiro–anão (kg ha⁻¹), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE.

Produtividade (kg ha ⁻¹)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	66,89 ^a	50,17 ^a	59,52 ^a	50,19 ^a	84,68 ^a	80,92 ^a	105,32 ^a	60,72 ^a	99,99 ^a	51,11
2018	447,60 ^a	330,27 ^a	440,28 ^a	332,41 ^a	405,75 ^a	467,05 ^a	395,92 ^a	387,35 ^a	524,92 ^a	26,95
2019	1476,75 ^a	1688,50 ^a	2029,91 ^a	1295,24 ^a	1526,10 ^a	1874,17 ^a	1788,04 ^a	1638,80 ^a	1784,90 ^a	22,34

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 10 – Peso médio de castanhas de cajueiro–anão (g), clone “BRS 226” por tratamento, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE.

Peso médio de castanhas (g)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	8,22 ^a	7,97 ^a	7,43 ^a	7,05 ^a	7,78 ^a	7,68 ^a	7,78 ^a	8,74 ^a	7,84 ^a	9,26
2018	8,30 ^a	8,96 ^a	8,49 ^a	8,99 ^a	8,68 ^a	8,68 ^a	8,68 ^a	8,96 ^a	8,63 ^a	6,11
2019	9,41 ^a	8,44 ^a	9,50 ^a	9,68 ^a	9,55 ^a	9,36 ^a	9,31 ^a	9,66 ^a	9,46 ^a	8,25

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 11 – Produção média dos pedúnculos por planta de cajueiro–anão (kg planta⁻¹), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE.

Produção média de pedúnculo por planta (kg planta ⁻¹)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	2,29 ^a	2,00 ^a	2,05 ^a	1,76 ^a	2,89 ^a	2,88 ^a	3,46 ^a	2,18 ^a	3,32 ^a	51,92
2018	16,26 ^a	10,79 ^a	15,12 ^a	10,21 ^a	14,21 ^a	14,44 ^a	13,05 ^a	13,27 ^a	15,02 ^a	28,56
2019	50,67 ^a	69,47 ^a	79,24 ^a	51,60 ^a	58,06 ^a	70,10 ^a	72,59 ^a	65,80 ^a	66,23 ^a	24,86

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 12 – Produtividade de pedúnculo de clones de cajueiro–anão (kg ha⁻¹), clone “BRS 226”, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE.

Produtividade (kg ha ⁻¹)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	714,51 ^a	623,81 ^a	640,15 ^a	550,42 ^a	904,74 ^a	900,80 ^a	1081,88 ^a	682,31 ^a	1037,51 ^a	51,92
2018	5074,42 ^a	3369,03 ^a	4719,10 ^a	3187,97 ^a	4433,53 ^a	4507,53 ^a	4073,51 ^a	4140,33 ^a	4688,20 ^a	28,56
2019	15811,41 ^a	21675,45 ^a	24723,49 ^a	16102,03 ^a	18116,50 ^a	21872,78 ^a	22648,99 ^a	20529,57 ^a	20665,36 ^a	24,86

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 13 – Peso médio (g) de pedúnculos de cajueiro–anão clone “BRS 226” por tratamento, utilizando diferentes doses de biocarvão e hidrogel para os anos de produção estudados, Paraipaba – CE.

Peso médio de pedúnculo (g)										
Ano	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	CV (%)
2017	88,69 ^a	99,28 ^a	80,36 ^a	78,29 ^a	93,74 ^a	87,36 ^a	78,4 ^a	93,5 ^a	81,89 ^a	15,13
2018	94,06 ^a	89,29 ^a	91,01 ^a	86,06 ^a	94,24 ^a	86,45 ^a	89,25 ^a	96,84 ^a	77,77 ^a	29,28
2019	99,47 ^a	103,05 ^a	116,35 ^a	120,60 ^a	115,30 ^a	109,00 ^a	118,15 ^a	120,85 ^a	111,77 ^a	8,97

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A produtividade média de castanhas dos tratamentos alcançou valor aproximado de 1512 kg ha⁻¹ no ano de 2019 para o espaçamento de 4m x 8m.

Dos Santos *et al.* (2010) observaram em experimento de sequeiro sem adensamento, que clones de cajueiro–anão “BRS 226” possuem potencial produtivo de 687 kg/ha de castanhas e peso médio de 10,71 g, destacando sua capacidade como um dos clones de cajueiro com maior potencial produtivo e de peso médio de castanhas.

Já De Paiva *et al.* (2002) constataram que o rendimento médio de áreas produtivas de sequeiro que se encontram no semiárido do Estado do Ceará, utilizando o clone “BRS 226” é de 293 kg/ha com peso médio de castanhas de 9,8 g, valor de produção menor que o encontrado no presente estudo, fato que pode estar ligado ao menor adensamento das plantas e às menores precipitações aos quais o estudo foi submetido (763 mm, 475 mm e 395 mm, nos respectivos anos de 2000, 2001 e 2002).

O peso médio das castanhas e o peso médio de pedúnculo no último ano de análise, encontram–se de acordo com os propostos por Vidal *et al.* (2013), demonstrando padronização desse fator para o cajueiro–anão, clone “BRS 226”.

Em cultivos irrigados as produtividades de castanhas e pedúnculos podem alcançar valores de 716 kg/ha e 7907 kg/ha, respectivamente, já no segundo ano de plantio (MIRANDA, 2013), valores de pedúnculos bem acima dos encontrados, demonstrando o potencial de resposta do clone quando submetido a irrigações.

Entretanto, Amorim *et al.* (2011) estudando a produtividade de castanhas do cajueiro–anão “CP–076” sob irrigação e sequeiro, observaram que não houve diferenciação na produtividade entre os dois regimes hídricos, mesmo com toda a demanda hídrica das plantas sendo atendida, concluindo que a ausência de irrigação não afetou a produção de castanhas em relação às plantas irrigadas.

Bezerra; Miranda (1998) observaram em área com clone “CP–076” que a manutenção da umidade do solo via irrigação durante todo o ano, promoveu uma antecipação do ciclo produtivo das plantas, mesmo processo não foi observado no presente estudo, demonstrando que as recargas de água provenientes dos condicionadores não foram suficientes para iniciar a efeito semelhante na produção com antecedência ao período tradicional de colheita para o clone testado.

Ressalta–se que os resultados encontrados no presente trabalho se encontram em desacordo com a maior parte dos estudos que visam analisar o efeito dos condicionadores de solo na produção das culturas.

Hossain *et al.* (2010) utilizando diferentes combinações de biocarvão oriundo de lodo de esgoto e fertilizantes em cultivo de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum*) na Austrália, puderam observar um incremento de 64% na produção de frutos das plantas com biocarvão em comparação com as testemunhas, obtendo resultados ainda maiores com plantas tratados com biocarvão, juntamente com adição de fertilizantes, concluindo assim, que o biocarvão originado de lodo de esgoto promove uma melhoria química e física no solo, que por sua vez, se reflete na produção de frutos.

Chehab *et al.* (2017) em região semiárida da Tunísia, puderam observar que plantas de oliveira (*Olea europaea* L. cv. *Chemlali*) submetidas à aplicação de polímero hidroabsorvente sofreram menos estresse hídrico quando comparadas a plantas sem aplicação, resultando em uma maior produtividade de óleo de boa qualidade.

Entretanto, alguns poucos autores demonstram terem encontrado efeito similar aos do presente trabalho em outras áreas de produção de frutíferas.

Eyles *et al.* (2015) estudando o efeito de biocarvão de *Acacia* sp. em um pomar de macieiras (*Malus domestica*) sob irrigação na Austrália, puderam observar ao final de um período de quatro anos de análise, que o biocarvão não influenciou nas variáveis de produção de frutos, concluindo que plantas perenes, que necessitam de grande aporte de nutrientes e de água durante seu desenvolvimento, não são afetadas pelo uso de biocarvão, atribuindo esse efeito ao tempo de vida útil do biocarvão, recomendando-se ao final do experimento que o condicionador de solo deve apresentar resultados mais promissores em cultivos de ciclo mais curto e áreas de cultivo com maior escassez hídrica.

Bass *et al.* (2016) observaram em experimento na Austrália utilizando biocarvão de madeira de *Salix* sp. em duas diferentes áreas cultivadas com bananeira (*Musa* sp.) e mamoeiro (*Carica papaya*), que embora o biocarvão tenha promovido uma melhora nas características químicas do solo e elevado sua capacidade de retenção hídrica na área de bananeira, não ocorreu diferença estatística na produção de mamão e obtiveram uma redução na produção de bananas nas áreas tratadas com condicionador, atribuindo o efeito a retenção de nutrientes que o biocarvão pode ocasionar e destacando que seu uso, nem sempre, garante melhorias na produção.

Schmidt *et al.* (2014) utilizando biocarvão de origem arbórea encontraram pequena variação na qualidade dos frutos de uva no primeiro ano de cultivo e nenhuma variação nos demais anos, atribuindo o resultado ao método utilizado para incorporação do biocarvão no solo (superfície) e ressaltando que a aplicação de grandes quantidades de biocarvão não são recomendadas para pomares já bem desenvolvidos.

Keivanfar *et al.* (2019) utilizando diferentes doses de polímero superabsorvente em plantas de macieira (*Malus domestica* cv. Borkh), na região semiárida do Iran, com uso de irrigação, puderam observar que não houve diferença na produção de frutos nos dois anos de análise, mesmo com aumento da capacidade de retenção hídrica do solo, atribuindo o resultado encontrado a uma possível diminuição da movimentação de nutriente do solo causada pelo polímero.

Assim, os resultados encontrados no presente estudo demonstram que os condicionadores de solos não expressaram efeito na produtividade de castanhas e pedúnculos nos clones de cajueiro “BRS 226”, sob condições de sequeiro, em semelhança aos trabalhos com outras frutíferas arbóreas.

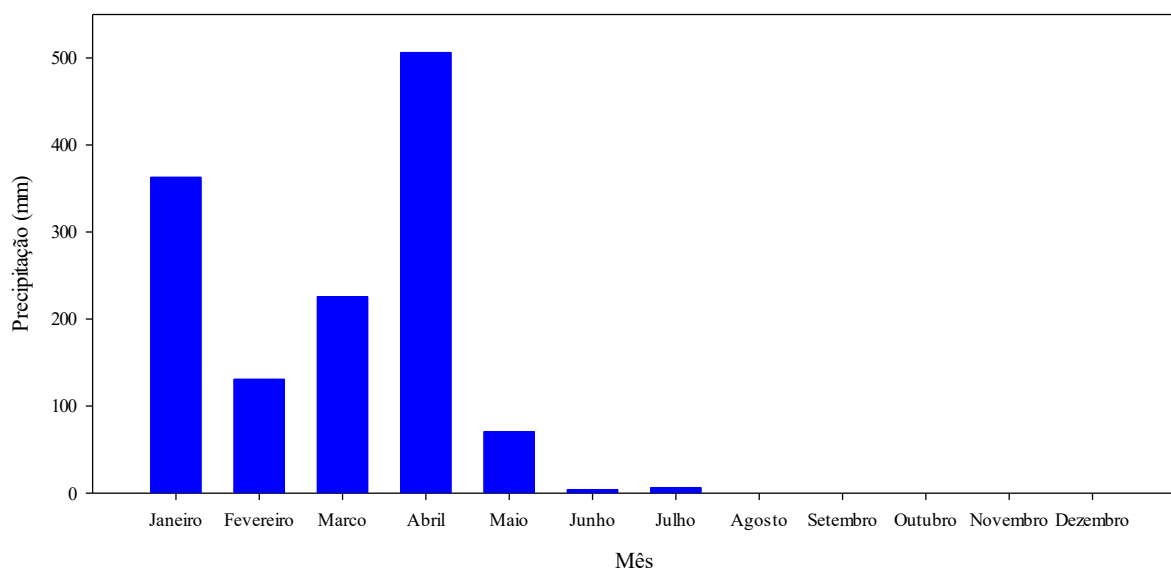
Entretanto, a utilização do método de plantio adensado apresentou valores de produção tanto de castanhas quanto de pedúnculos maiores se comparados aos observados na literatura, sendo necessário maiores avaliações para a melhor compreensão desse efeito.

