



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

Paulo Jardel Mota

**Retenção de água no solo após incorporação de biochar e composto em Latossolo do
semiárido potiguar**

MOSSORÓ

2023

Paulo Jardel Mota

Retenção de água no solo após incorporação de biochar e composto em Latossolo do semiárido potiguar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Neyton de Oliveira Miranda, Prof. Dr.

Co-orientador^a: Jeane Cruz Portela, Prof^a. Dr^a.

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M917r Mota, Paulo Jardel .
Retenção de água no solo após incorporação de
biochar e composto em Latossolo do semiárido
potiguar / Paulo Jardel Mota. - 2023.
33 f. : il.

Orientador: Neyton de Oliveira Miranda.
Coorientadora: Jeane Cruz Portela.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2023.

1. física do solo.. 2. disponibilidade de
água. 3. condicionadores de solo. 4. porosidade do
solo. 5. estrutura do solo. I. Miranda, Neyton de
Oliveira , orient. II. Portela, Jeane Cruz , co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Paulo Jardel Mota

Retenção de água no solo após incorporação de biochar e composto em Latossolo do semiárido potiguar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Defendida em: 10 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda (UFERSA)
Presidente

Prof^a. Dr^a. Jeane Cruz Portela (UFERSA)
Membro Examinador

Dr. Joaquim Emanuel Fernandes Gondim (UFERSA)
Membro Examinador

M.Sc. Francisco Éder Rodrigues de Oliveira (UFRB)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar eu agradeço a Deus, mesmo sem ter certeza de sua existência porque é algo que todos esperam que eu faça.

Agradeço a minha família por toda a paciência e por sempre estarem do meu lado. Aos meus pais, Lourival Mota e Edenilza Mota, que sempre dedicaram amor para comigo, não há palavras ou gestos que possam expressar minha gratidão. A minha amada irmã Valeria Cynthia, que nos deu Apollo de presente, meu amor por você e pelo meu sobrinho é incondicional.

Agradeço a UFERSA por ter sido a porta que me fez sair de casa e enfrentar a vida como um louco. A forma como minha visão de mundo foi moldada, a maturidade adquirida, os recursos disponibilizados, a oportunidade de ter conhecido tanta gente, tanto conhecimento adquirido... eu não me reconheço quando olho para trás, e, às vezes tenho dificuldade em acreditar que tanta coisa tenha acontecido.

Entre tantos professores importantes e que contribuíram profundamente para a minha formação acadêmica, dois foram essenciais: Neyton Miranda e Jeane Portela.

Ter sido orientado pelo professor Mirandinha é um dos maiores orgulhos que eu tenho desses anos de graduação. Era algo que me enchia de alegria responder quando alguém me perguntava qual era meu orientador. Ter tido esse contato com uma pessoa que é uma referência para essa universidade, e mesmo assim, sempre se portou com simplicidade, serenidade, altruísmo, sem querer se aparecer ou ser melhor; Muita gratidão e admiração.

A professora Jeane tem uma importância para eu estar terminando a graduação que nem ela mesma imagina. Além de ter sido minha co-orientadora, foi uma amiga que me ajudou, me ouviu, me aconselhou. Queria eu poder ter contribuído mais e ter ajudado mais.

No seu grupo de pesquisa teve muito trabalho a ser feito, como também, vários momentos de conversa, risadas, comilanças, e essa coisa toda que fica guardada na memória para que a gente possa sentir saudade. Há todas as pessoas que passaram pelo grupo de pesquisa de física do solo, ficam meus agradecimentos. Em especial ao meu parça Joaquim Gondim, como também, Jucirema, Tiago, Weverton, Isaque, Geisiane Gislaine, Matheus, Claudeone, Genilson, Lúirla, Diego e Wandson.

Entrei no grupo de pesquisa ainda na pandemia atrás de um rumo, e aqui eu encontrei um rumo. Além de ter encontrado muitos colegas e amigos, não só do laboratório, mas do LASAPSA. Em especial o Francisco Éder (Edinho) que, além de ser um grande amigo que quero levar para a vida, foi o primeiro ruivo careca que eu cheguei a conhecer. Também

merecem destaque – minha colega de sessões de descarrego – Thaysa Dayane, o meu amigo Darcio Constante e as meninas da terceirizada: Keyla, Roberta, Thatá, Rosana, Amanda, Claudia e outras que não lembro o nome agora, mas lembro das conversas e do rosto. Também não posso esquecer-me dos gatos que passaram a me ignorar e não compareceram para assistir minha defesa do TCC depois que deixei de levar comida pra eles.

Trabalhar na AeC foi um período de grande aprendizado. É um momento que lembro com carinho, apesar de ter sido um período em que eu havia desistido da universidade e do curso. A Micael Jackson, que sempre acreditou e que sempre falou que queria me ver formado, meus sinceros agradecimentos, mesmo que ele não esteja aqui para me ver vestido em uma beca de formatura ou ler meus agradecimentos.

Aos meus tios Manequim, Vanilda, Netinha e a minha saudosa tia Alcinda, agradeço ao carinho que vocês sempre demonstraram para comigo.

Aos meus professores, meus colegas de curso, do meu trabalho na AeC (Especialmente Drey B.), as pessoas que dividiram casa e apartamento comigo (Especialmente Ronildo Nicodemos)... foram tantas contribuições positivas e tantos momentos; Cada um com seu impacto e com suas vivências para compartilhar e me ensinar, agradeço a todos.

“Nada distingue as lembranças de momentos comuns. Apenas depois elas se tornam memoráveis pelas cicatrizes que deixam.”

La Jetée - Chris Marker

RESUMO

A baixa retenção de água em solos profundos, localizados em áreas semiáridas, impactam negativamente a produtividade agrícola. Entretanto, a aplicação de condicionadores orgânicos pode melhorar os atributos físicos destes solos. Por isso, este estudo investigou o efeito de misturas de solo, biochar e composto orgânico sobre a retenção de água em Latossolo da Chapada do Apodi, Brasil. O Solo coletado, na camada de 0-20cm, foi levado para o beneficiamento e análises no complexo de laboratórios do LASAP-UFERSA. O solo como testemunha, ou recebendo 1,0% de biochar, ou 1,0% de composto, ou misturas destes materiais em proporções complementares até 1,0%, foi colocado em anéis volumétricos para saturação com água e posterior aplicação de tensões em mesa de tensão e em câmara de Richards, para a determinação dos atributos de porosidade, retenção de água e parâmetros da curva característica de retenção de água no solo. A mistura de solo com 1,0% de biochar proporcionou os maiores benefícios à retenção de água pelo Latossolo, seguida pelas misturas com 1,0 e 0,75% de composto. Entretanto, como a maioria das misturas não apresentou vantagem significativa sobre a testemunha, recomenda-se estudar diferentes proporções de biochar e composto em diferentes tipos de solo.

Palavras-chave: física do solo; disponibilidade de água; condicionadores de solo; porosidade do solo; estrutura do solo.

