

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
BRUNA TEODORO NAVES

ADIÇÃO DE BIOCHAR E VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO  
FERTILIZADO COM UREIA

Monte Carmelo

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
BRUNA TEODORO NAVES

ADIÇÃO DE BIOCHAR E VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO  
FERTILIZADO COM UREIA

Trabalho de Conclusão apresentado  
ao curso de Agronomia da Universidade  
Federal de Uberlândia, Campus Monte  
Carmelo, como requisito necessário para a  
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Edmar Isaías de Melo

Monte Carmelo

2023

BRUNA TEODORO NAVES

ADIÇÃO DE BIOCHAR E VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO  
FERTILIZADO COM UREIA

Trabalho de Conclusão apresentado  
ao curso de Agronomia da Universidade  
Federal de Uberlândia, Campus Monte  
Carmelo, como requisito necessário para a  
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 17 de novembro de 2023

Banca Examinadora

---

Edmar Isaías de Melo

Orientador

---

Cinara Xavier de Almeida

Membro da Banca

---

Luis Fernando Vieira da Silva

Membro da Banca

Monte Carmelo

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Instituto de Química

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4264 -



## **ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO**

### **ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Ata da defesa de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo.

Data: 17/11/2023

Hora de início: 13h00 min

Hora de encerramento: 15h00min

Local: a defesa ocorreu de forma online utilizando a plataforma da Rede Nacional de Pesquisa- RNP, no <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/RENAGRI-UFU-MC>.

Nome da discente: Bruna Teodoro Naves

Matrícula: 31721AGR009

Título: ADIÇÃO DE BIOCHAR E VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO FERTILIZADO COM UREIA

Reuniu-se a Banca Examinadora com o presidente da mesa apresentando o discente e, agradecendo a presença do público. Em seguida foi concedida a palavra para exposição do trabalho, conforme as Normas de Trabalho de Conclusão de Curso.

A seguir o presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato; concluída a arguição, nos termos regimentais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu a nota final: 91 (noventa e um) pontos.

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou a candidata:

( X ) Aprovado(a) ( ) Reprovado(a).

Para constar, foi lavrada a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca.

Prof. Dr. Edmar Isaías de Melo (Presidente da banca)

Profa. Dra. Cinara Xavier de Almeida (Membro 1)

M.e Luis Fernando Vieira da Silva (Membro 2)



Documento assinado eletronicamente por **Luis Fernando Vieira da Silva, Usuário Externo**, em 17/11/2023, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cinara Xavier de Almeida, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/11/2023, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edmar Isaias de Melo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/11/2023, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4977380** e o código CRC **09AA1AE6**.

**Referência:** Processo nº 23117.035554/2023-11

SEI nº 4977380

## Sumário

<b>1-</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2-</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>3-</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
	3.1- Biochar .....	6
	3.2- Importância do nutriente Nitrogênio .....	8
	3.3- Ponto de Carga Zero .....	9
<b>4-</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
<b>5-</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>14</b>
	5.1-Avaliação da TVA em solo com aplicação de biochar sem ativação .....	14
	5.2-Avaliação da TVA com biochar ativado .....	16
	5.3- Resultados da caracterização do biochar .....	18
<b>6-</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>7-</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>

## RESUMO

O nitrogênio é um nutriente fundamental para o desenvolvimento das plantas, e uma alternativa para propiciar sua absorção pela planta e a qualidade do solo é reduzir sua perda por volatilização. Dessa forma objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do biochar ativado na perda de nitrogênio por volatilização de amônia em solo fertilizado com ureia. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, e um fatorial de  $4 \times 2 + 2$  sendo os tratamentos com quatro concentrações de biochar (2, 4, 6 e 8% m/V), duas formas de aplicação da ureia (incorporada e superficial) e dois tratamentos controle. Utilizando o biochar ativado, o experimento foi também em DIC, tendo cinco repetições, numa estrutura fatorial de  $3 \times 2$ , correspondendo a três tipos de biochar (tratado com ácido clorídrico, hidróxido de sódio e água) e duas formas de aplicação de ureia (superficial e incorporada). A análise estatística utilizada foi o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. As variáveis avaliadas foram a taxa de volatilização de amônia (TVA), o ponto de carga zero (PCZ), a análise de microscopia eletrônica de varredura e análise de espectroscopia por dispersão de elétrons (EDS). O aumento do pH provocado pela adição de biochar, promoveu maior (TVA) em solos com ureia aplicada superficialmente, no entanto com ureia incorporada a TVA na dose de 4% m/V foi menor comparando-se com os tratamentos controle. Nota-se também que concentrações elevadas de ureia proporcionam maiores perdas. Com isso os resultados mostram que doses de biochar inferiores a 8% m/V podem amenizar as perdas de nitrogênio por TVA quando a ureia esteja de forma incorporada. Conclui-se também que o biochar ativado com HCl e aplicado em LATOSSOLO VERMELHO provocou somente 15,4% de volatilização enquanto para o biochar tratado com NaOH a volatilização foi quase em sua totalidade, volatilizando 99% da amônia presente na câmara de incubação.

Palavras-Chave: nitrogênio, adsorção, qualidade de solo

## 1- INTRODUÇÃO

Sabe-se que o nitrogênio tem alto dinamismo no solo, sofrendo diversas transformações químicas e biológicas. Devido ao seu baixo efeito residual, e sua alta exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada é feita em maior quantidade, e com mais frequência do que a adubação para outros nutrientes (D' ANDREA et al., 2004). Na planta, o nitrogênio potencializa a síntese de proteínas e de ácidos nucléicos (LARSEN et al., 2019), promove o crescimento vegetativo, onde vários mecanismos morfofisiológicos estão envolvidos em resposta ao uso eficiente sendo um deles a taxa fotossintética (BATISTA et al., 2015).