4.3 Retenção hídrica no solo

Os totais anuais de precipitações durante o experimento foram de 1305,8 mm, 1281,1 mm, 1141,1 mm e 1861,9 mm, nos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019, respectivamente.

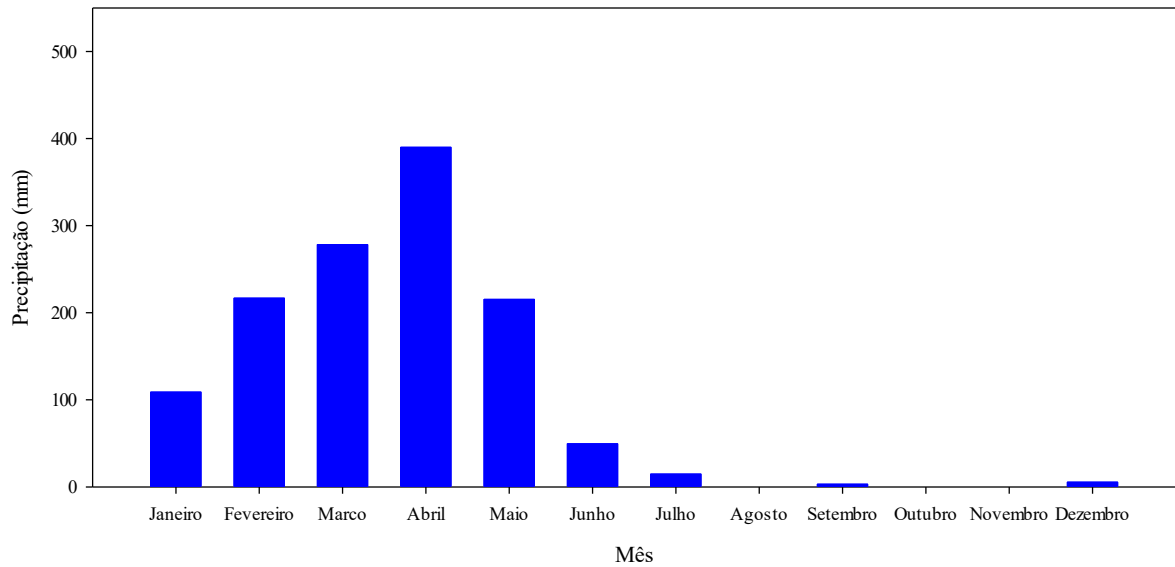
As distribuições mensais das precipitações registradas ao longo do período do experimento podem ser observadas nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

Gráfico 1 – Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2016.



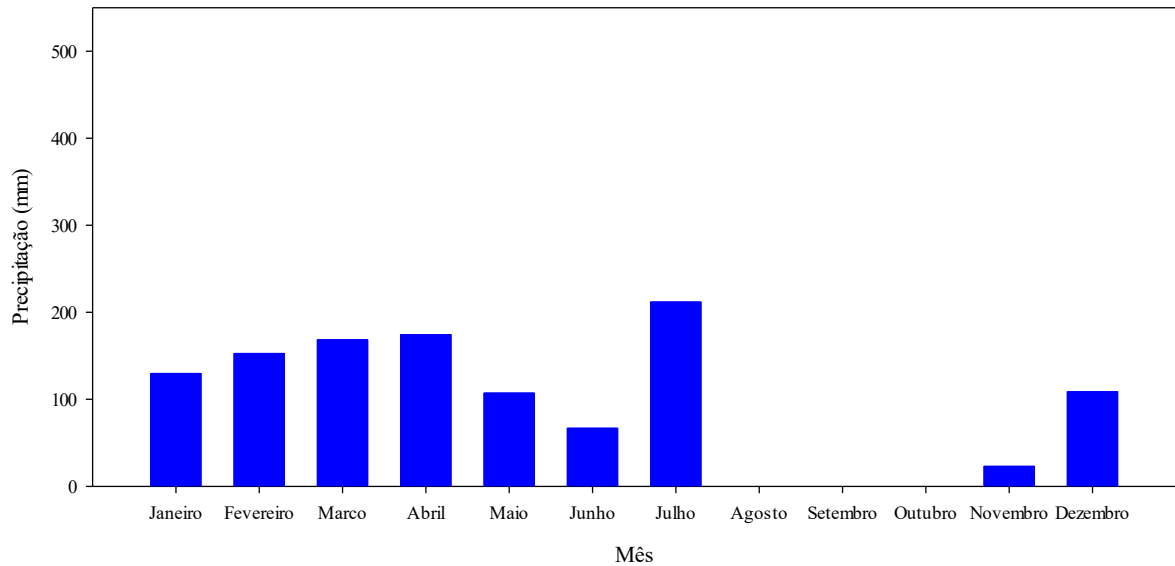
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2– Distribuição mensa das Precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2017.



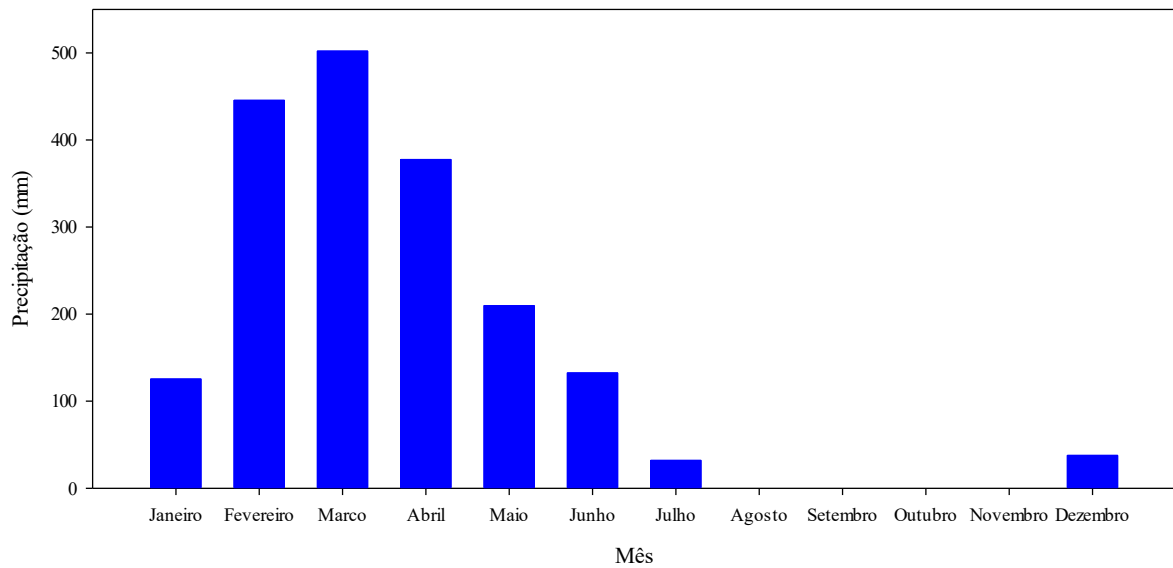
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

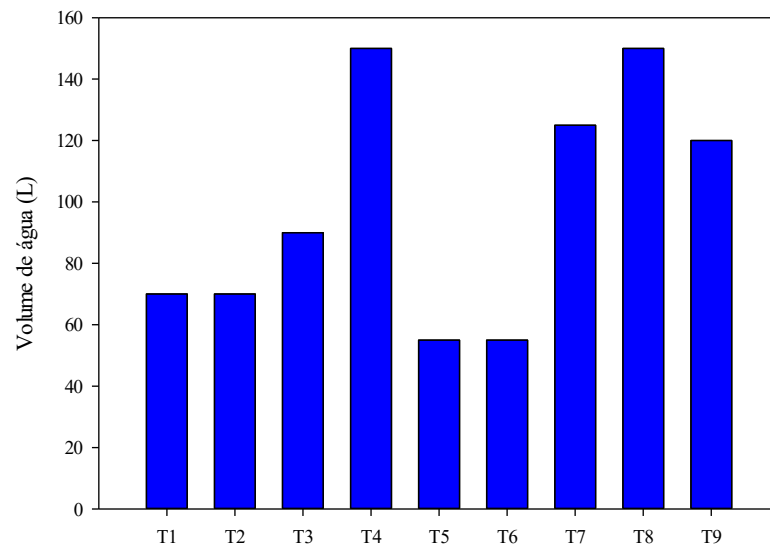
Gráfico 4 – Distribuição mensal das precipitações registradas no Campo Experimental do Curu – Paraipaba – CE, ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O volume de água utilizado por tratamento com irrigação suplementar no ano de 2016 pode ser observado na Figura 10.

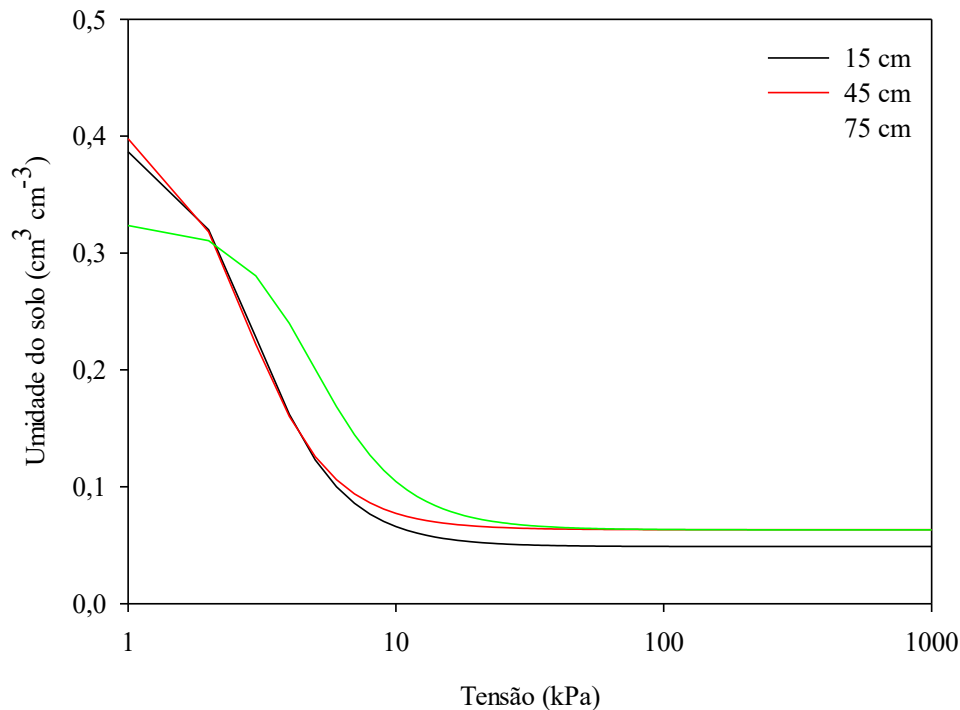
Gráfico 5 – Volume de água utilizado por tratamento como irrigação suplementar no ano de 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As curvas características de água no solo obtidas nas profundidades de 0,15; 0,45 e 0,75 m, podem ser visualizados na Figura 11.