ABSTRACT

The low water retention in deep soils, of semi-arid regions, impacts the crop productivity negatively. However, the application of organic conditioners can improve the physical attributes of those soils. Therefore, this study investigated the effect of mixtures of soil, biochar and organic compost on water retention of an Oxisol from Apodi Plateau, Brazil. The collected soil, in the depth of 0-20cm, has been taken to processing and laboratory analyses of attributes in the complex of the LASAP-UFERSA. Soil as eyewitness, or receiving 1.0% biochar, or 1.0% compost, or mixtures of these materials in complementary proportions up to 1.0%, was placed in volumetric rings to saturating with water to applying tension afterward in a tension table and in a Richards chamber, to determine attributes of porosity, water retention and parameters of the soil water retention curve. The soil mixture with 1.0% biochar provided the greatest benefits to water retention by the Oxisol, followed by the mixtures with 1.0 and 0.75% of compost. However, as most mixtures did not present a significant advantage over the control, it is recommended to study different proportions of biochar and compost in different types of soil.

Keywords: soil physic; water availability; soil amendment; soil porosity; soil structure

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Curva característica de retenção de umidade no solo	16
Figura 2	–	Produção de biochar pelo método da pirólise	17
Figura 3	–	Esquematização da sequência de passos realizados durante a condução do experimento.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Relação Carbono/Nitrogênio de alguns materiais utilizados na compostagem.....	19
Tabela 2	–	Médias de alguns atributos químicos do solo proporcionadas por misturas de composto orgânico com biochar.....	21
Tabela 3	–	Médias de umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) de misturas de solo, biochar e composto submetidas a diferentes tensões	23
Tabela 4	–	Médias de densidade do solo e de parâmetros de porosidade e de disponibilidade de água referentes a misturas de solo, composto orgânico e biochar.....	24
Tabela 5		Parâmetros de ajuste ao modelo de van Genuchten obtidos de dados de retenção de água e potenciais matriciais por misturas de solo, biochar e composto.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Degradação física do solo.....	15
2.2 Retenção de água no solo.....	15
2.3 Biochar.....	17
2.4 Composto orgânico.....	18
2.5 Impacto da matéria orgânica sobre as propriedades físicas do solo.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Resultados.....	23
4.2 Discussão.....	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Solos de intemperização intensa e textura mais grosseira, que ocorrem em muitas áreas agrícolas de regiões semiáridas, limitam a produtividade agrícola devido à textura, baixa fertilidade, baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica. A estrutura desses solos e a alta evapotranspiração de regiões áridas e semiáridas também limita o crescimento das raízes ao reduzir o conteúdo de água que estará disponível para as plantas. Neste aspecto, a melhoria do solo pode ser obtida pela aplicação de matéria orgânica e condicionadores (UNKOVICH et al., 2020; LEITE, 2022).

A capacidade de retenção de água no solo (CRAS) determina o armazenamento e disponibilidade de água e é influenciada pela textura do solo, tipo de argila, distribuição e tamanho de poros, densidade do solo, teor de matéria orgânica e tipo de solo. Sua determinação é vital para planejar e manejar a irrigação (MICHELON et al., 2010). Os baixos valores de CRAS em vários Latossolos da Chapada do Apodi se devem ao baixo teor de argila e/ou matéria orgânica (MO) (MOTA et al., 2008). O aporte de MO é recomendado, mas causa pequeno acúmulo de matéria orgânica (MOS) em longo prazo, devido ao clima, a rápida mineralização da MOS e às perdas pelo cultivo convencional (GLASER, LEHMANN & ZECH, 2002).

Os principais benefícios da adubação orgânica estão em melhorar a estrutura do solo, agregação, aeração, densidade, retenção e disponibilização de água e nutrientes, além de beneficiar a atividade microbiana (AGEGNEHU et al., 2015). Por sua vez, o biochar é produzido por pirólise de biomassa, especificamente para aplicar ao solo visando melhorar suas características, aumentar a produtividade vegetal e armazenar Carbono (C) (NOVOTNY et al., 2015). Comparado a MOS, o biochar se decompõe em centenas ou milhares de anos e adiciona mais C ao solo do que as perdas por respiração microbiana (VERHEIJEN et al., 2010). A aplicação do biochar beneficia a retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas, permitindo reduzir frequência e lâmina de irrigação e custos (DUGAN et al., 2010). Seus efeitos são maiores em solos arenosos e ácidos, sob cultivo de sequeiro (NOVOTNY et al., 2015).

O benefício da aplicação conjunta de biochar e fertilizante orgânico pode ser maior do que quando aplicados em separado (GLASER et al., 2002). Tal efeito sinérgico se dá sobre a MOS, o teor de nutrientes, a eficiência de uso de fertilizantes, a capacidade de reter água e a produção vegetal (SCHULZ & GLASER, 2012). Neste aspecto, o composto é uma ótima alternativa para combinar com o biochar pois, além dos benefícios físico hídricos, ele favorece as condições químicas e biológicas do solo (DUARTE et al., 2022).

Sob a hipótese de que o aumento na retenção de água pela aplicação ao solo de composto

e biochar misturados é maior do que separadamente, este estudo visou determinar o efeito de misturas de solo com biochar e composto orgânico sobre a retenção de água em Latossolo da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Degradação física do solo

A degradação do solo pode ser definida como a redução da sua qualidade e capacidade de desempenhar funções que regulam os ecossistemas, devido as causas naturais ou induzidas pelo homem (LAL, 2015). A World Economic Forum Estima que um terço dos solos no mundo esteja em processo de degradação, podendo ser uma degradação física, química, biológica ou ecológica (FAGERIA et al., 2006).

A degradação física do solo impacta os atributos estruturais como o arrançamento das partículas e agregados e a continuidade dos poros, reduzindo a infiltração de água e tornando o solo mais suscetível à compactação, encrustamento, processos erosivos e desertificação (LAL, 2015).

O manejo do solo inadequado é o principal responsável pela redução das funcionalidades estruturais do solo, que afeta o desenvolvimento das raízes, as reações bioquímicas, a diversidade da fauna edáfica e a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (FAGERIA et al., 2006). Dessa forma, práticas agrícolas que promovam a degradação física interferem na oferta de serviços ecossistêmicos do solo e no desempenho da lavoura em campo (FAGERIA et al., 2006; Lal, 2015).

A erosão se destaca como o principal responsável pelas perdas de terras com aptidão agrícola no semiárido (CASTRO, 2012). A rápida expansão populacional da região e o uso dos solos acima da capacidade agrícola das terras vêm acelerando a degradação de solos do semiárido nordestino (SANTOS, SILVA & MONTENEGRO, 2010). Essa degradação torna-se ainda mais preocupante em solos sensíveis aos distúrbios naturais, pois apresentam uma resposta lenta às práticas de manejo que visam restaurar a qualidade do solo (SOTO, PADILLA & DE VENTE, 2020).

2.2 Retenção de água no solo

A dinâmica da água no solo é resultado da atuação da força gravitacional, das forças capilares, das propriedades da superfície de partículas que se encontram no solo e da estruturação do solo (TEIXEIRA et al., 2017). Dessa forma, as propriedades do solo estão diretamente relacionadas com a energia de ligação da interface sólido-líquido, com destaque para o teor de argila, o aporte de matéria orgânica e a densidade aparente (JEIHOUNI et al.,

2020).