No entanto as perdas gasosas são o principal fator da ineficiência do uso de fertilizantes nitrogenados, dentre eles a ureia, que é considerada um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo, alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas (CALONEGO, 2012). A perda do nitrogênio pode ocorrer quando o solo apresenta pH alcalino, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa umidade e altas doses de nitrogênio, ou pela ação conjunta de dois ou mais destes fatores (OLIVEIRA, 1995). Isto, em parte, ocorre por meio de processos de lixiviação do nitrato, volatilização de amônia e emissão de  $N_2$ ,  $N_2O$  e outros óxidos de nitrogênio (DUBACHE et al., 2019).

Por outro lado, a utilização de materiais a base de carbono tem sido defendida como um meio de redução de poluentes no solo e por aumentar a capacidade de retenção de nutrientes no mesmo (HAGEMANN et al., 2017). O biochar, produzido a partir da combustão incompleta de material orgânico pelo processo de pirólise (KONG et al., 2018) tem sido descrito na literatura como um material promissor para mitigar perdas de nitrogênio no solo (LIU et al., 2019).

Thangarajan e colaboradores (2018) avaliaram o efeito do biochar e do inibidor dicianidamida (DCD) na transformação de nitrogênio (N) e perdas de N por emissão gasosa de  $NH_3$  e  $N_2O$  de solos agrícolas tratados com uma variedade de fontes orgânicas e inorgânicas de N. A adição de DCD reduziu a emissão de  $N_2O$  de fontes orgânicas e inorgânicas de N melhorando os solos em 75%, no entanto aumentou o amônio ( $NH_4^+$ ) e subsequentemente induziu alta emissão de  $NH_3$  dos solos. Por outro lado, a adição de biochar reduziu as emissões de  $N_2O$  e  $NH_3$  de fontes

orgânicas e inorgânicas em 23% e 43%, respectivamente. O estudo demonstrou que o biochar pode ser usado para mitigar perdas de N resultantes da volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ .

Experimentos em campo foram realizados por Sun e colaboradores (2018) com solo sob cultivo de arroz, objetivando compreender como a aplicação de biochar influenciou na ciclagem de nitrogênio no solo. Foram realizados experimentos em um arrozal que recebeu  $225 \text{ kg N ha}^{-1}$  de ureia ou de águas residuais ricas em N. A aplicação única de biochar reduziu a lixiviação de N em 23,1%, e a aplicação de biochar de forma dividida em mais de uma aplicação reduziu ainda mais a lixiviação de N em 32,4%.

Os resultados mostraram que a utilização de amônia aumentou 8,83-9,06% após a adição de biochar ao solo arenoso durante a primeira estação, em comparação com o controle. No entanto, esse efeito significativo não foi observado no solo argiloso, no qual uma quantidade significativamente maior de N-ureia foi retida no solo após a aplicação do biochar.

Além disso, com base nos resultados dos experimentos de lixiviação de N e volatilização de  $\text{NH}_3$ , reduções de 29,19% e 28,65% de N- $\text{NO}_3$  foram provocadas pela adição de 2% e 4% de biochar no solo argiloso, diminuindo o total de N inorgânico lixiviado (N-  $\text{NH}_4^+$  mais N- $\text{NO}_3$ ) em 26,46% e 26,82%, respectivamente. De acordo com esse estudo foi verificado que o biochar pode ser efetivamente usado para melhorar a eficiência no uso do nitrogênio no solo arenoso e reduzir a perda de N do solo argiloso.

## **2- OBJETIVO**

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do biochar, produzido a partir de resíduos da indústria madeireira (serragem de eucalipto) na perda de nitrogênio por volatilização de amônia em solo adubado com ureia.

## **3- REFERENCIAL TEÓRICO**

### 3.1- Biochar

O biochar é produzido através de um processo de queima, denominado de pirólise, sendo uma tecnologia que termoconverte a biomassa vegetal, degradando os materiais orgânicos na ausência parcial ou total de um agente oxidante, por um período com temperatura e atmosfera controlada, em um ambiente com baixa ou nenhuma presença de oxigênio, e tendo como resultado a alteração da composição do produto pelo calor (PAZ et al., 2017).

O biochar pode ser produzido de diversas fontes, tanto resíduos agrícolas como florestais, bem como resíduos de biomassa livres de toxicidade (CHEN et al., 2019). Possuindo uma estrutura rica em meso e microporos, com elevada área superficial específica (LIU et al., 2018; LIU et al., 2018b) forte adsorção e uma variedade de nutrientes. (LI et al., 2019).

No nordeste da China existe uma elevada produção de milho, que durante o processo de produção agrícola produz uma quantidade significativa de palha (WANG et al., 2020b). Porém devido às baixas temperaturas dificultam a decomposição natural da palha, afetando o cultivo do ano seguinte. Esse problema é resolvido, realizando a pirólise da palha transformando-a em biochar e podendo ser devolvida para o campo (MENG et al., 2019).

Outra fonte de biomassa com potencial de uso para produção de biochar são os resíduos da cocoicultura, material este que produz uma elevada quantidade de resíduos (ANDRADE et al 2017). Neste sentido Cortez et al., (2009) pesquisaram a produção de biochar a partir dos resíduos casca e fibra de coco, e com isso concluíram que o biocarvão produzido da casca possui fragmentos menores e mais quebradiços. É possível produzir biochar de diferentes tipos de materiais, por exemplo, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, uma vez que a quantidade de resíduo que é descartado pela indústria sucroalcooleira é bastante significativa. Desta forma, com a produção do biochar tendo como matéria-prima o bagaço de cana-de-açúcar, reduz significativamente as chances deste material causar algum dano ao ambiente por questões de descarte inadequado (SILVA, 2022).