Gráfico 6 – Curvas características do solo em diferentes profundidades do Campo Experimental do Curu – Embrapa – Agroindústria Tropical – Paraipaba – CE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o gráfico da curva característica de água no solo, é possível notar a padronização da curva, em relação aos tipos de solo caracterizados como arenosos, que por possuírem uma maior quantidade de macroporos, em comparação à quantidade de microporos, tendem a ter uma menor capacidade de retenção de água, uma vez que possuem majoritariamente maior quantidade da porção de areia e silte, se comparado a porção de argila constituinte do solo (BRADY; WEIL, 2009).

Desse modo é possível inferir, através da curva característica de água no solo e pela distribuição dos pontos, utilizando os parâmetros da equação de Van Genuchten, que a maior quantidade de água disponível para as plantas se encontra na faixa entre 0 e 50 kPa, sendo que, valores de tensão maiores que os apresentados, resultam em valores menores e praticamente constantes de água no solo.

Nota-se também uma queda brusca do conteúdo de água no solo, nas profundidades de 15 e 45 cm, quando submetidas às primeiras variações de tensão, entre 0 e 10 kPa, caracterizando texturas de solo mais leves.

Esse fenômeno pode ser explicado pela maior macroporosidade das duas primeiras camadas, desse modo, onde a água retida é perdida rapidamente por gravidade, enquanto que o

solo de maior profundidade, por ter uma maior concentração de microporos tende a perder seu conteúdo de água de maneira mais gradual.

Araújo (2018), em trabalho exploratório, na mesma área, para a determinação da classificação morfológica do solo, observou a presença de horizonte B textural (Bt), assim, evidenciando acumulação de argila advinda das camadas superiores, o que resultaria em uma maior retenção.

Embora que nas menores tensões seja possível observar uma menor retenção de água na camada de 75 cm, em relação às camadas superiores, à medida que maiores tensões são empregadas ao solo, é possível notar que a camada mais profunda, retém maiores quantidades de água, comprovando seu maior poder de retenção para tensões superiores a, aproximadamente, 2 kPa.

Utilizando os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) foi possível determinar a variação de umidade diária no solo para cada profundidade de interesse, com base nos tensiômetros instalados na área de estudo.

Ressalte-se que embora tenham sido coletados dados dos tensiômetros instalados em três diferentes profundidades, somente foram considerados para o monitoramento da umidade as profundidades de 0,15 e 0,45 m, uma vez que o conteúdo dos condicionadores de solo dos respectivos tratamentos foi homogeneizado ao solo das covas com profundidade de 0,40 m no momento do plantio.

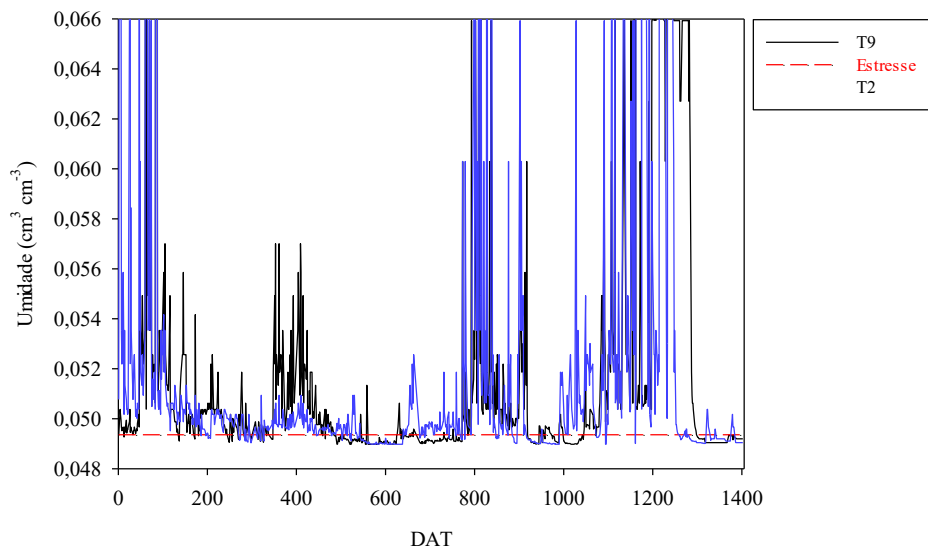
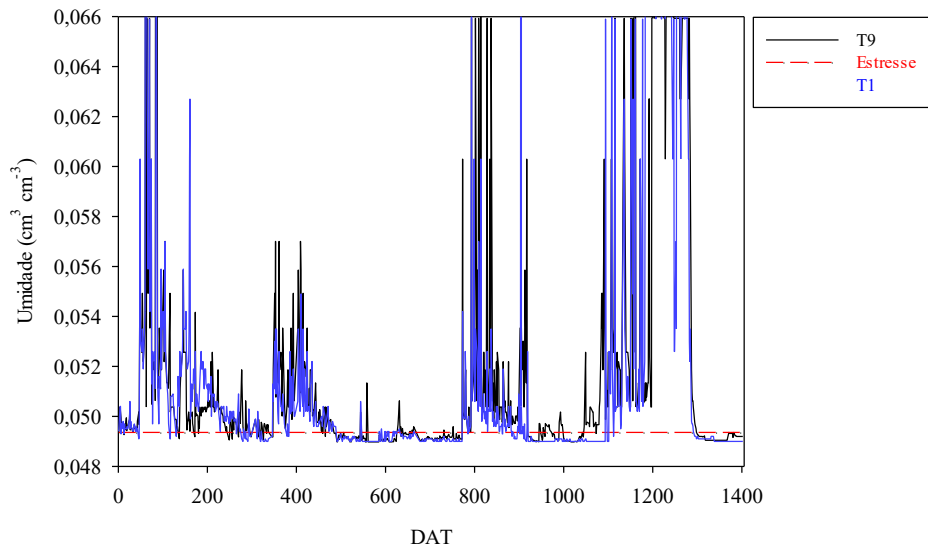
Destaca-se também que, segundo Boni *et al.* (2008), embora o sistema radicular de plantas de cajueiro-anão CCP 09 possa atingir até 1,6 m de profundidade, a maior concentração de raízes se encontra a uma profundidade de 0,25 m e a uma distância de 0,50 m do caule.

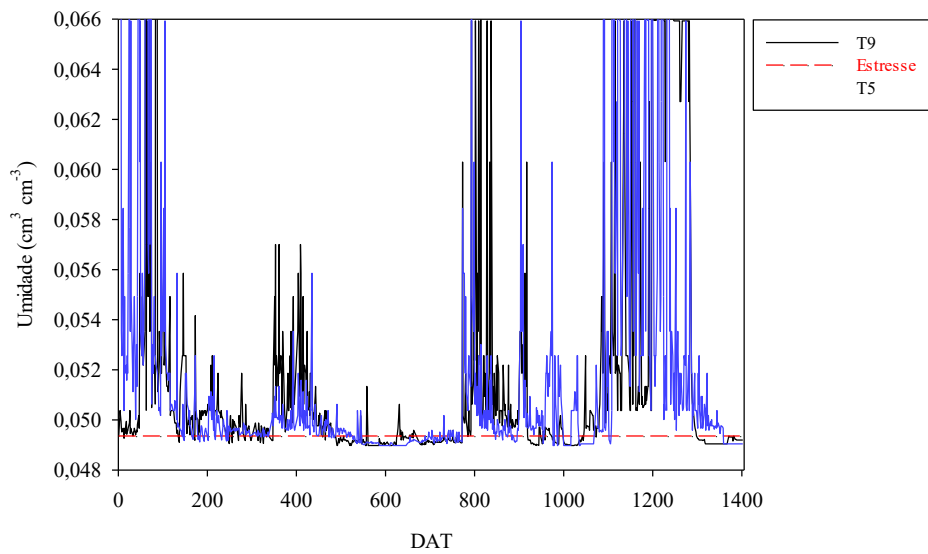
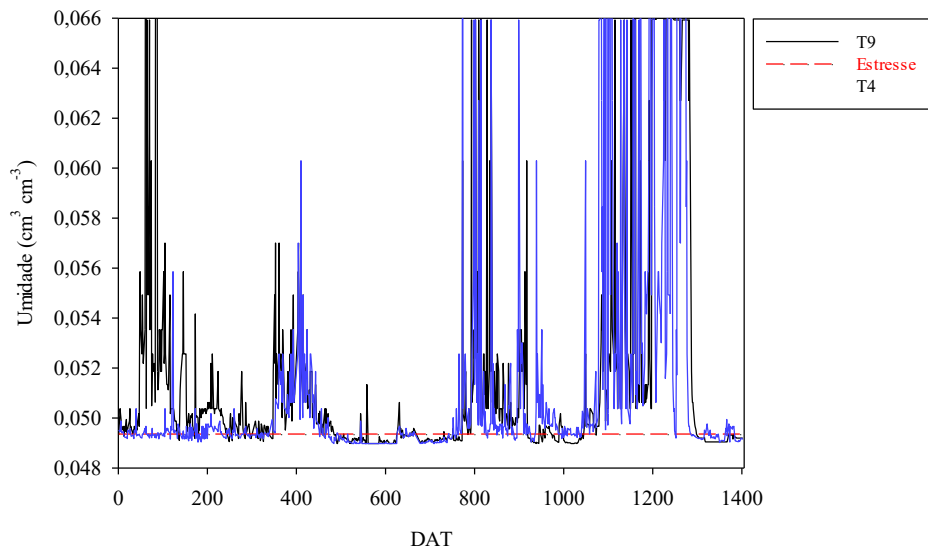
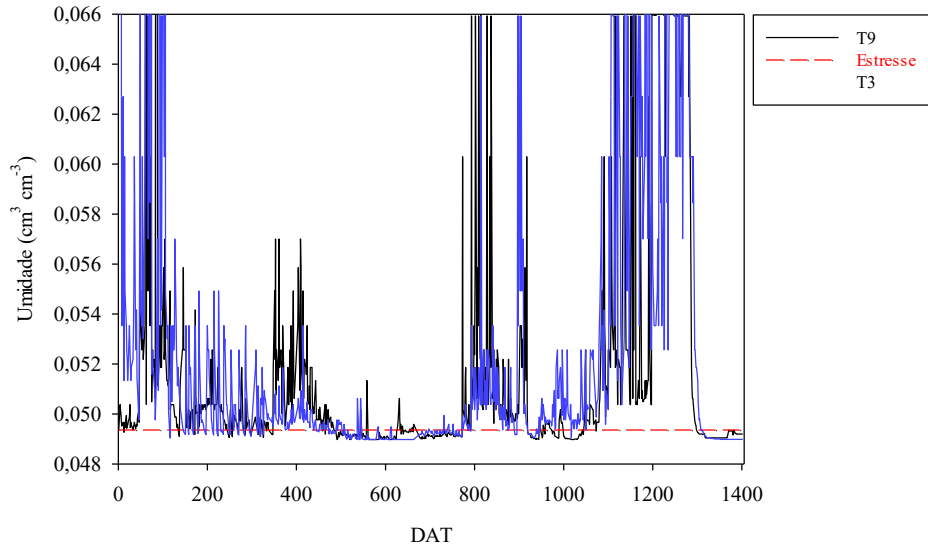
Utilizando a curva característica de água no solo foi determinado como ponto de estresse hídrico para a cultura o ponto de 50 kPa, uma vez que valores de tensões maiores resultavam em pouca variação no conteúdo de água no solo.