A confecção da curva característica de retenção de umidade no solo (Figura 1) nos auxilia na compreensão das funcionalidades hídricas do solo, sendo a aplicabilidade de tal ferramenta nos estudos edáficos, útil para o planejamento agrícola e o desenvolvimento científico (BRUNING et al., 2019). Os potenciais de água no solo podem ser obtidos aplicando-se uma determinada tensão, com destaque para o método da Câmara de Richards por ser o mais utilizado (BRUNING et al., 2019). Geralmente, as tensões aplicadas variam de 0 kPa a 1500 kPa; com a umidade potencial na tensão de 1500 kPa referente ao ponto de murcha permanente, e as tensões de 10 kPa (para solos arenosos) ou 33 kPa (para solos argilosos) referentes a capacidade de campo (TEIXEIRA et al., 2017). O intervalo entre as tensões da capacidade de campo e o ponto de murcha permanente é referido como a umidade potencial em que haverá água disponível para as agroecossistemas e as plantas de cobertura vegetal (JEIHOUNI et al., 2020).

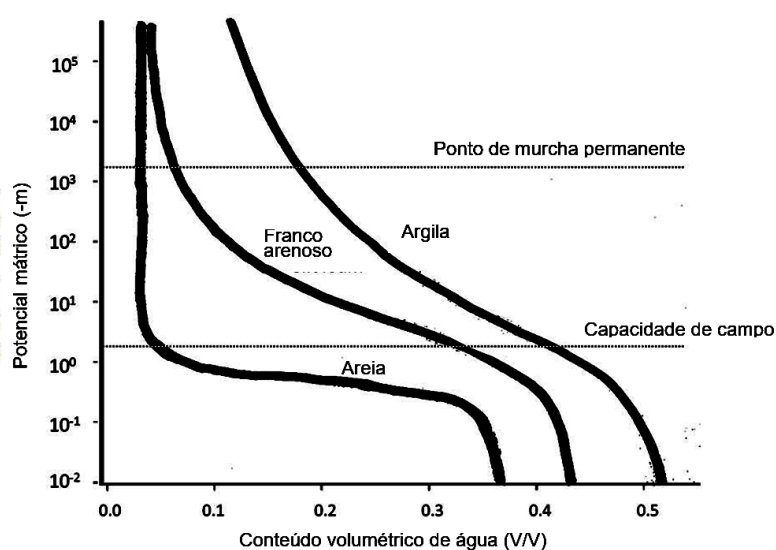


Figura 1 – Modelos de curva característica de retenção de umidade no solo. (Adaptado de: Guy Sela, 2019). Disponível em: <<https://www.croplife.com/precision-tech/irrigation-management-with-soil-sensors-considerations-for-choosing-the-best-method/>>. Acesso em: 24 de ago. 2023.

Para Klein e Klein (2015), estudos que relacionam o manejo agrícola com o armazenamento de água no solo apresentam relevância no semiárido, onde se idealiza aumentar a produtividade sem a necessidade de alterar a lâmina de água utilizada na irrigação. O autor argumenta em seu estudo que técnicas como a adição de biocarvão, polímeros sintéticos e matéria orgânica, que visam potencializar o armazenamento de água no solo, têm demonstrado resultados positivos, sendo necessários estudos mais aprofundados sobre a interação desses produtos com os solos da litosfera de ambientes tropicais.

2.3 Biochar

O biochar é produzido por meio da conversão termoquímica da biomassa vegetal, cujos processos utilizados para a produção incluem a pirólise, carbonização hidrotermal, torrefação e liquefação hidrotérmica (CHI et al., 2021). Inicialmente, durante o processo de produção ocorrerá a perda de água, continuada pela celulose, hemicelulose, degradação da lignina e, por fim, a queima de resíduos carbonosos. Desse modo, o rendimento do biochar em porcentagem pode variar entre os métodos escolhidos, pois afetará os estados físicos e químicos do biochar durante o processo de produção (YAASHIKAA, 2020).

Entre todos os métodos, a pirólise (Figura 2) é o mais comumente utilizado para a obtenção de biochar, devido à tecnologia utilizada ser mais simples, flexível e possibilitar a obtenção de biocarvão com maior porosidade e área superficial (CHI et al., 2021; MAAOUI et al., 2023).

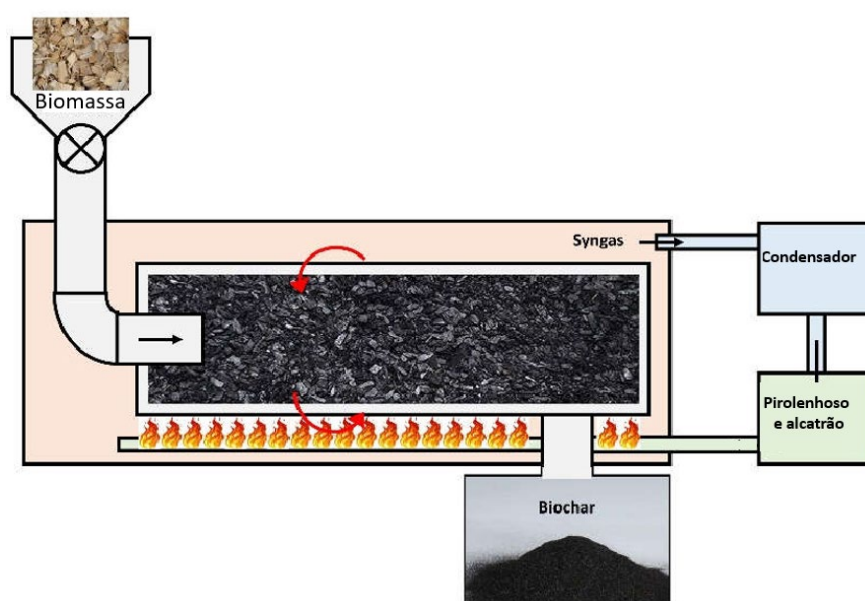


Figura 2 – Produção de biochar pelo método da pirólise em reator horizontal. Fonte: Li et al. (2020)

A pirólise trata-se da decomposição térmica da matéria orgânica em ambiente com ausência de oxigênio e temperaturas que variam de 250 a 900°C (YAASHIKAA, 2020). Durante o processo, ocorre a liberação de gases, como também a obtenção do biochar e bio-óleo (MAAOUI et al., 2023). O rendimento do biochar durante o processo de pirólise irá variar conforme a natureza da biomassa utilizada (LEE et al., 2013). Biomassa vegetal com maior teor de lignina irá garantir um maior rendimento de biochar (LEE et al., 2013). Já a temperatura será

importante para determinar a qualidade do produto (WEI et al., 2019), isto é, poroso e com alta área superficial específica.