O biochar consiste em um substrato que favorece o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo (RAVINDRAN et al., 2019), atuando de diversas maneiras para a melhoria do mesmo, dentre elas o aumento da fertilidade, melhoria da disponibilidade de nutrientes

(AGGANGAN et al., 2019), aumento do pH e a retenção de água, diminuição na perda de nutrientes por lixiviação no solo.

O biochar proporciona diferentes efeitos positivos no solo e conseqüentemente nas plantas, principalmente para a microbiota do solo que são de grande importância ambiental, pelo fato de que essas ações geralmente são afetadas positivamente pelo biochar, pois permite o enraizamento durante a germinação e promove melhoria na biomassa e no comprimento radicular (PONCIO, 2022).

A produção de biochar reutiliza 100% do carbono presente na biomassa, técnica esta que é crucial para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, isso se deve ao fato de ser possível produzir materiais capazes de fornecer um manejo sustentável dos resíduos gerados nos setores industriais e agrícolas (SILVEIRA, 2018).

Visando reduzir os efeitos de poluentes do ambiente, tem-se uma abordagem em relação a produção de biochar a partir da pirólise de resíduos que são ricos em carbono, são baratos e facilmente encontrados, pois são materiais ricos em lignocelulose deixados pelas atividades agrícolas. Estudos comprovam que este produto não apenas retém CO<sub>2</sub>, mas também pode ser usado de maneira promissora na agricultura sustentável, visando atuar na remediação da poluição, em reações catalíticas e na produção de energia (HAMED et al., 2020).

Aplicando o biochar no solo, este possui a capacidade de reduzir a densidade aparente do solo, aumentando sua porosidade e os teores de matéria orgânica, água e nutrientes do solo, melhorando e promovendo o crescimento de microrganismos (KAMAU et al., 2019). Dessa forma, o biochar pode contribuir com as propriedades químicas e físicas do solo, podendo ser amplamente utilizado na reabilitação de solos com fertilidade reduzida (EL-NAGGAR et al., 2019).

A diversidade de materiais que são utilizados para a produção de biochar, estão intimamente ligadas com o seu efeito sobre o meio ambiente e sobre a quantidade de resíduo que será descartada no meio. Visto isso, a produção de biochar a partir do lodo de esgoto foi uma alternativa crucial, visando destinar o resíduo para uma atividade mais sustentável e reduzir o seu potencial de poluição, visando maximizar a utilização de recursos naturais e com isso criar um cenário diferente para esse tipo de resíduo (ZELAYA, 2016).

Estudos realizados por Zelaya (2016), comprovaram que a associação de diferentes tipos de biochar podem gerar bons resultados para a agricultura, se tratando de disponibilidade de

nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, bem como melhoria no desenvolvimento do sistema radicular.

### **3.2- Importância do nutriente Nitrogênio**

Segundo informações da Associação Nacional Para Difusão de Adubos (ANDA, 2023), as entregas de fertilizantes ao mercado encerraram o mês de agosto de 2023 com 5.515 mil toneladas, registrando um crescimento de 32,6% em relação ao mesmo mês de 2022. Apesar de o país ser um grande consumidor de fertilizantes, o Brasil presenciou nos últimos 10 anos uma redução considerável na produção interna consequentemente provocando um aumento nas importações de adubos (ANDA, 2018).

A adubação nitrogenada é, para a maioria das culturas a principal, pelo fato de que o elemento nitrogênio limita o crescimento e a produtividade das lavouras (CHOWDHURY & DAS, 2015). No Brasil, a fonte mais usada deste nutriente na adubação é a ureia, devido seu custo-benefício por unidade de nutriente (CIVARDI et al., 2011; SILVA et al., 2012).

As grandes perdas de Nitrogênio por volatilização de amônia e desnitrificação, constituem-se em outro fator relevante que justifica o estudo da eficiência da adubação nitrogenada na agricultura. Dessa forma, torna-se indispensável a importância da ureia na agricultura e a importância de estudos envolvendo o produto (FRAZÃO et al., 2014).

A volatilização de amônia e taxas diárias de volatilização podem ser explicadas pela ação conjunta de fatores solo e clima que interferem na concentração de amônia muito próxima a superfície do solo e alta taxa de perda de água, determinando o potencial de perdas fora do sistema solo-planta (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

Se tratando de fertilidade do solo, o nitrogênio é um dos macronutrientes primários mais importantes nesse aspecto, estando presente em grandes quantidades na atmosfera (cerca de 80%) na sua forma elementar ( $N_2$ ), forma esta que não é aproveitada pela maior parte das plantas (FERREIRA; CRUZ, 2020). Portanto, a maior reserva deste elemento está na atmosfera em sua forma elementar. Apesar de sua abundância, essa forma química só é assimilada por alguns tipos de microrganismos, desta forma qualquer processo que resulte na transformação de nitrogênio

elementar em outros compostos nitrogenados é denominado de fixação biológica de nitrogênio (FERREIRA; CRUZ, 2020).

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limita o crescimento e renovação de tecido vegetais (BOURSCHEIDT et al., 2019), pelo fato de constituir diversas estruturas, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos e coenzimas. No entanto, o nitrogênio que está presente no solo não é suficiente para atender a demanda da maioria das culturas, sendo assim havendo necessidade de repor este nutriente por meio de fertilizantes (FAGUNDES et al., 2005).

As perdas de nitrogênio por volatilização são frequentes após a aplicação no solo, e pelo fato de ser um gás, em condições normais de temperatura a amônia presente no solo, pode volatilizar rapidamente (BASSO et al., 2004). A volatilização da amônia e as taxas diárias de volatilização podem ser atribuídas à ação conjunta de fatores climáticos e do solo, além da elevada taxa de perda de água, fator determinante no potencial de perdas fora do sistema solo-planta (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

Das fontes de nitrogênio mais utilizadas no Brasil, a ureia é a principal delas, pelo fato de apresentar maior teor de nitrogênio por quilograma de produto e por ter baixo custo. Entretanto, é a fonte que apresenta a maior perda de nitrogênio por volatilização de amônia ( $N-NH_3$ ) resultando na baixa eficiência de utilização pelas culturas (ABALOS et al., 2014).