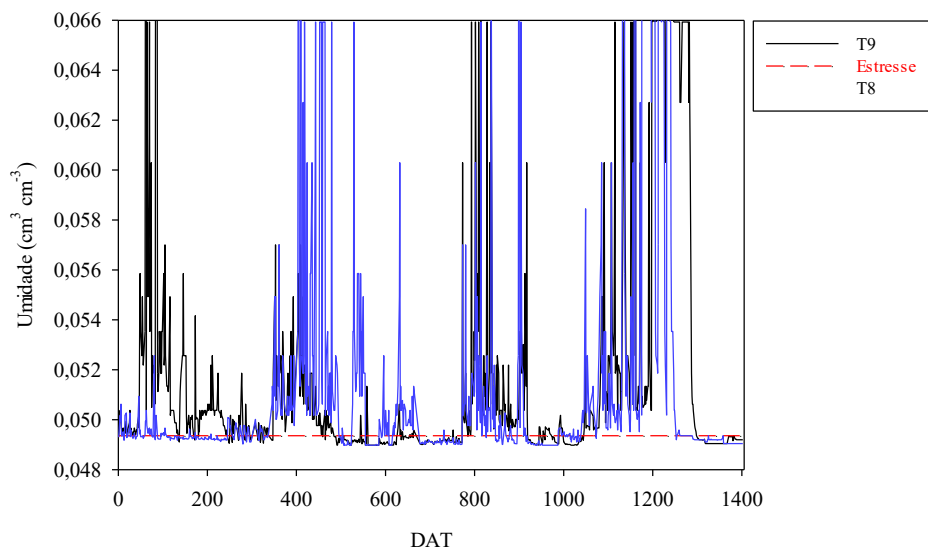
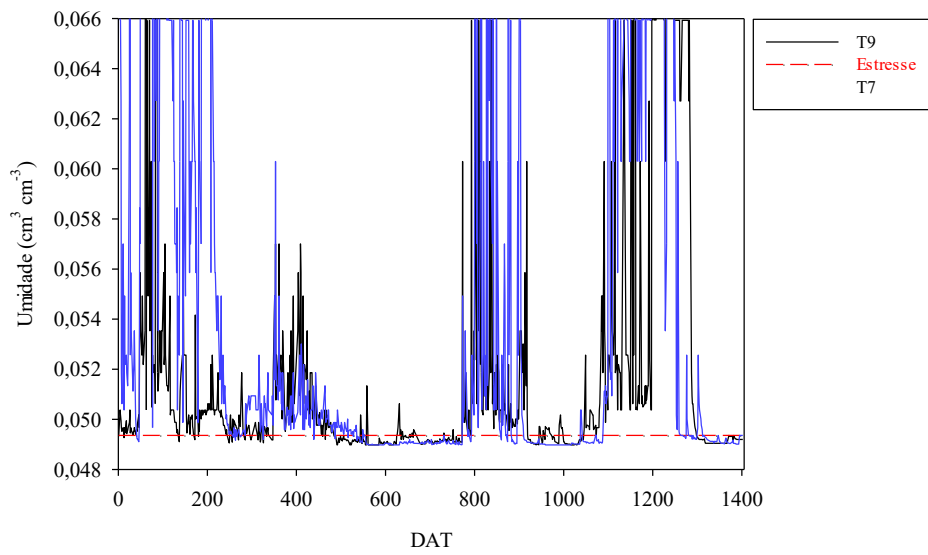
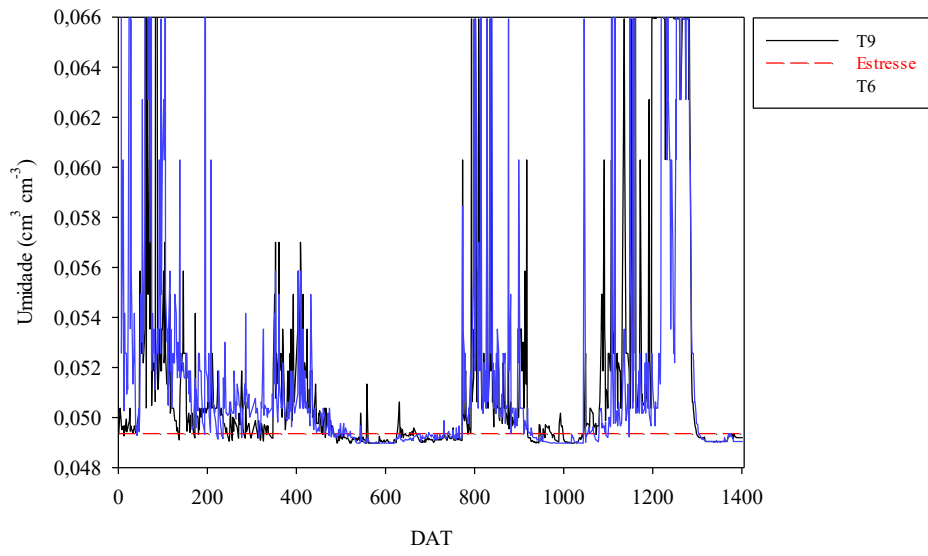
Ressalte-se também, a ocorrência de falha na obtenção de dados dos tensiômetros do tratamento testemunha compreendido entre o período de 704 a 776 DAT (23/12/2017 a 05/03/2018) na profundidade de 0,45m, e desta forma, o período em destaque não foi considerado para as análises de retenção hídrica.

Os gráficos com a variação de umidade em base de volume para cada ano e respectiva profundidade de cada tratamento em comparação com o tratamento testemunha do experimento podem ser visualizados nas Figuras 12 e 13.

Gráfico 7 – Umidade de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na profundidade de 0,15 m, em pomar de cajueiro ano "BRS 226", tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba - CE.