A temperatura e o tempo de aquecimento das partículas também irão variar de acordo com o método de pirólise utilizado (MAAOUI et al. 2023; NOVOTNY et al 2015) divide os métodos de obtenção do biochar em pirólise lenta, rápida e super-rápida. Para o autor, quanto maiores forem as temperaturas utilizadas na carbonização do material vegetal, menor será o tempo de residência da biomassa nos fornos, entretanto menor será o rendimento do biocarvão e maior o rendimento do bio-óleo.

O biochar tem despertado interesse quanto ao seu uso na produção agrícola. O biochar aparenta apresentar maior funcionalidade como condicionador do solo quando triturado (<8mm), o que, em contrapartida, terá menor utilidade para uso industrial e doméstico (NOVOTNY et al., 2015). Estudos tem investigado a atuação do biochar na descontaminação de solo e água contaminados por metais pesados (WEI et al., 2019) e no aumento da disponibilidade de água armazenada no solo para as plantas (CANUTO et al., 2019). Entretanto, as particularidades locais, que influenciam a dinâmica hidrofílica, podem ocasionar variabilidade quanto às respostas do solo e da lavoura quanto ao uso do biochar (ATKINSON et al., 2010; CARVALHO et al., 2015). Necessitando de estudos que visem atestar o potencial agrícola que o biochar aparenta possuir, e que vem despertando o interesse de produtores, técnicos e cientistas nos últimos anos (KLEIN & KLEIN, 2015).

2.4 Composto orgânico

A compostagem trata-se do processo natural de decomposição da matéria orgânica, onde microrganismos retiram seu alimento a partir de reações bioquímicas. O composto orgânico surge como resultado desse processo, onde, caso executado da maneira correta, poderá dispor substâncias e compostos que proverá maior rendimento das culturas sem ocasionar riscos ambientais (SARTORI et al., 2011).

A compostagem é uma alternativa fácil e barata para direcionamento dos resíduos orgânicos, seja de origem doméstica, industrial ou de origem rural, como restos de alimentos, lodo de esgoto, restos culturais e esterco animal (MARCHI E GONÇALVES, 2020; Silva et al., 2015; PAREDES FILHO, 2011). Trata-se também uma forma segura de destinar resíduos com potencial para causar danos ao ambiente e a saúde humano e animal (USEPA, 1995).

Lima (2004) divide o processo da compostagem em duas fases: O tratamento físico e o tratamento biológico. O tratamento físico se dá com a separação do material a ser compostado

de outros materiais, que serão reutilizados ou descartados, e a posterior homogeneização do material escolhido. Enquanto que, a fermentação e a digestão fazem parte do tratamento biológico, podendo ser realizado em leiras ou equipamentos específicos, durante um período de 60 a 120 dias (BARROS et al., 1995; OLINTO et al., 2011).

Para uma compostagem eficiente, deve-se levar em conta a relação C/N do material escolhido (FORMENTINI, 2008). No caso de se utilizar matéria orgânica com relação C/N acima de 30:1, é recomendável adicionar alguma camada ou componente com baixa relação C/N para acelerar o processo de fermentação e garantir uma maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas (LIMA, 2004; FORMENTINI, 2008). A tabela 1 mostra a relação C/N de diferentes materiais de origem agrícola, comumente utilizados na compostagem.

Tabela 1 – Relação carbono/nitrogênio de alguns materiais utilizados para compostagem.

<u>Material</u>	<u>Relação C/N</u>	<u>Material</u>	<u>Relação C/N</u>
Esterco de gado	13/1	Feijão de porco (<i>C. ensiformis</i>)	19/1
Esterco de aves (gaiola)	14/1	Feijão guandu (<i>C. cajan</i>)	29/1
Esterco de aves (cama)	20/1	Palhas de feijão	32/1
Casca de café	53/1	Palhas de milho	112/1
Palha de café	38/1	Mucuna preta (<i>M. aterrima</i>)	22/1
Capim meloso (<i>M. minutiflora</i>)	75/1	Serragem de madeira de lei	865/1
Capim napier verde (<i>P. purpureum</i>)	40/1	Serragem de eucalipto	42/1
Crotalária juncea (<i>C. juncea</i>)	26/1	Bagaço de cana	102/1
Labe-labe (<i>D. lablab</i>)	11/1		

Fonte: Formentini (2008)

O composto orgânico pode ser utilizado na agricultura como adubo orgânico e condicionador do solo, podendo ser adicionado e incorporado ao solo, aplicado em cobertura ou em covas (SILVA et al., 2015; OLINTO et al., 2011). Além da oferta de nutrientes, o uso do composto no solo pode também melhorar a qualidade estrutural do solo e promover um aumento e diversificação da biota do solo (ARRUDA, EDJAIR, SOUZA, 2021); sendo uma alternativa viável para recuperação de áreas degradadas (HERBETS et al., 2005).

2.5 Impacto da matéria orgânica sobre as propriedades físicas do solo

Pode se definir a matéria orgânica do solo (MOS) como qualquer partícula ou

componente oriundo de organismos orgânicos, seja vegetal ou animal (CUNHA et al., 2016). A MOS surge como resultado da decomposição de compostos orgânicos, do tecido vegetal ou animal, através da reação de oxidação enzimática, resultando em compostos aromáticos com cadeias longas (TORMENA et al., 2023).

A área superficial específica alta e a elevada quantidade de cargas da matéria orgânica possibilitam a influência das partículas orgânicas sobre as propriedades estruturais do solo, tanto de forma direta como de forma indireta (BRAIDA et al., 2011). Em razão disso, o aumento no aporte de matéria orgânica no solo tende a impactar de maneira positiva a produtividade agrícola (LAL et al., 2004)

O principal impacto sobre a estruturação do solo está relacionado ao fato de que a matéria orgânica atua na estabilidade dos agregados, e consequentemente, favorece a aeração, reduz à resistência a penetração de raízes e aumenta o armazenamento de água (SILVA et al., 2015). A eficiência das partículas orgânicas na formação de coloides e poros tende a variar conforme as particularidades que o solo apresenta, podendo ser encontrados maiores impactos com a adição de matéria orgânica em solos arenosos do que em solos argilosos (ARRUDA, EDJAIR, SOUZA, 2021). Entretanto, solos argilosos são mais eficientes no sequestro de carbono (TORMENA et al., 2023).

A quantidade de C armazenado no solo é resultado da entrada por meio da fotossíntese e da saída por meio da respiração de plantas e do solo, além das perdas por erosão e lixiviação. O solo com maior aporte de C tende a apresentar maior estabilidade estrutural e resistência à deformação, quando submetido à pressão externa; também tende a apresentar maior aeração, possibilitando um ambiente favorável para o crescimento das raízes e o desempenho das funções da rizosfera na ciclagem de nutrientes (TORMENA et al., 2023). Sendo, portanto, importante para evitar os processos de degradação e potencializar a oferta dos serviços ecossistêmicos ofertados por um solo de qualidade físico-estrutural.

5 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa em Água, Solo e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, com amostras da camada de 0 a 20 cm de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO coletado em Upanema, RN (05° 36,2' 50" S; 37° 22,4' 18" W). Este solo contém 41,0% de Areia grossa; 37,0% de Areia fina; 4,7% de silte e 17,3% de argila.