### **3.3- Ponto de Carga Zero**

O estudo das cargas elétricas especificamente a determinação do pH ponto de carga zero (PCZ) é de suma importância para que seja possível entender diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem no solo, pelo fato de que a maioria das reações eletroquímicas que influenciam sua fertilidade e a nutrição de plantas ocorre na superfície dos constituintes das frações orgânica e mineral (DA SILVA et al., 2020).

O biochar ativado é um material microporoso de elevada área superficial, sendo capaz de acomodar em sua estrutura elementos como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio. Tais características proporcionam ao biochar um elevado potencial adsorvente, tanto física como quimicamente. É

possível melhorar a capacidade adsortiva do biochar através de processos de tratamento térmico, oxidação ou impregnação com compostos orgânicos e inorgânicos (GUILARDUCI et al., 2006).

Mudanças no pH afetam o processo adsorptivo do material, uma vez que podem favorecer ou não a dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos. Para isso é de fundamental importância determinar as propriedades eletroquímicas do material adsorvente, para isso realiza-se a identificação do ponto de carga zero (PCZ) do material. O PCZ pode ser definido como a atividade dos íons determinadores de potencial, íons estes que constituem a carga superficial (FUERSTENAU et al., 1998).

Conhecer sobre o PCZ do material permite prever a carga superficial do material adsorvente de acordo com o pH, se o material apresentar pH menor que o PCZ, os sítios superficiais estarão protonados e sua carga será positiva, no entanto se o pH foi maior que o PCZ, os grupos ionizáveis perdem seus prótons e a carga será negativa. O conhecimento sobre as cargas dos materiais permite identificar as interações eletrostáticas entre eles, atraindo ou repelindo alguns nutrientes, de maneira que o valor do pH pode favorecer ou não o processo adsorptivo (PERILLI et al., 2014).

O Biochar apesar de ser um material com elevada porosidade comparado a outros tipos de materiais, é possível melhorar a sua característica, por exemplo de adsorção, através de diferentes métodos, podendo ser físicos ou químicos, tais processos são conhecidos como ativação. Este processo de ativação permitirá mudanças na superfície do material, o que dependerá da característica da superfície e suas cargas para determinar seu potencial de adsorção (SULIMAN et al., 2017).

A superfície específica do biochar está intimamente relacionada com sua porosidade. No entanto, além da área superficial específica exposta pelos poros, ocorre também a presença de diversos grupos funcionais em suas superfícies, sendo fatores determinantes para a qualidade adsorptiva do biochar, uma vez que estes compostos são responsáveis por aumentar ou diminuir a adsorção e interação entre os materiais Assim como as características citadas acima, a dinâmica dos grupos funcionais da superfície dos materiais também é dependente de alguns fatores, por exemplo a temperatura, que é capaz de alterar a sua composição físico-química, e consequentemente alterando os grupos funcionais. Tais mudanças ocorrem simultaneamente à medida que o material perde sua massa (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

Visto isso, é de fundamental importância a expansão de uso destes materiais, principalmente em se tratando da adsorção de nutrientes que são facilmente perdidos por lixiviação

e volatilização, um forte exemplo é a perda de nitrogênio por volatilização da amônia, este nutriente é crucial para um bom funcionamento fisiológico das plantas bem como para o seu potencial produtivo. Sendo assim, o uso de biochar se torna indispensável, pelo fato de o biochar possuir elevada afinidade pela amônia e pelo nitrato, sendo incorporado ao solo o biochar apresenta propriedades que tornam a liberação do nitrogênio de forma mais lenta para as plantas (GONZAGA et al., 2018), reduzindo as perdas por emissões gasosas de nitrogênio (CASE et al., 2015).

#### 4- MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no experimento foi o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2018) coletado nas coordenadas (18°43'31,11"S; 47°31'28,89"W), cujos atributos químicos estão descritos na tabela 1.

	pH	MO	P	K	Si	Ca	Mg	SB	T	t	V
CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	g/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			%
5,2	6,0	25,5	59,1	256,5	1,2	3,75	1,35	5,75	9,25	5,75	62,2

**Tabela 1:** Análise química do solo usado como substrato no experimento

Para realização da pesquisa, esse trabalho foi realizado em duas experimentações diferentes, sendo a primeira, o experimento para avaliação do efeito do biochar *in natura* (sem ativação) sendo conduzido no laboratório de química da Universidade Federal de Uberlândia, no município de Monte Carmelo, 18°43'29"S, 47° 29' 55" W e 870 m de altitude em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições em uma estrutura fatorial de 4x2+1. Os tratamentos corresponderam a quatro concentrações de biochar (2, 4, 6, 8 % m/V), duas formas de aplicação da ureia (incorporada e superficial) na dose de 140 Kg ha<sup>-1</sup> e dois tratamentos controle, um contendo solo e biochar e outro contendo apenas solo, ambos sem aplicação de ureia. O biochar foi produzido por meio de combustão incompleta pelo processo de pirólise lenta, em forno térmico com dois cilindros adaptados do modelo utilizado por agricultores tailandeses (PRAKONGKEP; GILKES; WIRIYAKITNATEEKUL, 2015). A fonte de biomassa

utilizada para a produção do biochar, foi o resíduo produzido pela indústria madeireira do município de Monte Carmelo – MG.

E a segunda etapa da experimentação que foi avaliar efeito do biochar ativado sendo avaliado em experimento com delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições em uma estrutura fatorial de 2 x 3. Os tratamentos corresponderam a três tipos de biochar, sendo biochar ativado com ácido clorídrico (HCl), biochar ativado com hidróxido de sódio (NaOH) e biochar ativado com água destilada, e duas formas de aplicação da ureia (incorporada e superficial) na dose de 140 Kg ha<sup>-1</sup>. A dose de biochar incorporada no solo foi de 4% m/V.