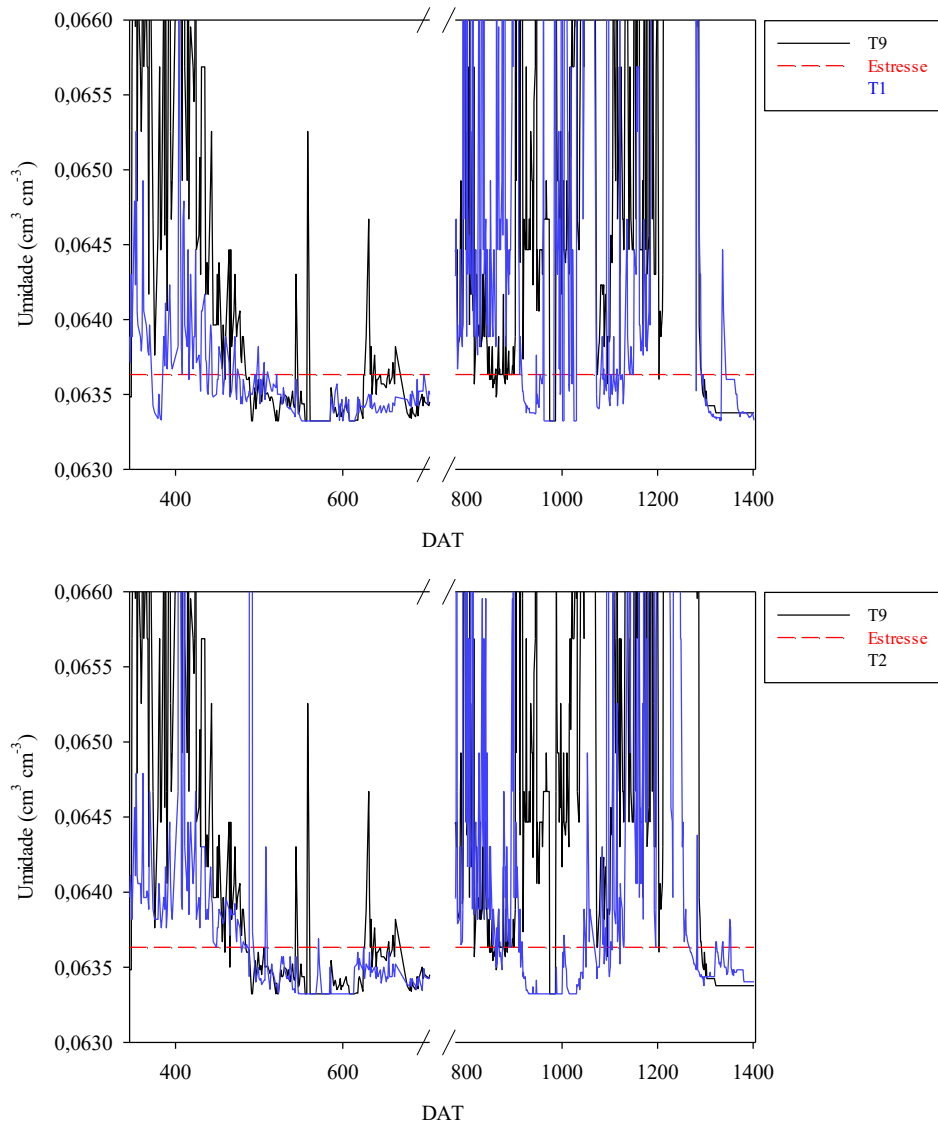


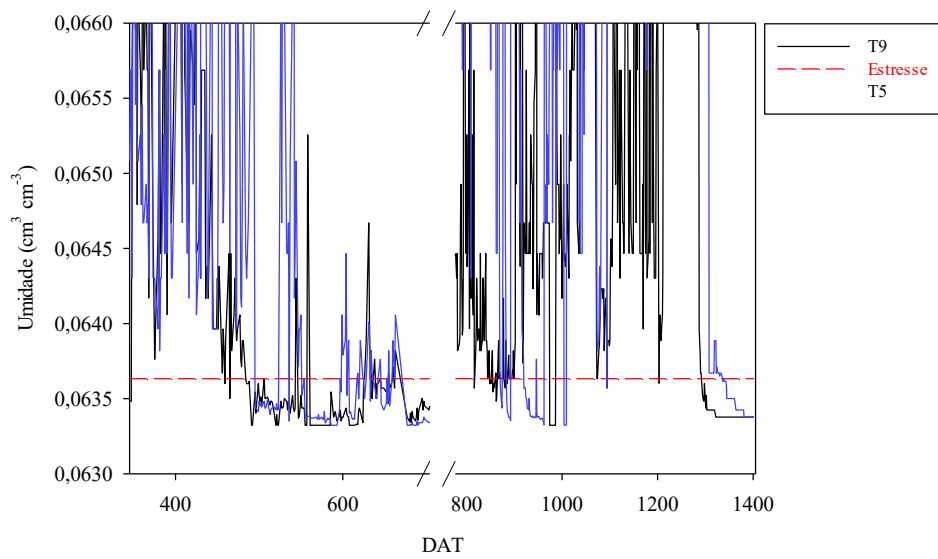
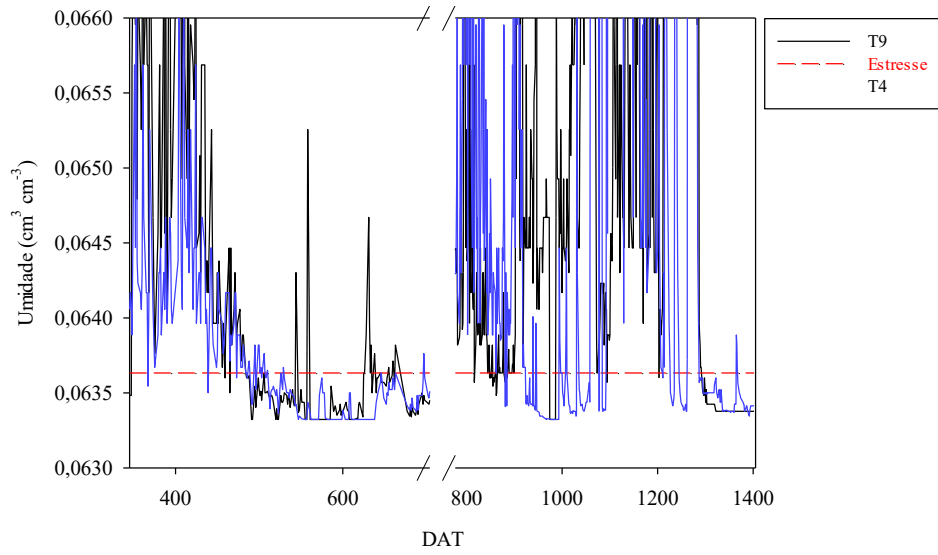
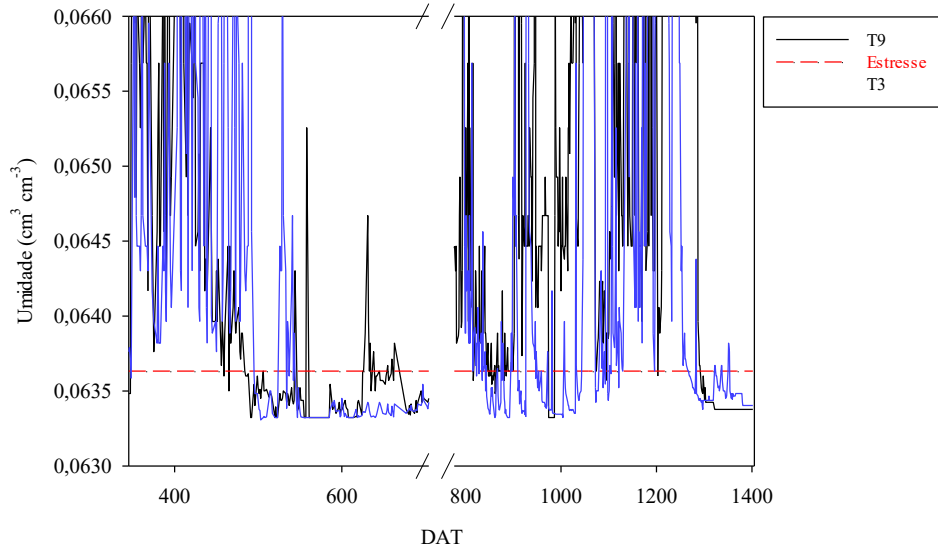


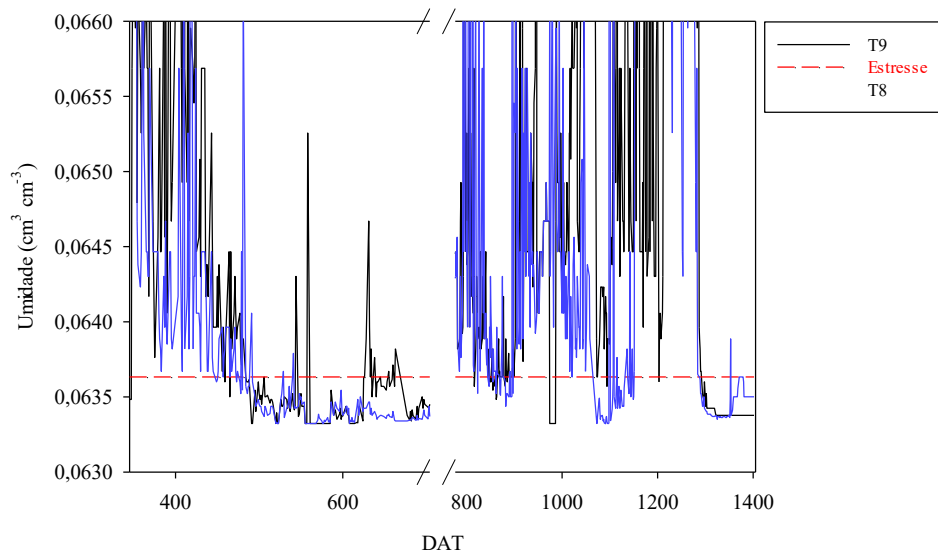
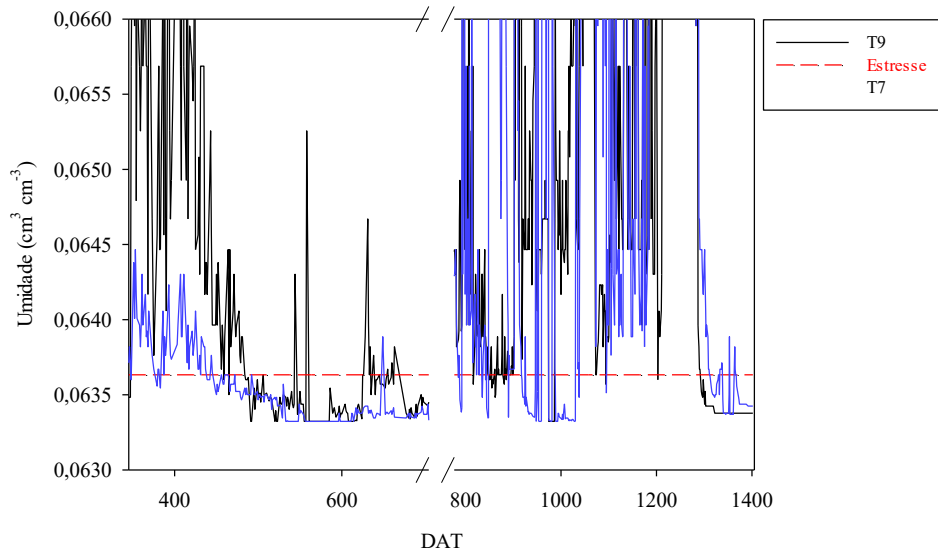
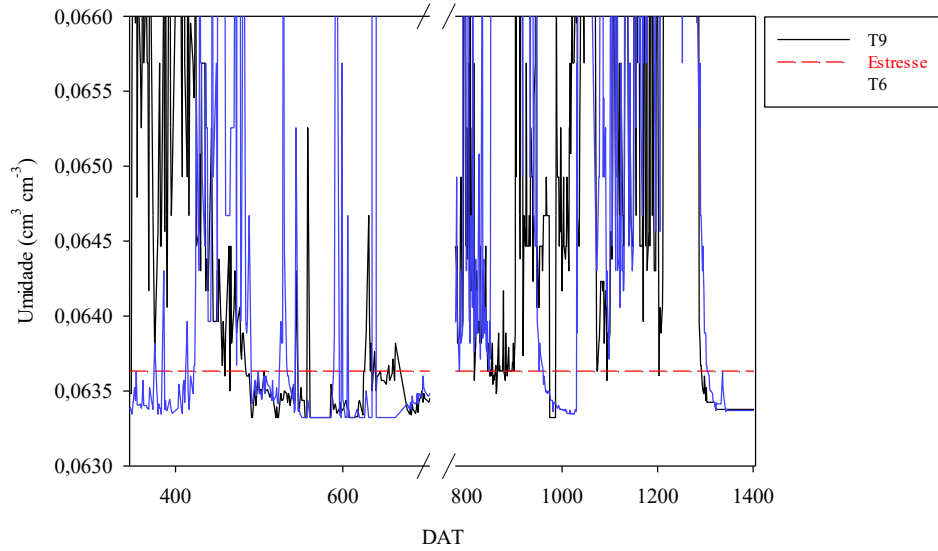


Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Umidade de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na profundidade de 0,45 m, em pomar de cajueiro anão "BRS 226", tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba – CE







Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando os dados diários de umidade foi possível determinar o acumulado dos valores de armazenamento de água no solo acima da tensão de estresse considerado (50 kPa), nos tratamentos para todo o período do experimento e em cada profundidade de utilização dos tensiômetros como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Acumulado anual de água no solo (mm) em diferentes profundidades (m), e em diferentes anos, Paraipaba – CE.

Período	Profundidade	Tratamento								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
2016	0,15	175,87	434,97	467,40	8,43	401,44	629,17	1398,28	8,37	136,51
	0,45	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2017	0,15	31,99	21,99	36,73	41,03	22,02	35,88	39,24	165,64	52,61
	0,45	7,02	38,53	78,50	18,34	147,12	149,18	4,63	35,12	43,20
2018	0,15	81,63	240,02	123,31	125,64	117,64	147,26	325,31	91,53	120,40
	0,45	374,12	113,93	130,96	63,97	590,21	270,31	207,16	106,06	132,19
2019	0,15	950,19	888,38	594,96	496,26	619,98	538,80	796,25	805,95	516,01
	0,45	649,09	298,11	439,79	303,14	816,52	522,25	461,81	280,01	336,00

Fonte: Dados da pesquisa.

É possível notar que no primeiro ano do experimento, enquanto se utilizava irrigação suplementar, a maioria dos tratamentos apresentou valores de acúmulo de água disponível no solo, acima do ponto de estresse hídrico, e valores maiores que o do tratamento testemunha (136,51 mm), com exceção dos tratamentos de biocarvão e hidrogel que apresentavam maiores quantidades por cova, T4 e T8, com acúmulo disponível no solo de 8,43 mm e 8,37 mm respectivamente.

Com relação aos maiores valores de armazenamento para o período de 2016, se destacam os tratamentos T3 acumulando 467,40 mm e T7 armazenando 1398,28 mm, respectivamente 2,0 quilogramas de biocarvão por cova e 0,6 gramas de hidrogel por cova.

O ano de 2017, início do período de sequeiro, se destaca dos demais períodos pelo baixo volume de água acumulada em todos os tratamentos e em ambas as profundidades de estudo, sendo os tratamentos T4 e T8 os que obtiveram melhor resultado com acúmulo de 41,03 e 165,64 mm de água respectivamente para a profundidade de 0,15m e os tratamentos T3 e T6 para a profundidade de 0,45 m, acumulando 78,50 e 149,18 mm de água respectivamente.

Para o ano de 2018 foi possível observar uma elevação no valor de acúmulo de água no solo em todos os tratamentos quando comparada ao período anterior de análise, em ambas as profundidades.

Os melhores resultados observados para a primeira camada de solo do ano de 2018 foram os tratamentos T2 e T7, respectivamente 240,02 e 325,31 mm de água, e para a segunda

camada de solo os tratamentos de maior volume de água acumulada no solo foram os tratamentos T1 e T5 com 374,12 e 590,21 mm de água armazenada no solo.

É possível observar que embora o ano de 2017 tenha sido submetido a valores de precipitação maiores que o ano de 2018, 1281,1 e 1141,1 mm respectivamente, os valores de água acumulada no solo do terceiro ano de análise apresentaram maiores valores em comparação com o segundo ano.

Esse resultado pode ter como origem a disposição temporal das chuvas observadas no ano de 2018, que por apresentarem melhor distribuição, pôde favorecer uma melhor distribuição de água no solo, em especial na primeira camada, se comparada ao período de 2017.

No período de análise compreendido no ano de 2019, foi possível observar os maiores valores de acúmulo de água no solo de todo o período do experimento para ambas as profundidades, sendo os tratamentos T1 e T7, 950,19 e 796,25 mm, na profundidade de 0,15 m e os tratamentos T1 e T5, 649,09 e 816,52 mm, na profundidade de 0,45 m, os que apresentaram os maiores valores de água acumulada para os tratamentos com uso do biocarvão e hidrogel, respectivamente.