As determinações do experimento, com solo e misturas com biochar e composto, foram realizadas conforme Teixeira et al. (2017). Elas constaram de: granulometria pelo método da pipeta, porosidade pelo método da saturação e mesa de tensão, densidade do solo pelo método do anel volumétrico (FORSYTHE et al. 1975), pH, condutividade elétrica, acidez potencial e teores de P, Ca, K, Mg e Na, capacidade de troca de cátions (CTC) e Carbono Orgânico Total pelo método da oxidação da matéria orgânica (YEOMANS & BREMMER, 1988). A Tabela 2 contém as características químicas.

Tabela 2. Médias de atributos químicos do solo proporcionadas por misturas de composto orgânico com biochar.

Mistura	pH	CE ¹ dS m ⁻¹	COT ² g kg ⁻¹	P ³	K ⁴	Na ⁵	Ca ⁶	Mg ⁷	CTC ⁸
				-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----		
T1	7,9	0,03	8,67	0,8	158,5	8,9	4,3	1,8	6,54
T2	7,6	0,06	16,25	1,0	184,8	16,7	4,7	1,4	6,65
T3	7,2	0,21	10,93	21,6	270,9	28,5	5,0	1,3	7,12
T4	7,4	0,13	19,01	6,8	220,3	17,7	4,4	1,2	6,24
T5	7,3	0,12	18,52	5,2	250,6	19,7	5,2	0,8	6,73
T6	7,2	0,21	17,05	16,4	341,6	26,6	5,6	1,4	7,99

¹Condutividade elétrica do solo. ²Carbono orgânico total. ³Fósforo. ⁴Potássio, ⁵Sódio. ⁶Cálcio. ⁷Magnésio. ⁸Capacidade de troca de cátions B – Biochar; C - composto. T1 -0,0 % B + 0,0 C; T2 - 1,0 % B + 0,0 C; T3 - 0,0% B + 1,0% C; T4 - 0,5% B + 0,5% C; T5 - 0,75% B + 0,25% C; T6 - 0,25% B + 0,75% C.

O biochar foi produzido de madeira de eucalipto em forno de alvenaria, com temperatura inicial de 100°C e final de 450°C. Para ser usado, ele foi triturado e passado em peneira com malha de 2 mm. O composto foi produzido em pilhas dispostas em camadas com 70% de material palhoso (restos de culturas, podas e roçagem) e 30% de esterco bovino. A irrigação foi diária, o revolvimento a cada três dias e a temperatura mantida entre 55 e 70 °C.

Os tratamentos consistiram das seguintes proporções dos materiais em base seca: Tratamento 1: 0,0% de biochar (B) e 0,0% de composto (C); Tratamento 2: 1,0% de B e 0% de C; Tratamento 3: 0% de B e 1,0% de C; Tratamento 4: 0,5% de B e 0,5% de C; Tratamento 5: 0,75% de B e 0,25% de C; Tratamento 6: 0,25% de B e 0,75% de C.

Para determinar-se a retenção de água, o solo e cada mistura foram colocados em seis

anéis de 2,7 cm de altura e 4,7 cm de diâmetro, que foram saturados com água destilada e foram submetidos às tensões de 3, 6, 10, 30 e 50 kPa, em mesa de tensão, e a 100, 300 e 1500 kPa, na câmara de Richards, conforme esquematizado na Figura 3. A seguir, os cilindros foram pesados e o conteúdo de água foi determinado após secagem das amostras em estufa de circulação forçada de ar a 105°C por 72 hora. Com estes dados foram obtidas: conteúdo de água na amostra em cada tensão, capacidade de campo (CC = umidade a 10 kPa), água disponível (AD = CC – umidade a 1.500 kPa), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro).

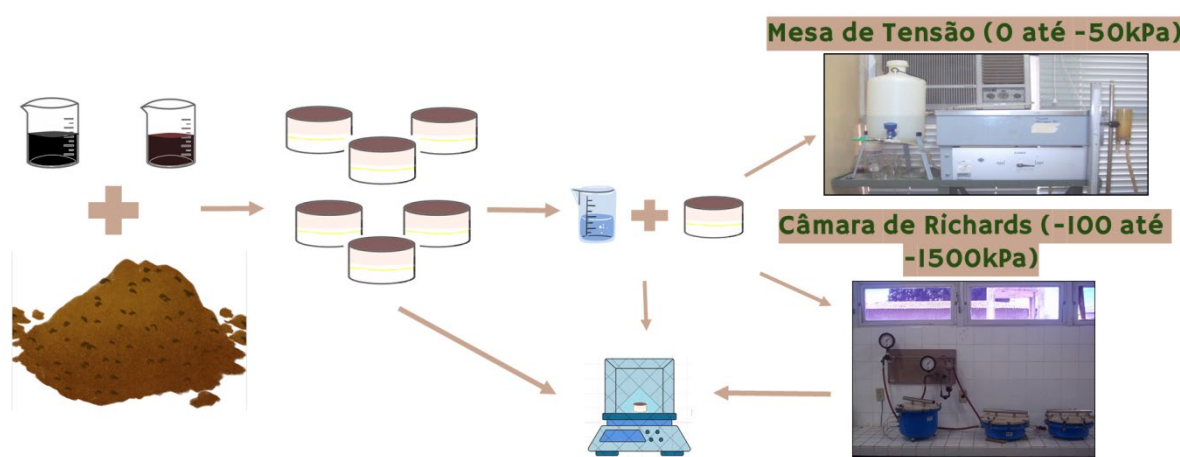


Figura 3. Esquematização da sequência de passos realizados durante a condução do experimento.

Os dados de umidade volumétrica e tensão foram usados conforme descrito por Coelho et al. (2012), para obter os parâmetros das curvas características de retenção de água do solo (Equação 1) de cada tratamento, visando ajuste ao modelo de van Genuchten (1980).

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

Em que,

θ - umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_r - umidade residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s - umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); Y_m - potencial matricial (- kPa); α , n e m - parâmetros de ajuste do modelo.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. O teste F ($p < 0,05$) foi usado para verificar a significância o efeito dos tratamentos e o teste de Tukey ($p < 0,05$) foi empregado para comparar as médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

Em geral, o efeito das misturas de solo, biochar e composto, sobre parâmetros de retenção de água e porosidade do solo, foram significativos (teste F, $p < 0,05$), com exceção de umidade a 100 e 1500 kPa, densidade do solo, porosidade total e macroporosidade.

O tratamento T2 (1,0% de biochar) destacou-se entre os tratamentos em termos de retenção de água, pois proporcionou os maiores valores absolutos de umidade volumétrica nas tensões de 3, 6, 10 e 30 kPa (Tabela 3). Este tratamento foi significativamente superior à testemunha em 14,7; 14,0; 13,7 e 10,3% nas tensões de 6, 10, 30 e 50 kPa, respectivamente.

Tabela 3. Médias de umidade volumétrica ($\theta \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) de misturas de solo, biochar e composto submetidas a diferentes tensões.