O procedimento de ativação química do biochar foi realizado 100 mL de ácido clorídrico concentrado em 30g de biochar conforme metodologia adaptada de (COSTA et al., 2018) colocados em um béquer de vidro, utilizando um bastão para homogeneizar o material e adicionando 100mL de água destilada. Para a ativação do biochar com hidróxido de sódio, utilizou-se também uma massa de 30g de biochar em 100 mL de uma solução de hidróxido 0,5 mol L<sup>-1</sup>, adicionando também 100 mL de água para que todo biochar ficasse em contato com a solução, já para o biochar *in natura* foram também 30g de biochar e 200mL de água destilada (COSTA et al., 2018).

O biochar utilizado no procedimento de ativação apresentava granulometria menor que 2 mm. A suspensão de biochar e solução ativadora ficou em descanso por um período de 24 horas. Após esse período a suspensão foi filtrada, utilizando papel de filtro watmam n° 1, e o resíduo, carvão ativado, foi lavado com água destilada até que o filtrado apresentasse um pH próximo de 6. Em seguida o papel contendo o biochar ativado, foi colocado na estufa a 105°C por 1 h.

A avaliação do efeito do biochar na perda de nitrogênio, por volatilização, foi realizado usando o método de incubação onde o transporte da NH<sub>3</sub> por circulação de ar não foi utilizado e, portanto, a volatilização da NH<sub>3</sub> ocorreu de maneira passiva (REGUEIRO; COUTINHO; FANGUEIRO, 2016; VAN DER STELT et al., 2007; VITTI et al., 2002).

Os solos dos tratamentos (50 cm<sup>3</sup>) foram adicionados em frasco de incubação (recipiente de vidro com capacidade de 600 mL e gargalo de 74 mm de diâmetro) e tiveram a umidade corrigida para 50% da capacidade de campo. Um frasco plástico (50 mL) contendo solução coletora de amônia (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>) foi colocado sobre a superfície do solo do tratamento e rapidamente o frasco de incubação foi fechado (ALVES et al., 2011). Os frascos foram

incubados a temperatura ambiente, por 72h. A concentração de amônia coletada na solução de ácido sulfúrico foi determinada por análise por injeção em fluxo com detecção condutométrica (DE MELO et al., 2018; BRAZ et al.,2011). A taxa de volatilização de amônia foi calculada conforme a equação 1.

$$TVA = \frac{m_{am} - m_{ams}}{t \cdot V_s} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, TVA, taxa de volatilização de amônia ( $\mu\text{g NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ dm}^{-3}$ ),  $m_{am}$ ( $\mu\text{g}$ ), massa de amônia volatilizada nos diferentes tratamentos,  $m_{ams}$ ( $\mu\text{g}$ ), massa média de amônia volatilizada em tratamento apenas com solo,  $V_s$  ( $\text{dm}^{-3}$ ) volume de solo utilizado no recipiente de experimentação e  $t$ (h) tempo de contato da ureia com o substrato do tratamento.

Os resultados da taxa de volatilização líquida foram submetidos aos testes de Levene ( $p > 0,05$ ) para homogeneidade de variâncias e Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ) para normalidade dos dados. Os dados foram submetidos à análise de variância e os resultados referentes as formas de aplicação e tipo de biochar foram comparados pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) e os dados referentes à concentrações de biochar foram submetidas à análise de regressão. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R (R. CORE TEAM, 2016). Os gráficos foram elaborados utilizando o software livre, SciDAVis.

A avaliação do pH do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ ) foi realizada em duplicata adicionando 20 mg dos materiais adsorventes ativados em 20 mL de solução aquosa de KCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  em diferentes valores de pH inicial (1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00; 6,00; 8,00; 9,00 10,00; 11,00; 12,00), ajustado com soluções de HCl ou NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após 24 h de agitação, em temperatura ambiente, as soluções foram filtradas e o pH final da solução foi avaliado (OH et al., 2012).

As imagens de microscopia eletrônica de varredura foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura TESCA VEJA-3 LMU sob condição de vácuo e 15 kV de aceleração do feixe de elétrons, da Rede de Laboratórios Multiusuário do Instituto de Química-LAMIQ.

## 5- RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1-Avaliação da TVA em solo com aplicação de biochar sem ativação

O modo de aplicação da ureia e as concentrações de biochar aplicadas ao solo apresentaram diferenças significativas na taxa de volatilização de amônia (Tabela 1), para o teste de Scott Knott para ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 1:** Valores de F-statistics da Análise de Variância (ANAVA) da taxa de volatilização da amônia

Efeito	TVA
	Quadrado médio
Biochar	10,62*
Ureia	4,58*
Biochar*Ureia	0,31*
Resíduo	0,05
CV (%)	9,42