Foi possível observar que para todo o período do experimento, pelo menos uma das doses dos tratamentos com biocarvão ou hidrogel, apresentou valores de acúmulo de água no solo maiores que o tratamento testemunha, demonstrando assim, que os dois condicionadores de solo ainda surtiram efeito na retenção hídrica de água mesmo após quatro anos de sua incorporação nas covas.

Spokas (2010) estudando o efeito da estabilidade do carbono utilizando a razão molar O/C para a determinação da vida útil de biocarvões originados de diferentes matérias primas, concluiu que dependendo do valor da relação O/C a vida útil do biocarvão pode variar de 100 anos ($O/C = 0,6$) até 1000 anos ($O/C = 0,2$), demonstrando a grande amplitude temporal de ação desse condicionador de solo.

Nguyen *et al.* (2009) analisando o perfil de um solo agrícola que foi tratado com biocarvão em diferentes anos por um período de 100 anos, concluíram que a maioria do biocarvão se degradou nos primeiros 30 anos após sua aplicação, se tornando estável no período seguinte com pouca alteração de sua constituição.

Já Hammes *et al.* (2008) estudando a estabilidade do carbono de áreas tratadas com biocarvão ao longo de 100 anos na Rússia, puderam concluir que 25% do conteúdo de carbono depositado no solo foi degradado nesse período de tempo, sendo necessários aproximadamente mais 293 anos para a completa degradação do biocarvão depositado.

O período de efeito do hidrogel se encontra dentro do descrito por Saad; Lopes; Santos (2009), que é entre um e cinco anos de vida útil, ressaltando que a variação desse tempo varia conforme a granulometria do polímero utilizado.

Wilske *et al.* (2014) destacam que a degradação dos polímeros hidroabsorventes geralmente utilizados na agricultura, constituídos de ácido poliacrílico, apresentam uma taxa de degradação que varia entre 0,12 a 0,24% para cada 6 meses no solo.

Banedjschafie; Durner (2015) destacam que o efeito dos polímeros hidroabsorventes no solo, é afetado também pela salinidade da água utilizada, fazendo que o efeito do polímero diminua ao longo de vários ciclos de hidratação e secagem.

Os maiores valores de água acumulada no solo no ano de 2019 podem ser explicados pelo grande volume de água precipitada na região durante esse período, atingindo o valor de 1861,9 mm.

Desse modo é possível inferir que o potencial de acúmulo de água no solo pelos condicionadores utilizados, está diretamente ligado à disponibilidade de água no ambiente.

Contribuindo com a característica descrita anteriormente, é possível observar que os maiores valores de acúmulo de água no solo obtidos durante o experimento se encontram nos anos de maior oferta hídrica, seja via irrigação suplementar no ano de 2016, ou por elevado volume de chuvas no ano de 2019.

O efeito de aumento do acúmulo de água no solo encontrado pelo uso do biocarvão concorda com os observados por Suliman *et al.* (2017) em solo arenoso, onde ao utilizar biocarvões de diferentes fontes e com diferentes temperaturas de fabricação, puderam observar um incremento de armazenamento de água no solo, cerca de 30,22% maior em solos tratados com biocarvão do que em solos sem tratamento, atribuindo esse resultado à elevação da porosidade do solo causada pelo uso do biocarvão, e que por sua vez está diretamente ligada a matéria prima e método de fabricação do condicionador.

Yu *et al.* (2017) demonstraram em experimento que a utilização do solo tratado com 10% do seu peso com biocarvão de duas fontes diferentes, resultaram em um acréscimo na capacidade de retenção de água em solos arenosos na ordem de 133% e 228%, quando comparados ao solo sem uso do condicionador, concluindo que os valores de água retida com a utilização do biocarvão são determinadas principalmente pelo seu material de origem e o custo para obtenção da matéria prima de sua produção.

Efeito semelhante foi obtido também em solos argilosos como demonstrado por Liu *et al.* (2016), onde observaram que o biocarvão utilizado apresentou maior quantidade de poros menores que 10 μm e menor quantidade de poros maiores que 10 μm quando comparado ao

solo do experimento, resultando numa elevação do armazenamento de água no solo de valores entre 0,047 – 0,049 cm³ cm⁻³ para valores entre 0,056 – 0,068 cm³ cm⁻³.

Utilizando um polímero hidroabsorvente em solo de textura arenosa, Banedjschafie; Durner (2015), observaram efeito semelhante ao encontrado no presente estudo, destacando que a utilização do condicionador de solo promoveu um aumento de 18% da água disponível para as plantas utilizando 1% do polímero no solo, atribuindo esse efeito ao aumento da porosidade do solo causada pelo condicionador.

Dorraji; Golchin; Ahmadi (2010), demonstraram, em experimento, que a utilização de diferentes doses de polímero hidroabsorvente, em solos de diferentes texturas, promoveu um aumento na água disponível para as plantas em todos os tratamentos de maneira que, plantas de milho (*Zea mays*) submetidas a um turno de rega de cinco dias, não atingiram o ponto de *stress* hídrico, mostrando assim, a capacidade do polímero absorvente em armazenar água no solo por períodos maiores que solos sem o tratamento.

Na tabela 14 é possível observar o acúmulo de água no solo acima do ponto de estresse considerado (50 kPa) total para cada ano do experimento.

Tabela 15 – Acúmulo anual de água no solo (mm) em pomar de cajueiro–anão “BRS 226” tratado com diferentes doses de biocarvão e hidrogel por tratamento, Paraipaba – CE.

Ano	Tratamento								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
2016	175,87	434,97	467,40	8,43	401,44	629,17	1398,28	8,37	136,51
2017	39,01	60,52	115,23	59,36	169,13	185,06	43,87	200,75	95,80
2018	455,76	353,95	254,27	189,61	707,85	417,57	532,47	197,59	252,59
2019	1599,28	1186,48	1034,74	799,41	1436,50	1061,05	1258,06	1085,96	852,01

Fonte: Dados da pesquisa.

No ano de 2016 é possível observar um comportamento semelhante nos tratamentos com biocarvão e com polímero hidroretentor quando comparado ao tratamento testemunha, onde o volume de água acumulada aumentou, na medida que as doses também aumentavam, seguindo de uma queda abrupta do acúmulo de água disponível nos solos tratados com as maiores doses dos condicionadores.

Para o período de sequeiro compreendido entre os anos de 2017, 2018 e 2019, foi possível observar que as maiores quantidades de água retida no solo estão relacionadas com as menores doses de condicionadores por cova de cada tratamento, seguido de uma tendência de queda na capacidade de armazenamento disponível de água no solo após um ponto de máxima.

Os resultados de menor umidade relacionados as maiores doses de condicionadores encontrados não estão de acordo com aqueles observados pela maioria dos trabalhos semelhantes, que descrevem uma relação positiva entre a quantidade de condicionadores de solo e aumento na capacidade de retenção hídrica do solo (DORRAJI; GOLCHIN; AHMADI, 2010; PEAKE; REID; TANG, 2014; YANG *et al.*, 2014; YU; RAICHLE; SINK, 2013)

Entretanto, é possível observar o mesmo fenômeno em alguns poucos trabalhos que demonstram que grandes quantidades de condicionadores podem apresentar uma diminuição na capacidade de disponibilidade hídrica do solo.

Woodhouse e Johnson (1991) analisando diferentes polímeros hidroabsorventes em diferentes culturas, observaram que maiores concentrações do condicionador de solo retém a água absorvida com tamanha força, que parte da água não se torna disponível para as plantas, citando que o uso de grandes quantidades do polímero hidroabsorvente não necessariamente resultará em efeito benéfico para as plantas.

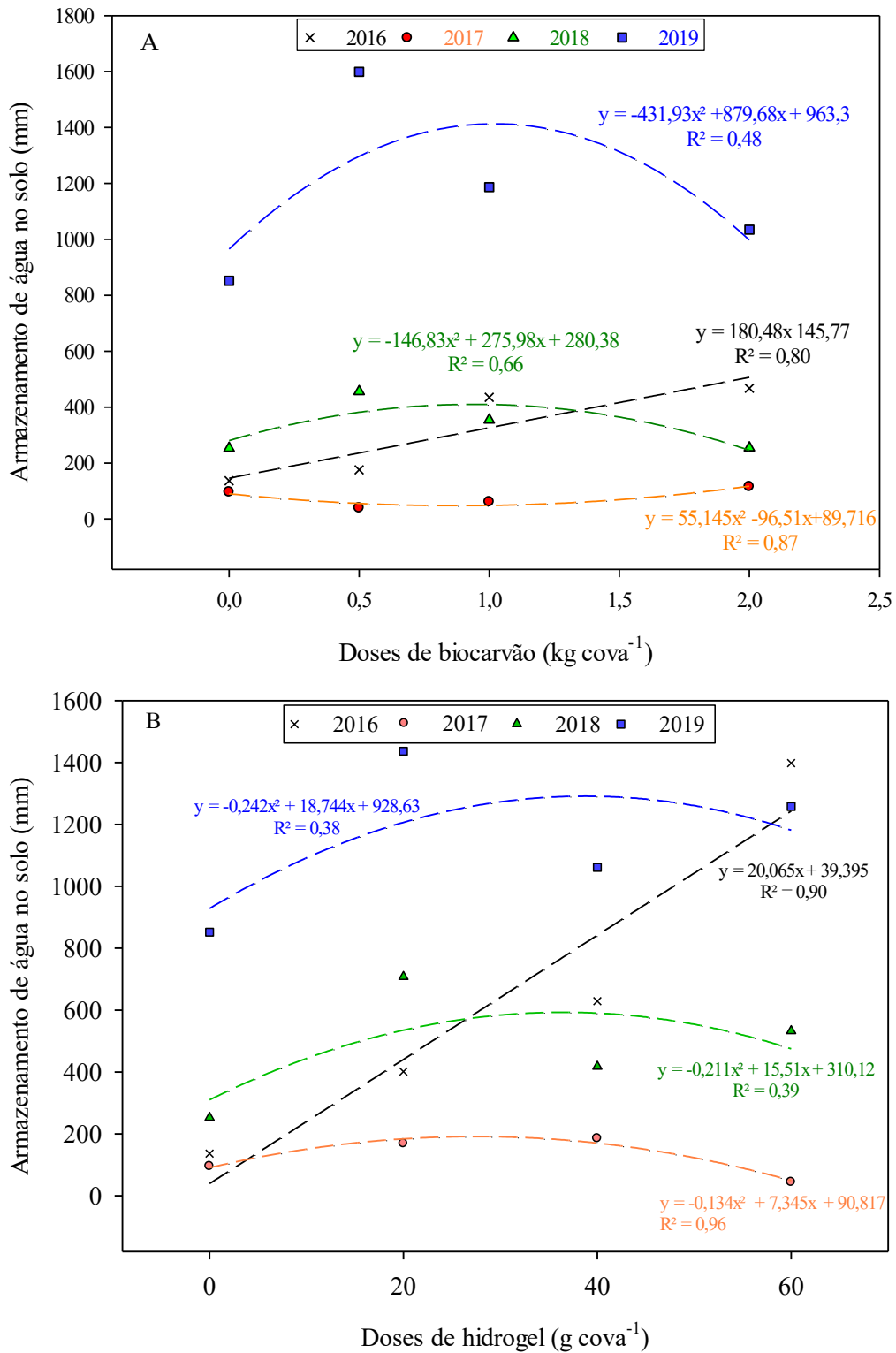
Liang e Liu (2006), estudando o efeito de diferentes polímeros hidroabsorventes, puderam desenvolver um ajuste ótimo entre a concentração de polímero de poliácridamida e a capacidade de absorção de água. Os autores puderam constatar que a capacidade de absorção de água do polímero responde positivamente à elevação de sua concentração, até um ponto de máxima, seguida de um decréscimo, atribuindo esse comportamento à elevação da reticulação do polímero, que causa um enrijecimento da estrutura, o que por sua vez, causa uma diminuição nos espaços disponíveis para retenção de água.