Tratamentos	Tensões (kPa)							
	3	6	10	30	50	100	300	1500
T1	0,368 ab	0,305 bc	0,214 b	0,124 bc	0,107 c	0,100 a	0,087 ab	0,07a
T2	0,391 a	0,350 a	0,244 a	0,141 a	0,118 b	0,104 a	0,089 ab	0,08 a
T3	0,386 ab	0,322 ab	0,223 ab	0,118 c	0,136 a	0,122 a	0,095 a	0,08 a
T4	0,361 b	0,287 c	0,207 b	0,130 abc	0,130 a	0,102 a	0,087 ab	0,08 a
T5	0,373 ab	0,314 bc	0,220 b	0,131 ab	0,111 bc	0,101 a	0,083 b	0,08 a
T6	0,377 ab	0,315 bc	0,225 ab	0,136 a	0,118 bc	0,109 a	0,092 a	0,08 a

T1 – testemunha - 0,0 % biochar (B) + 0,0% composto (C); T2 - 1,0 % B + 0,0% C; T3 - 0,0% B + 1,0% C; T4 - 0,5% B + 0,5% C; T5 - 0,75% B + 0,25% C; T6 - 0,25% B + 0,75% C.

O segundo melhor desempenho, entre os tratamentos, foi o T3 (1,0% de composto), que proporcionou os maiores valores absolutos de umidade nas tensões de 50 e 300 kPa. Entretanto, este tratamento foi superior à testemunha (27,1%) apenas na tensão de 50 kPa.

Em termos gerais, a retenção de água em valores absolutos, proporcionada pelo T4 (0,5% de cada material), foi maior apenas do que a retenção obtida na testemunha, apesar de T4 somente ter sido significativamente superior à testemunha (21,5%) na tensão de 50 kPa.

O exame do comportamento da testemunha não mostra diferença em umidade dos outros tratamentos nas tensões de 3 e 300 kPa e apresentou a menor umidade entre todos apenas na tensão de 50 kPa, tensão na qual T1 só foi significativamente inferior a T2, T3 e T4. O tratamento que apresentou superioridade consistente em relação à testemunha foi T2.

A porosidade total não diferiu entre os tratamentos (Tabela 4), cujos efeitos se evidenciaram por diferenças em macroporosidade e microporosidade. A macroporosidade foi claramente superior no tratamento T4, que apresentou a menor microporosidade, enquanto o T2 proporcionou o menor valor absoluto de macroporosidade e o maior de microporosidade.

Esses valores foram causa dos valores claramente superiores de capacidade de campo e de água disponível do T2, parâmetros estes que no T4 foram inferiores aos outros tratamentos.

Tabela 4. Médias de densidade do solo e de parâmetros de porosidade e de disponibilidade de água referentes a misturas de solo, composto orgânico e biochar.

Tratamentos	Ds g cm ⁻³	PT	Macro -----%-----	Micro	CC ---cm ³ cm ⁻³ ---	AD
T1	1.437 a	44,83 a	13,60 ab	30,53 bc	0.214 b	0.139 b
T2	1.436 a	45,47 a	10,06 b	35,07 a	0.244 a	0.164 a
T3	1.437 a	46,87 a	13,88 ab	32,23 ab	0.223 ab	0.141 ab
T4	1.414 a	45,70 a	16,06 a	28,68 c	0.207 b	0.131 b
T5	1.362 a	45,57 a	12,88 ab	31,37 bc	0.220 b	0.140 ab
T6	1.407 a	45,23 a	12.30 ab	31,53 bc	0.225 ab	0.144 ab

T1 -0,0 % biochar (B) + 0,0% composto (C); T2 - 1,0 % B + 0,0% C; T3 - 0,0% B + 1,0% C; T4 - 0,5% B + 0,5% C; T5 - 0,75% B + 0,25% C; T6 - 0,25% B + 0,75% C. Ds – densidade do solo; PT – porosidade total; Macro – macroporosidade; Micro – microporosidade; CC – capacidade de campo; AD – água disponível.

O tratamento T2 apresentou superioridade estatística sobre a testemunha quanto à microporosidade, unidade volumétrica na capacidade de campo e água disponível (Tabela 4), cujos valores foram 15, 14 e 18% maiores do que T1, respectivamente. Em relação aos mesmos parâmetros, em geral os valores absolutos proporcionados por T3 foram inferiores aos valores proporcionados por T2, mas superiores aos demais tratamentos. Entretanto, em nenhuma destas variáveis T3 apresentou diferença significativa em relação à testemunha.

Os parâmetros dos modelos das curvas características de retenção de água no solo de cada tratamento (Tabela 5) foram obtidos pelo ajuste de dados de umidade volumétrica e das tensões aplicadas. Estes parâmetros refletiram as diferenças entre tratamentos referentes à retenção de água nas diferentes tensões. Em geral, os condicionadores e suas misturas aumentaram os parâmetros α , m e n , em relação à testemunha. Os tratamentos com mais composto apresentaram maiores valores de α e os tratamentos contendo mais biochar apresentaram maiores valores de n , cujo maior valor foi obtido por T2.

Tabela 5. Parâmetros de ajuste ao modelo de van Genuchten obtidos de dados de retenção de água e potenciais matriciais por misturas de solo, biochar e composto

Tratamentos	Parâmetros do modelo					
	θ_r	θ_s	A	n	m	R^2
1	0,04	0,43	0,03	1,44	0,30	0,96
2	0,08	0,45	0,16	2,20	0,55	0,98
3	0,08	0,48	0,26	1,93	0,48	0,99
4	0,08	0,45	0,27	1,93	0,48	0,99
5	0,09	0,47	0,22	2,03	0,51	0,99
6	0,08	0,46	0,26	1,91	0,48	0,99

θ – conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_r - umidade residual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s – umidade de saturação do substrato ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); α , n e m - parâmetros de ajuste do modelo; R^2 – coeficiente de determinação. T1 -0,0 % biochar (B) + 0,0% composto (C); T2 - 1,0 % B + 0,0% C; T3 - 0,0% B + 1,0% C; T4 - 0,5% B + 0,5% C; T5 - 0,75% B + 0,25% C; T6 - 0,25% B + 0,75% C.

4.2 Discussão

O benefício da aplicação de biochar sobre a retenção de água no solo é bem documentado. Ele aumentou a CRAS em diferentes solos, destacadamente em solos arenosos. Para isso, bastaram doses de biochar entre 5 e 10 t ha⁻¹. Inclusive, doses iguais ou maiores do que 2% base peso são consideradas inviáveis (DUGAN et al., 2010; NOVOTNY et al., 2015).

O tratamento com 1,0% de biochar (T2), em relação aos demais, proporcionou maior retenção de água no solo nas menores tensões. De maneira semelhante, Seyedsadr et al. (2022) observaram que, em relação à testemunha, o maior aumento no conteúdo de água após a aplicação de biochar sozinho foi na água facilmente disponível para as plantas. Quanto ao tratamento com 1,0% de composto (T3), a maior retenção de água ocorreu em tensões maiores. Segundo Fischer & Glaser (2012), devido à formação de macroporos, a aplicação de composto aumenta principalmente a condutividade hidráulica do solo. Por sua vez, Agegnehu et al. (2015) obtiveram melhoria significativa na CRAS tanto com a aplicação de composto como de biochar, mas o tratamento contendo apenas biochar resultou em maior CRAS.