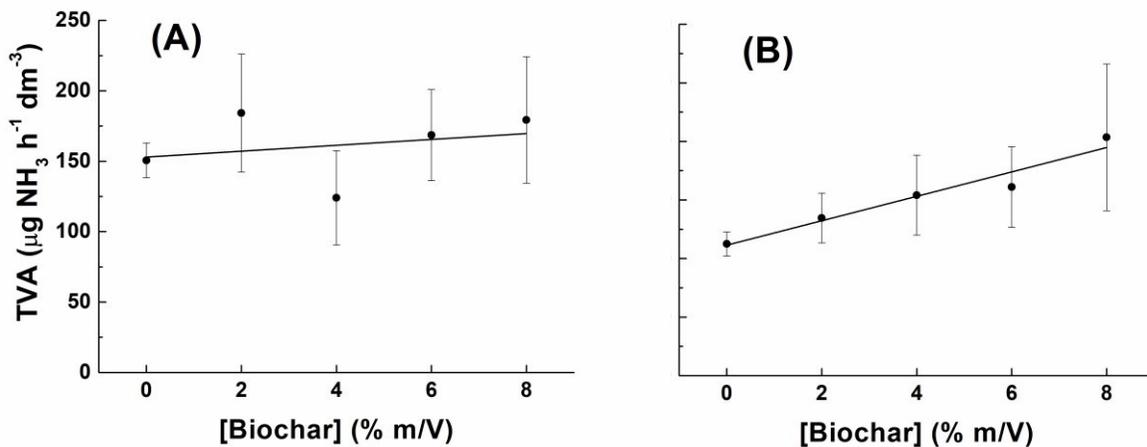
TVA: Taxa de volatilização de amônia ( $\mu\text{g h}^{-1}\text{dm}^{-3}$ ); \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. Fonte: Elaborado por Bruna Teodoro Naves.

**Tabela 2:** Taxa de volatilização de amônia em função da concentração de biochar e tipo de aplicação de ureia

Ureia	[Biochar] (% m/V)				
	0	2	4	6	8
Superficial	112,4 aC	134,5 aC	154,1 aB	161,0 aB	203,4 aA
Incorporada	150,6 aA	184,2 bA	124,0 aB	168,6 aA	179,3 aA

Taxa de volatilização de amônia ( $\mu\text{g h}^{-1}\text{dm}^{-3}$ ); letras minúsculas diferentes na mesma coluna e letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ , teste de Scott-Knott) Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Observa-se que para os tratamentos com ureia aplicada superficialmente com biochar nas doses de 4% e 6% m/V obteve um aumento em relação as concentrações de 0% e 2%. Onde, para a dose de 8% m/V obteve a maior TVA em relação as demais concentrações, isto porque esse aumento na TVA pode estar relacionado com o aumento do pH do solo provocado pela adição de biochar, pois o biochar é um material alcalino e sua adição ao solo pode provocar o aumento do pH (SOHI et al., 2010; CHEN et al., 2013). Segundo Huang et al (2017), quantidades de biochar aplicadas acima de  $40 \text{ mg ha}^{-1}$ , favorecem o aumento da TVA em até 42% em relação ao solo com ausência de biochar. As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia no solo ocorrem porque a ureia ao entrar em contato com a enzima urease sofre hidrólise, produzindo carbonato de amônio,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , e que em solo com pH maior que 7,0 pode ocasionar a emissão de gás de amônia ( $\text{NH}_3$ ) para a atmosfera (MANDAL, 2018). A TVA em função da concentração de biochar aplicada ao solo (Figura 1), apresentou comportamento diferente para tratamentos com ureia aplicada superficialmente e incorporada em função da concentração de biochar no solo.



Nota: TVA: taxa de volatilização de amônia

( $\mu\text{g h}^{-1} \text{ dm}^{-3}$ ) Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

**Figura 1:** Comportamento da taxa de volatilização de amônia em função da concentração de biochar e tipo de aplicação de ureia: Incorporada (A); Superficial (B).

**Tabela 3:** Modelos matemáticos da variação da TVA em função da dose de biochar.

	Modo de aplicação da ureia	
	Incorporada	Superficial
Modelo matemático	TVA = 2,09x + 152,9	TVA = 2,09x + 152,9
R <sup>2</sup>	0,072	0,946
Teste F (F crítico= 6,39)	F calculado = 0,234	F calculado = 52,56

x: variável concentrações de biochar (%m/V)

Para o solo dos tratamentos com ureia aplicada superficialmente (Figura 1B), ocorreu um aumento linear na TVA em função da concentração de biochar no solo, modelado pela equação apresentada na tabela 3, com um R<sup>2</sup> de 0,946, no entanto o comportamento da TVA em função da concentração de biochar nos tratamentos onde a ureia foi incorporada (Figura 1A), não pode ser descrito por um modelo linear, pois o coeficiente de determinação do modelo, foi pequeno (R<sup>2</sup>= 0,07), mas mesmo assim é possível verificar que para os tratamentos com ureia superficial o biochar influenciou mais na TVA do que para os tratamentos com ureia incorporada, o que pode ser verificado pelo F<sub>Calculado</sub> para a ureia aplicada de forma superficial (52,56) nos mostrando que o modelo se adequa, pois apresentou maior do que o F<sub>Calculado</sub> para a ureia aplicada de forma incorporada (0,234). Para os tratamentos com ureia superficial verifica-se uma influência maior do biochar na TVA em relação aos tratamentos com ureia incorporada. Esse comportamento corrobora com aquele que foi observado por Schomberg et al (2012) onde foi verificado aumento de perdas de amônia por consequência do aumento do pH do solo quando adicionado concentração maiores de biochar.

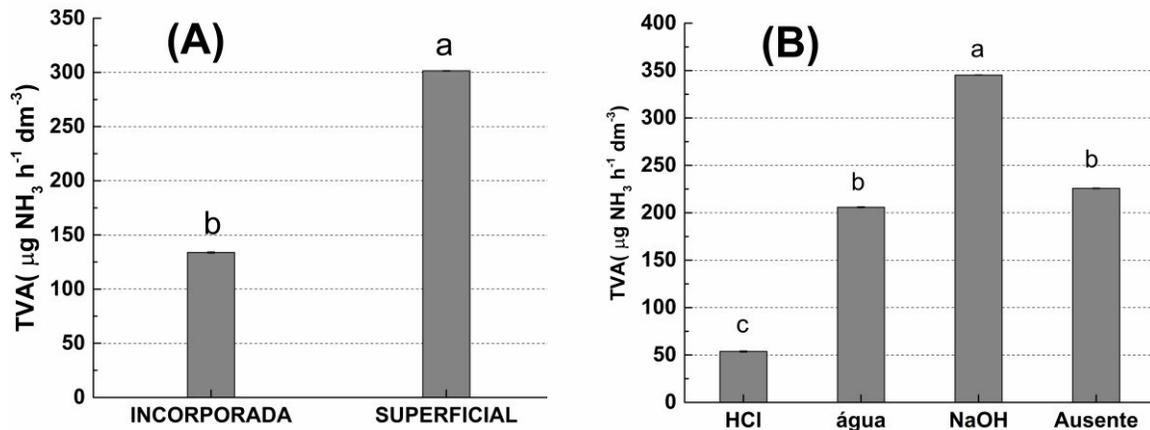
## 5.2-Avaliação da TVA com biochar ativado