Não foi verificado registro em trabalhos científicos que demonstrem efeito semelhante para a variação do armazenamento de água no solo provocado por diferentes doses de biocarvão.

Entretanto por ter o mesmo princípio estrutural que o polímero hidrorretentor, é possível que as conclusões descritas pelos autores anteriormente citados, também possam ser aplicadas, em específico, ao biocarvão originado de lenha de cajueiro, sendo necessário mais estudos para o completo entendimento da característica de armazenamento apresentada pelo biocarvão originado desse material.

Com base nessa característica de menor efeito de retenção nas maiores doses dos tratamentos, optou-se pela retirada dos dados referentes aos tratamentos T4 e T8, de modo a gerar um ajuste de regressão para cada ano e tipo de condicionador (Figura 14).

Gráfico 9 – Curvas de ajuste do acúmulo de água no solo (mm) em função do condicionador em pomar de cajueiro-anão "BRS 226", tratados com biocarvão (A) e hidrogel (B), em diferentes períodos de análise, Paraipaba – CE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o ano de 2016 foi ajustado um modelo de regressão linear para os tratamentos com biocarvão ($R^2 = 0,80$) e polímero hidrorretentor ($R^2 = 0,90$) que descreve a relação entre doses do condicionador e o armazenamento de água no solo.

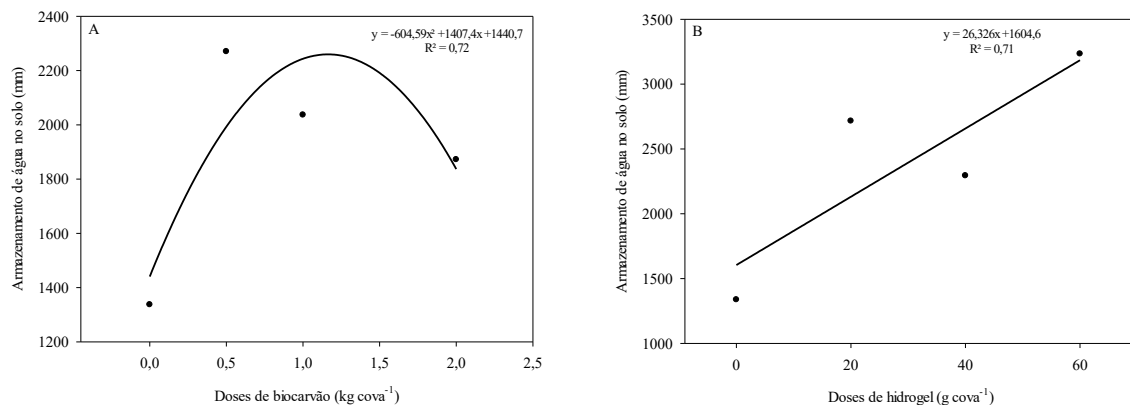
Para os demais anos, nos dois tipos de condicionadores, foram ajustados modelos de regressão linear polinomial de segunda ordem. Entretanto, é possível observar uma tendência de diminuição no coeficiente de determinação em relação à duração do período do experimento.

A diminuição da relação entre armazenamento e dose do condicionador ao longo dos períodos do experimento pode ser atribuída ao aumento do sistema radicular, que elevou o consumo de água das plantas de modo que a quantidade de condicionador presente nas covas não foi suficiente para a ocorrência de uma relação mais significativa.

Vinh *et al.* (2015), estudando o efeito da utilização de $40 \text{ kg planta}^{-1}$ de biocarvão de casca de arroz distribuído em um raio de 1,5 m a partir do caule de plantas de cajueiro com seis anos de idade, puderam observar uma diminuição na umidade do solo em comparação com plantas não tratadas com biocarvão. Atribuindo como uma das causas desse efeito o rápido consumo da água disponível no solo pelas plantas.

Repetindo o processo de retirada das maiores doses dos dois condicionadores, e observando o efeito acumulado total de armazenamento de água no solo para todo o período do experimento (Figura 15), foi possível ajustar a relação de doses de biocarvão e armazenamento de água no solo ao modelo quadrático ($R^2 = 0,72$), demonstrando um efeito mais acentuado na diminuição da capacidade de armazenamento em relação as doses aplicadas por cova, atribuindo ao tratamento T1 o valor máximo de armazenamento observado.

Gráfico 10– Ajustes do armazenamento de água total (mm) para pomar de cajueiro–ano "BRS 226", tratados com biocarvão (A) e hidrogel (B), em diferentes períodos de análise, Paraipaba – CE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a relação entre armazenamento de água do solo e doses de hidrogel, o modelo de ajuste linear foi o que apresentou melhor relação ($R^2 = 0,71$), sendo o ponto de máxima o tratamento T7.

Esses tratamentos isolados, representam aproximadamente um aumento da retenção hídrica no solo de 152% para o biocarvão e 203% para o hidrogel, quando comparados à testemunha.

Desse modo, os tratamentos T1 e T7, apresentam o maior potencial de retenção de água no solo para áreas cultivadas com cajueiro anão “BRS 226”.

5 CONCLUSÕES

O biocarvão de lenha de cajueiro, quanto o polímero hidroretentor apresentam capacidade de promover um aumento na retenção hídrica do solo.

A utilização de 0,5 kg cova⁻¹ de biocarvão e 60 g cova⁻¹ de hidrogel apresentaram melhores resultados de armazenamento total de água no solo.

Ressalta-se que, doses elevadas de ambos os condicionadores, 4,0 kg cova⁻¹ de biocarvão e 80 g cova⁻¹ de hidrogel, podem resultar em menor quantidade de água disponível para as plantas, se comparado a testemunha.

O aumento da retenção hídrica promovida pelas diferentes doses de condicionadores de solo utilizados não apresentou efeito significativo no crescimento, produção de castanhas e produção de pedúnculos, quando utilizados em plantas de cajueiro-anão “BRS 226”, portanto, não sendo o uso indicado para cultivos de cajueiro nas condições submetidas.

REFERÊNCIAS

- ABEDI-KOUPAI, J.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v. 31, n. 2, p. 317–331, 2008.
- AHMED, E. M. *et al.* An innovative method for preparation of nanometal hydroxide superabsorbent hydrogel. **Carbohydrate Polymers**, Reino Unido, v. 91, n. 2, p. 693–698, 2013.
- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, Cairo, v. 6, n. 2, p. 105–121, 2015.
- AKHTAR, S. S. *et al.* Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 138, p. 37–44, 31 maio 2014.
- ALMEIDA, M. L. B. *et al.* Características físicas de pedúnculos de clones de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) produzidos em função da variação ambiental e temporal. **Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas**, v. 12, p. 41–49, 2018. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/7509/pdf. Acesso em: 06 de julho de 2019.
- AMORIM, A. V. *et al.* Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1014–1020, 2011.
- AOUADA, F. A. *et al.* Correlação entre parâmetros da cinética de intumescimento com características estruturais e hidrofílicas de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1482–1490, 2009.
- ARAÚJO, J. P. P. **Caju: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Livraria Embrapa, 1998.
- ARAÚJO, T. A. **Caracterização e classificação de solos desenvolvidos na formação Barreira em Paraipaba-CE**. 2018. 46f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- BANEDJSCHAFIE, S.; DURNER, W. Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, n. 5, p. 798–806, out. 2015.
- BARROS, L. M. Botânica, origem e distribuição geográfica. *In*: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Eds.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1995. p. 53–69.
- BARTIERES, E. M. M. *et al.* Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.36, n. 86, p. 145–151, 2016. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/990/503>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2020.

- BASS, A. M. *et al.* Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 550, p. 459–470, 15 abr. 2016.
- BERNARDI, M. R. *et al.* Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 67–74, 2012.
- BEZERRA, F. C.; MIRANDA, F. R. DE. **Efeito da densidade de plantio sobre o crescimento e a produção de cajueiro-anão-precoce irrigado**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1998.
- BHARDWAJ, A. K. *et al.* Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 2, p. 406–412, mar. 2007.
- BIZINOTO, T. K. M. C. *et al.* Cultivo da mamoneira influenciada por diferentes populações de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 367–370, 2010.
- BONI, G. *et al.* Distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 1–6, 2008.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. São Paulo: Bookman Editora, 2009.
- BRASIL. **Delimitação do Semiárido Brasileiro Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.
- BROWN, R. Biochar production technology. *In: Biochar for environmental management*. Routledge, 2012. p. 159–178.
- CASTALDI, S. *et al.* Impact of biochar application to a mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. **Chemosphere**, Oxford, v. 85, n. 9, p. 1464–1471, nov. 2011.
- CAVALCANTI, J. J. V.; VIDAL NETO, F. DAS C.; BARROS, L. DE M. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. *In: CAVALCANTI, J. J. V. Agronegócio caju: práticas e inovações*. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p. 151–174.
- CESAR, R. *et al.* Influence of irrigation levels on the growth phenology of common and dwarf cashew progenies during their first twenty months. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 1, p. 96–103, 2004.
- CHEHAB, H. *et al.* Effect of the Super Absorbent Polymer Stockosorb[®] on leaf turgor pressure, tree performance and oil quality of olive trees cv. Chemlali grown under field conditions in an arid region of Tunisia. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 192, p. 221–231, 1 out. 2017.
- CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 45–58,

2015.

DE LIMA, W. B. *et al.* Potencial nutricional do biocarvão e nitrogênio na cultura do pimentão. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA*, 76., 2019, Palmas. **Anais [...]**. Palmas/TO: CREA-TO, 2019.

DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos-CGEE, p. 590–605, 2016.

DE OLIVEIRA, R. G. *et al.* Efeito de Doses de Biocarvão no Solo sobre a Altura de Sorgo e Guandu. *In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO*, 4., 2015, Petrolina. **Anais [...]**. Petrolina: Embrapa Seminário, 2015.

DE PAULA, P. F. A. Análise da viabilidade econômica do cultivo do cajueiro irrigado e sob sequeiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.31, n. 2, p. 178–187, 2000.

DE SOUSA, A. A. T. C. *et al.* Biochar de lodo de esgoto: efeitos no desenvolvimento agrônomo do rabanete. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/17336>. Acesso em: 9 de novembro de 2019.

DING, Y. *et al.* Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 213, n. 1–4, p. 47–55, 2010.

DORRAJI, S. S.; GOLCHIN, A.; AHMADI, S. The effects of hydrophilic polymer and soil salinity on corn growth in sandy and loamy soils. **Clean - Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 38, n. 7, p. 584–591, 13 jul. 2010.

DOS SANTOS, F. H. C. *et al.* Performance de clones de cajueiro anão precoce no Estado do Ceará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA*, 21., 2010, Natal. **Anais [...]**. Natal: Sociedade Brasileiro de Fruticultura, 2010.

EGAMBERDIEVA, D. *et al.* Biochar Treatment resulted in a combined effect on soybean growth promotion and a shift in plant growth promoting rhizobacteria. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 7, 25 fev. 2016.

EYLES, A. *et al.* Impact of biochar amendment on the growth, physiology and fruit of a young commercial apple orchard. **Trees: Structure and Function**, v. 29, n. 6, p. 1817–1826, 1 dez. 2015.

FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 8 jun. 2020.

FEITOSA, A. A. *et al.* Retenção de água em biocarvões de casca de banana e bagaço de laranja carbonizados a 400 e 600 °C. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL*, 12., 2017, Sinop. **Anais [...]**. Sinop: Embrapa Agrossilvopastoril, 2017. p. 196-199.

FREITAS, M. I. *et al.* Avaliação da umidade do solo em função da presença de biocarvão no

solo no cultivo do quiabo (*Abelmoschus esculentus*). *In*: III REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2017, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Unit e Embrapa costeiros, 2017. Disponível em: [https://www.even3.com.br/anais/iiirncs/45249-avaliacao-da-umidade-do-solo-em-funcao-da-presenca-de-biocarvao-no-solo-no-cultivo-do-quiabo-\(abelmoschus-esculent/](https://www.even3.com.br/anais/iiirncs/45249-avaliacao-da-umidade-do-solo-em-funcao-da-presenca-de-biocarvao-no-solo-no-cultivo-do-quiabo-(abelmoschus-esculent/). Acesso em: 05 de junho de 2019.

FREITAS, T. L.; BERTONHA, A.; ANDRADE, A. C. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1, p. 23–31, 2002.

GONDIM, R. S. *et al.* Explaining the water-holding capacity of biochar by scanning electron microscope images. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 972–979, 18 out. 2018.

GRANATSTEIN, D. *et al.* Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment. **Washington State Department of Ecology Report 09-07-062**, 2009. Disponível em: <http://cemendocino.ucdavis.edu/files/73025.pdf>. Acesso em: 03 de outubro de 2018.

HAMMES, K. *et al.* Centennial black carbon turnover observed in a Russian steppe soil. **Biogeosciences**, Munique, v. 5, n. 5, p. 1339–1350, 18 set. 2008.

HARRIS, P. On charcoal. **Interdisciplinary Science Reviews**, Leeds, v. 24, n. 4, p. 301–306, 1999.

HOSSAIN, M. K. *et al.* Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, Oxford, v. 78, n. 9, p. 1167–1171, fev. 2010.

IDROBO, H. J.; RODRÍGUEZ, A. M.; ORTÍZ, J. E. D. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. **Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente**, Cali, n. 9, p. 33–37, 2010.

JOHNSON, D. The botany, origin, and spread of the cashew *Anacardium occidentale* L. **Journal of plantation crops**, Kerala, v. 1, n. 1–2, p. 1–7, 1973.

JOSEPH, S. D. *et al.* An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Austrália, v. 48, n. 7, p. 501–515, 2010.

KEIVANFAR, S. *et al.* Effects of regulated deficit irrigation and superabsorbent polymer on fruit yield and quality of 'granny smith' apple. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, v. 84, n. 4, p. 383–389, 2019.

KHAN, A. S. *et al.* Efeito da seca sobre a produção, a renda e o emprego agrícola na microrregião geográfica de Brejo Santo e no estado do Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 242–262, 2005.

KINNEY, T. J. *et al.* Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 41, p. 34–43, 2012.

LAL, R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel.

Environment International, Elmsford, v. 31, n. 4, p. 575–584, 1 maio 2005.

LEHMANN, J. *et al.* Biochar effects on soil biota – a review. **Soil biology and biochemistry**, Elmsford, v. 43, n. 9, p. 1812–1836, 2011.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. Routledge, 2015.

LEITE, K. N. Análise econômica da resposta do cajueiro anão precoce BRS 189 aos fatores de produção água e adubo potássico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p. 739-747, 2013.

LIANG, R.; LIU, M. Preparation and properties of coated nitrogen fertilizer with slow release and water retention. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 45, n. 25, p. 8610–8616, 6 dez. 2006.

LIMA, M. A. *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciencia Agronomica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 654–663, 2010.

LIRA, M. M. P. *et al.* Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar *saccharum* spp. sob cultivo utilizando biocarvão produzido com o bagaço de cana-de-açúcar. *In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC*, 65., 2013, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBPC, 2013. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/2381.htm>. Acesso em: 09 de novembro de 2019.

LIU, C. *et al.* Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, v. 23, n. 2, p. 995–1006, 1 jan. 2016.

MACÊDO, M. L.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro-anão precoce na agricultura familiar. **Irriga**, Botucatu v. 23, 2018.

MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E.; NOVOTNY, E. H. Advances in biochar research in Brazil. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, [S. l.], v. 5, n 1, p. 53-58, 2011.

MAJOR, J. *et al.* Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and soil**, Países Baixos, v. 333, n. 1–2, p. 117–128, 2010.

MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Crescimento vegetativo de cultivares de café em (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 481–489, 13 nov. 2007.

MAZEN, A. M.; RADWAN, D. E. M.; AHMED, A. F. Growth Responses of Maize Plants Cultivated in Sandy Soil Amended by Different Superabsorbant Hydrogels. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v. 38, n. 3, p. 325–337, 23 fev. 2015.

MIRANDA, F. R. DE. Irrigação do Cajueiro. *In: ARAÚJO, J. P. P. DE. Agronegócio Caju: práticas e inovações*. Brasília, DF. Embrapa, cap. 4, p. 167-174.

- MOURA, M. O. *et al.* Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 259–271, 2016. Disponível em <https://cutt.ly/gS4xYpc>. Acessado em: 05 de outubro de 2018.
- NAVROSKI, M. C. *et al.* Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 315–328, 2015.
- NETO, J. L. L. M. *et al.* Hydrogels in Brazilian Agriculture. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 11, n. 4, p. 347–360, 2017. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/4130>. Acessado em: 8 de novembro de 2019.
- NGUYEN, B. T. *et al.* Long-term black carbon dynamics in cultivated soil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 92, n. 1–2, p. 163–176, 2009.
- NICOLETTI, M. F. *et al.* Efeito do hidrogel no enraizamento e crescimento inicial de miniestaca do híbrido *Eucalyptus urograndis*. **Cultivando o Saber**, v. 7, p. 353–361, 2014. Disponível em: https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/54eb2afbb3403.pdf. Acessado em: 8 de novembro de 2019.
- NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 0, 15 jul. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima>. Acessada em: 4 de outubro de 2018.
- NOVAK, J. M. *et al.* Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, [S. l.], v. 3, p. 195–206, 2009.
- OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 156, 14 ago. 2017. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/>. Acessado em: 5 de outubro de 2018.
- OLIVEIRA, F. N. *et al.* Desenvolvimento e incidência de doenças nas progênies de caju anão precoce nas condições edafoclimáticas do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. **Anais [...]**. Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.
- OLIVEIRA, V. H.. **Cultivo do cajueiro-anão precoce**. 2 ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002.
- OMIDIAN, H.; ROCCA, J. G.; PARK, K. Advances in superporous hydrogels. **Journal of Controlled Release**, Amsterdã, v. 102, n. 1, p. 3–12, 2005.
- PAIVA, J. R. *et al.* **Clone de cajueiro-anão precoce BRS 226 ou Planalto**: nova alternativa para o plantio na região semi-árida do Nordeste. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002.

PARSONS, A. J.; ABRAHAMS, A. D. Geomorphology of desert environments. *In: Geomorphology of Desert Environments*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 3–7.

PEAKE, L. R.; REID, B. J.; TANG, X. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. **Geoderma**, Países Baixos, v. 235–236, p. 182–190, dez. 2014.

PEREIRA, S. P. *et al.* Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152–160, fev. 2011.

RAMALHO, M. F. J. L. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, n. 2, p. 104–115, 2013.

RIBEIRO, J. L. *et al.* **Irrigação do cajueiro-anão-precoce na região de Teresina**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

SAAD, J. C. C. C. C. *et al.* Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 404–411, jul. 2009.

SCHMIDT, H. P. *et al.* Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Países Baixos, v. 191, p. 117–123, 15 jun. 2014.

SERRANO, L. A. L.; MELO, D. S.; VIDAL NETO, F. DAS C. **Genótipos de cajueiros cultivados na Fazenda Planalto, em Pio IX, PI**: caracterização morfométrica dos cajus. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2017.

SERRANO, L. A. L.; OLIVEIRA, V. H. DE. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. *In: Agronegócio cajú: práticas e inovações*. Brasília, DF. Embrapa, p. 77–165, 2013.

SEVILLA, M.; FUERTES, A. B. The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. **Carbon**, Reino Unido, v. 47, n. 9, p. 2281–2289, 2009.

SHAMIM, M. I. A. *et al.* Production of biochar for soil application: A comparative study of three kiln models. **Pedosphere**, Nanjing, v. 25, n. 5, p. 696–702, 2015.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 58, n. 2, p. 221–227, 6 nov. 2006.

SILVA, P. C. G. DA *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

SOVU, M. T.; SAVADOGO, P.; ODÉN, P. C. Facilitation of forest landscape restoration on abandoned swidden fallows in Laos using mixed-species planting and biochar application.

Silva Fennica, Finlândia, v. 46, n. 1, p. 39–51, 2012.

SPOKAS, K. A. *et al.* Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 77, n. 4, p. 574–581, 2009.

SPOKAS, K. A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. **Carbon Management**, Abingdon, v. 1, n. 2, p. 289–303, 2010.

STREUBEL, J. D. *et al.* Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

SULIMAN, W. *et al.* The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment**, [S. l.] v. 574, p. 139–147, 1 jan. 2017.

TEIXEIRA, W. G. *et al.* Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2017. p. 368-381.

ULYETT, J. *et al.* Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 96–104, 2014.

VACCARI, F. P. *et al.* Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Países Baixos, v. 207, p. 163–170, 1 set. 2015.

VAN GENUCHTEN, M. T. Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.

VIDAL, F. C. *et al.* Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. In: **Agronegócio caju: práticas e inovações**, Brasília, DF. Embrapa, p. 481–508, 2013.

VIDAL, M. F. Fruticultura na área de atuação do BNB: Produção e mercado. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 4, 2019.

VIDAL NETO, F. C. *et al.* **Desempenho agrônômico de clones de cajueiro no litoral do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.

VINH, H. *et al.* Integrated nutrient management of annual and perennial crops on sandy coastal plains of south-central coastal Vietnam. In: **Sustainable and profitable crop and livestock systems in south-central coastal Vietnam Proceedings of the final workshop held in Quy Nhon, Vietnam, 5–6 March 2013**. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR), 2015.

WILSKE, B. *et al.* Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, v. 21, n. 16, p. 9453–9460, 14

ago. 2014.

WOODHOUSE, J. M.; JOHNSON, M. S. The effect of gel-forming polymers on seed germination and establishment. **Journal of Arid Environments**, Estados Unidos, v. 20, n. 3, p. 375–380, maio 1991.

XIAO, Q. *et al.* Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. **Crop and Pasture Science**, Austrália, v. 67, n. 5, p. 495, 2016.

YANG, L. *et al.* Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. **Ecological Engineering**, Amsterdã, v. 62, p. 27–32, jan. 2014.

YU, O.-Y. *et al.* Characterization of biochar and its effects on the water holding capacity of loamy sand soil: Comparison of hemlock biochar and switchblade grass biochar characteristics. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, Nova Jersey, v. 36, n. 5, p. 1474–1479, 1 set. 2017.

YU, O. Y.; RAICHLE, B.; SINK, S. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, [S. l.] v. 4, n. 1, p. 1–9, 2013.

ZUBER, M. S. Relative Efficiency of Incomplete Block Designs Using Corn Uniformity Trial Data 1 . **Agronomy Journal**, Madison, v. 34, n. 1, p. 30–47, jan. 1942.