A retenção de água relativamente baixa proporcionada pelo tratamento com 0,5% de cada material (T4) pode ser devida à interação entre os materiais e deles com os poros do solo (TANG et al., 2021). Estes autores consideraram o comportamento do biochar puro melhor do que do composto puro. Porém, na interação com o solo, o comportamento do biochar é mais afetado pela obstrução dos poros por outro material porque o principal mecanismo de ação do biochar é o enchimento dos poros, diferentemente do composto. Se houver obstrução de poros de biochar e, ou composto, o comportamento observado é semelhante ao do solo puro.

Os resultados não demonstram vantagem significativa da maioria das misturas sobre a testemunha, mas o benefício do tratamento T2 é corroborado por Duarte et al. (2022), que

obtiveram aumento na CRAS tanto pelo aumento na quantidade de composto, como de biochar, porém, considerando uma mesma quantidade o efeito do biochar é maior do que do composto. No caso da CRAS proporcionada por 0,2 a 0,8% de biochar, doses próximas as usadas por nós, seria obtida por 3,2 a 6,1% composto. A maior CRAS foi obtida com a aplicação de 6,1% de composto sozinho, ou com 0,6% de biochar e 5,4% de composto.

A macroporosidade do solo (10,02%) obtida pelo tratamento T2 foi inferior aos outros tratamentos, mas não é crítica para o desenvolvimento das culturas (REICHERT, SUZUKI & REINERT, 2007). Em geral, o T2 (1,0% de biochar) foi superior em microporosidade, umidade na capacidade de campo e quantidade de água disponível. Os benefícios do biochar sobre a retenção de água no solo se devem à grande superfície específica e estrutura porosa, que adiciona capilares ao solo (NOVOTNY et al., 2015). O aumento na microporosidade se reflete na CRAS e na capacidade de campo (DUARTE et al., 2022). Em solos arenosos, a melhor distribuição de poros promovida pelo biochar se deve ao aumento na microporosidade e diminuição na macroporosidade, como ocorreu em nosso estudo (DUGAN et al., 2010; IBRAHIM & HORTON, 2021).

O efeito do tratamento T3 (1,0% de composto) foi um pouco menos destacado do que T2 em relação à porosidade, capacidade de campo e água disponível. Uma maior porosidade total do solo recebendo biochar, em relação ao composto, foi observado por Seyedsadr et al. (2022). Isso seria devido ao maior efeito do biochar, em relação ao composto, sobre a distribuição de tamanho de poros e propriedades hídricas do solo (IBRAHIM & HORTON, 2021).

Entretanto, os benefícios claros da aplicação de composto sobre atributos físico-hídricos de solos agrícolas, se devem a alteração em tamanho, forma e número de poros no solo. Assim, tanto biochar como composto melhoram a retenção de água no solo e a disponibilidade de água para as plantas, por meio da redução dos diâmetros equivalentes dos poros do solo e alteração nas distribuições de poros (IBRAHIM & HORTON, 2021).

No caso do menor efeito do composto, Fischer & Glaser (2012) afirmam que a capacidade de campo e a CRAS são influenciadas principalmente pelo volume e tamanho dos poros, mas no caso do biochar os poros são bem menores, por isso há maior retenção de água. Mesmo assim, a aplicação de matéria orgânica traz benefício significativo sobre a capacidade de campo por gerar estruturas porosas secundárias. No caso do composto, foi verificado aumento em meso e macroporos devido a melhoria na agregação e estabilização do solo, além da capacidade da matéria orgânica de 3 a 20 vezes mais água em relação ao seu volume.

O fato da maioria das misturas não ter beneficiado significativamente a porosidade e retenção de água no solo é abordado por Duarte, Hubach & Glaser, (2022), que obtiveram

aumento na capacidade de campo com quantidades crescentes de biochar ou de composto, porém a aplicação de biochar promove maior aumento do que a mesma quantidade de composto. Os autores obtiveram aumento de 38% na umidade na capacidade de campo, em relação ao solo não tratado, quando usaram uma mistura de solo com 0,6% de biochar e 5,4% de composto,

Os mesmos autores comentam a alteração na porosidade do solo pela aplicação de biochar, que contribui com novos poros, e demonstram que mesmo pequena quantidade de biochar pode alterar a porosidade do solo. A microporosidade aumentou significativamente pela aplicação ao solo de 0,8% a 1,4% de biochar, misturados com 2,3% a 4,5% de composto. A maior contribuição do biochar ao aumento da microporosidade se deve a que 90% de seus poros eram microporos, enquanto que o efeito de misturas de biochar e composto se deve a contarem com 70% a 90% do volume de poros, dos quais 95% eram mesoporos e microporos.

Os resultados deste estudo, referentes às curvas de retenção de água no solo são corroborados pelo aumento na CRAS em tensões inferiores a 800 kPa após a aplicação de biochar, obtido por Wong et al. (2022). Por sua vez, as curvas obtidas por Carvalho et al. (2020) mostram maior retenção de água pela testemunha em tensões entre 0 a 1,5 kPa, comparado com tratamentos contendo biochar, enquanto no nosso trabalho todas as curvas foram semelhantes nestas tensões. Os autores observaram o efeito superior do biochar a partir destas tensões até o final da curva, com maior retenção de água quanto maiores as doses de biochar, enquanto que nossos resultados mostram que os tratamentos com maior proporção de Biochar retiveram mais água em tensões mais baixas, em relação aos outros tratamentos.