Verifica-se pela análise de variância ao nível de significância de 5% que o tipo de tratamento e a forma de aplicação de ureia influenciaram na TVA, no entanto a interação entre os dois fatores não apresentou influência significativa ao nível de significância a 5% na TVA.

**Tabela 4:** Síntese da análise de variância para variável taxa de volatilização de amônia (TVA).

Fontes de variação	Valores de F
Tipo de tratamento do biochar (B)	121,94*
Forma de aplicação de ureia (A)	66,57*
Interação B×A	2,24 <sup>ns</sup>
CV (%)	22,11

\*Significativo ou ns não significativo a 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Figura 2:** Comportamento da taxa de volatilização de amônia (TVA) em função da do tipo de ativação do biochar (B) e da forma de aplicação de ureia (A).

Verifica-se que independentemente do tipo de ativação utilizada no biochar, a ureia aplicada superficialmente provoca uma TVA maior que a ureia incorporada, conforme teste de Tukey ao nível de significância de 5% (Figura 2A).

Considerando os resultados da TVA em função do tipo de tratamento do biochar (Figura 2B), observa-se que o tipo de ativação influenciou na TVA, exceto para o biochar lavado com água, o qual não apresentou diferença pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%, em relação a TVA do biochar ausente de tratamento, enquanto o biochar tratado com HCl reduziu a TVA em 54%. Observa-se que o tratamento em meio alcalino apesar de produzir um material com elevada porosidade e comparável a carvões comerciais ativados (AZARGOHAR e DALAI, 2006; WERLANG et al., 2013), promoveu uma maior TVA.

Esse comportamento de maior TVA para o biochar ativado com NaOH pode ser atribuído ao aumento do pH do solo provocado pela adição desse material em favorecer a hidrólise da

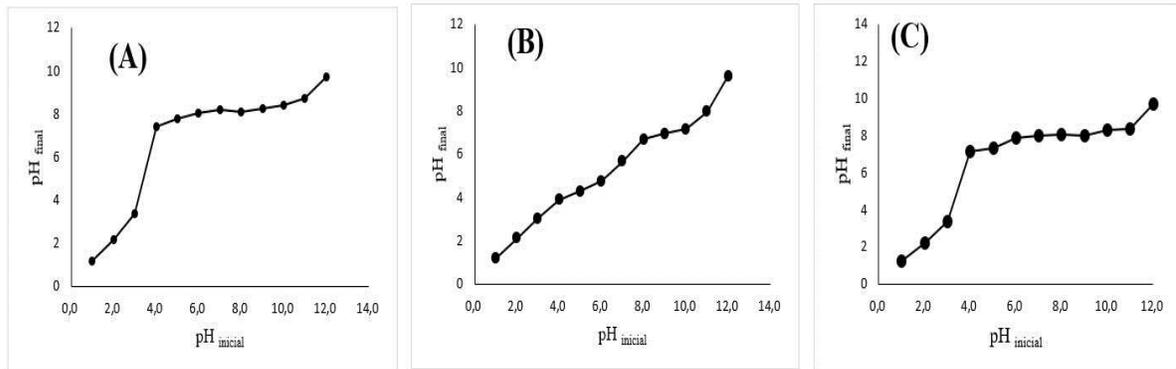
ureia pela enzima urease gerando carbonato de amônio,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , e que com a alcalinização do solo provocada pela adição do biochar tratado com NaOH pode ter ocasionado uma maior emissão de gás de amônia ( $\text{NH}_3$ ) para a atmosfera (MANDAL, 2018).

Comparando a TVA para o solo com biochar ativado com HCl, em relação a TVA dos demais biocarvões, verifica-se que essa variável, TVA foi bem menor, conforme teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Este comportamento, pode ser explicado pela ausência do biochar tratado com HCl, em não promover o aumento de pH do meio, e por consequência não favorecer a conversão do  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , produto da reação da ureia catalisada pela enzima urease, em amônia. Mas também pode ser atribuído ao fato de que o tratamento com ácido clorídrico pode ter modificado a superfície do biochar, no sentido de aumentar a sua porosidade e melhorar sua afinidade ou com íons amônio, ou com amônia, o que pode ter promovido menor TVA (HATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