Os maiores valores do parâmetro α do modelo da curva característica de retenção de água no solo, que está relacionado ao inverso do potencial de entrada de água ou ar no solo, foram maiores para os tratamentos com mais composto em relação aos tratamentos com mais biochar. Neste sentido, Bondi, Castellini & Iovino, (2022) verificaram que ao aumentar o teor de composto, o potencial de entrada de água tendeu a diminuir, significando que o efeito do composto favorece a infiltração de água. Além disso, a aplicação de composto tendeu a diminuir o parâmetro de forma n relativo ao umedecimento do solo e aumentá-lo para a secagem. Como este parâmetro indica a inclinação da curva de retenção de água no ponto de inflexão, a forma das curvas após a aplicação de composto é diferente para umedecimento ou secagem.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mistura de solo com 1,0% de biochar proporcionou maiores benefícios à retenção de água pelo Latossolo, seguida pelas misturas com 0,75% e 1% de composto. Entretanto, como a maioria das misturas não apresentou vantagem significativa sobre a testemunha, recomenda-se estudar diferentes proporções de biochar e composto em diferentes tipos de solo a médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G. et al. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, p. 72-85, 2015.
- ARRUDA, F; EDJAIR, D; SOUZA, K. Matéria orgânica do solo e sua relação com diferentes texturas do solo. **Revista Científica Eletrônica De Ciências Aplicadas da FAIT**, n. 1, 2021.
- ATKINSON, C. J. et al., Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, v. 337, p. 1–18, 2010.
- BARROS, R.T.V et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p. (**Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**, 2).
- BONDÌ, C; CASTELLINI, M; IOVINO, M. Compost amendment impact on soil physical quality estimated from hysteretic water retention curve. **Water**, v. 14, 1002, 2022.
- BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 221-278, 2011
- BRUNING, J. et al. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de pedotransferência. **Revista Cultura Agronômica**, v. 28, n. 1, p. 97-110, 2019.
- CANUTO, C. et al. Biochar e esterco bovino aumentam a eficiência no uso de água da alface. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1082-1091, 2019.
- CARVALHO M. T. M.; **The impact of wood biochar as a soil amendment in aerobic rice systems of the Brazilian Savannah**. 2015. Thesis (Degree of Doctor) - Wageningen: Wageningen University.
- CARVALHO, M. L. et al. Biochar Amendment Enhances Water Retention in a Tropical Sandy Soil. **Agriculture**, v. 10, n. 3, p. 62, 2020.
- CASTRO, C. N. de. **A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Ipea, 2012. (Texto para Discussão 1786).
- CHI, N. T. L. et al. A review on biochar production techniques and biochar based catalyst for biofuel production from algae. **Fuel**, v. 287, p. 119411, 2021.
- COELHO, E. F. et al. **Manejo da água de irrigação**. In: COELHO, E. F. Irrigação da bananeira. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 280p.
- CUNHA, T.J.; MENDES, A.M.S.; GIONGO, V. Matéria Orgânica do Solo. Cap. 9. In: NUNES, R.R.; REZENDE, M. O. O. **Recurso Solo: Propriedades e Usos**. Editora Cubo. 2016. p. 273-293.
- DUARTE, S. J.; HUBACH, A.; GLASER, B. Soil water balance and wettability methods in

- soil treated with biochar and/or compost. **Carbon Research**, v. 1, n. 1, 31, 2022.
- DUGAN, Emmanuel et al. Bio-char from sawdust, maize stover and charcoal: Impact on water holding capacities (WHC) of three soils from Ghana. In: 19th World Congress of Soil Science, Symposium. 2010. p. 9-12, Brisbane. **Anais...** Brisbane: WCSSS, 2010.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/214941/qualidade-do-solo-e-meio-ambiente>>. Acesso em: 30 de ago. 2023
- FISCHER, D.; GLASER, B. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. In: KUMAR, S.; BHARTI, A. **Management of organic waste**. Rijeka: InTech, 2012. pp. 167–198.
- FORMENTINI, E. A. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória, ES: Incaper, 2008. 27 p.
- FORSYTHE, W. **Física de Suelos**. San José: Costa Rica. IICA. 1975. 212p
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 219–230, 2002.
- JEIHOUNI, M. et al. Digital mapping of soil moisture retention properties using solely satellite-based data and data mining techniques. **Journal of Hydrology**, v. 585, p. 124786, 2020.
- HERBETS, R. A. et al. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.
- IBRAHIM, A.; HORTON, R. Biochar and compost amendment impacts on soil water and pore size distribution of a loamy sand soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 4, p. 1021–1036, 2021.
- KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Strategies to improve the retention and availability of soil water. **Revista Eletronica em Gestao Educacao e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. **Science**, v.304, p.1623, 2004.
- LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.
- LEE Y. et al. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 °C. **Bioresearch Technology**, v. 148, p. 196-201, 2013.
- LEITE, M. J. de H. Características gerais dos principais solos da região semiárida. RECIMA21 -**Revista científica multidisciplinar**, v. 3, n. 10, 2022.
- LI, S. et al. Engineered Biochar Production and Its Potential Benefits in a Closed-Loop Water-

Reuse Agriculture System. **Water**, v. 12, 2847, 2020.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. São Paulo: Editora Hemus, 2004. 265 p.

MAAOUI, Assia et al. Assessment of pine wood biomass wastes valorization by pyrolysis with focus on fast pyrolysis biochar production. **Journal of the Energy Institute**, v. 108, p. 101242, 2023.

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. de O. Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, p. e1, 2020.

MICHELON, C. J. et al. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.

MOTA, J. C. A. et al. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 49–58, 2008.

NOVOTNY, E. H. et al. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 321-344, 2015.

PAREDES F., M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, 2011.

OLINTO, F. A. et al. Compostagem de resíduos sólidos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 39, 2012.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, n. 1, p. 49-134, 2007.

SANTOS, T. E. M. dos; SILVA, D. D. da; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1733-1741, 2010.

SARTORI, V. C. et al. **Cartilha para agricultores [recurso eletrônico]** : adubação verde e compostagem : estratégias de manejo do solo para conservação das águas. Caxias do Sul, RS: Educs, 2011. Disponível em: <<https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/cartilha-agricultores-compostagem.pdf>>.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.

SELA, G. Irrigation Management with Soil Sensors: Considerations for Choosing the Best Method. **CropLife**, 2019. Disponível em: <<https://www.croplife.com/precision-tech/irrigation->

management-with-soil-sensors-considerations-for-choosing-the-best-method/> Acesso em: 24 de ago. 2023.

SEYEDSADR, S. et al. Biochar considerably increases the easily available water and nutrient content in low-organic soils amended with compost and manure. **Chemosphere**, v. 293, 133586, 2022.

SILVA, J. P. da et al. Efeito do composto orgânico de resíduo de abatedouro nas propriedades físicas do solo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Natal. **Anais...** Natal: SBCS, 2015.

SOTO, R. L.; PADILLA, M. C.; DE VENTE, J. Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 45, p. 101157, 2020.

TANG, S. et al. The effects of biochar/compost for adsorption behaviors of sulfamethoxazole in amended wetland soil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 28, n. 35, p. 49289-49301, 2021.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TORMENA, C. A. et al. Relações da matéria orgânica com atributos físicos de solos de regiões subtropicais e tropicais brasileiras. In: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. de (Ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília/DF: Embrapa Meio Ambiente, 2023.

UNKOVICH, M. et al. Challenges and opportunities for grain farming on sandy soils of semi-arid south and south-eastern Australia. **Soil Research**, v. 58, n. 4. p. 323-334, 2020.

VERHEIJEN, F. G. A. et al. **Biochar application to soils** - a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. EUR 24099 EN, European Commission, Luxembourg. 2010.

WEI, J. et al. Assessing the effect of pyrolysis temperature on the molecular properties and copper sorption capacity of a halophyte biochar. **Environmental Pollution**, v. 251, p. 56-65, 2019.

WONG, J. T. F. et al. Effects of biochar on soil water retention curves of compacted clay during wetting and drying. **Biochar**, v. 4, 4, 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION - USEPA. **A guide to the biossolids risk assessments** for the EPA Part 503 rule, 1995. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93- 005,1995.195p. Mimeografado. (USEPA 1995)

YAASHIKAA, P. R. et al. A critical review on the biochar production techniques,

characterization, stability and applications for circular bioeconomy. **Biotechnology Reports**, v. 28, p. e00570, 2020.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.