### **5.3- Resultados da caracterização do biochar**

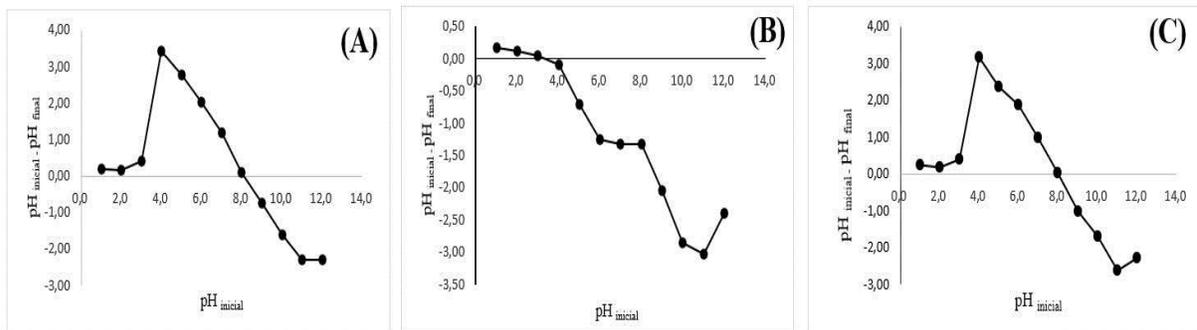
O biochar tratado com água apresentou pH do ponto de carga zero (PCZ) de 8,03 e o biochar tratado com o hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl) apresentaram pH do ponto de carga zero de 8,25 e 3,90 respectivamente. Os materiais tratados com NaOH e HCl quando colocados em ambiente onde o pH seja menor que o pH do ponto de carga zero, o material apresentará acúmulo de carga positiva, enquanto se os materiais forem colocados em ambientes onde o pH seja maior que o pH do ponto de carga zero, haverá predominância de carga superficial negativa sobre o material.

Neste sentido, o pH do ponto de carga zero do biochar tratado com diferentes soluções, foi avaliado e os resultados estão apresentados na (Figura 3 e 4).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Figura 3:** Variação do  $pH_{final}$  em função do  $pH_{inicial}$ . Biochar tratado com Hidróxido de Sódio (A); Ácido clorídrico (B) e Água (C).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

**Figura 4:** Comportamento dos valores de  $pH_{final} - pH_{inicial}$  em função do  $pH_{final}$  do Biochar tratado com Hidróxido de Sódio (A); Ácido clorídrico (B) e Água (C).

Visto isso, a aplicação do biochar tratado com HCl sendo adicionado ao solo na dose de 8% m/V, e tendo como referência que a faixa de pH exigida pela maioria das culturas é de 5,5 a 6,5 nota-se que se o biochar for aplicado ao solo nesta faixa de pH, o mesmo contribuirá com a capacidade de troca de ânions (CTA), por exemplo, a amônia, que possui carga negativa, produto da atividade da urease presente no solo, que pode ser adsorvida pelo biochar incorporado ao solo, além de melhorar de forma indireta a adsorção e de forma indireta melhorando a absorção de nutrientes pela planta. O resultado da atividade da urease é a amônia ( $NH_3$ ), está amônia que está sendo gerada e que ainda não se transformou em amônio ( $NH_4^+$ ) ela será adsorvida, não sendo perdida para o ambiente, ficando retida no biochar presente no solo, pelo fato de a amônia

possuir carga negativa e ser adsorvida pelo biochar, ficando retida e se transformando em íon amônio em função do pH do solo. O que não ocorrerá com o biochar tratado com água e NaOH, pois apresentaram um pH do ponto de carga zero muito distante da faixa agrícola recomendada, tendendo ao alcalino, o que influenciará de forma prejudicial na CTA e CTC do solo (DADALTO & FULLIN, 2001).

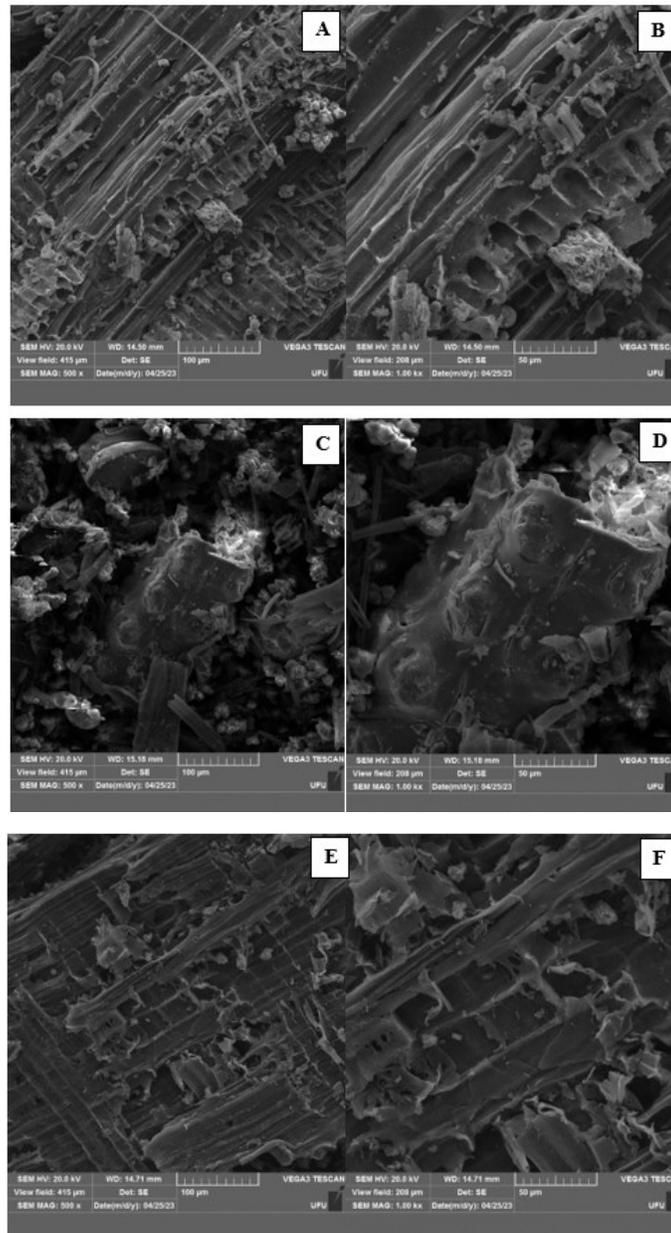
Durante a pirolise da serragem, o biochar formado pode apresentar a maioria de seus poros obstruídos (PEREIRA, 2010; RAMOS et al., 2009), o que não favorece o processo de adsorção. É necessário então, realizar um processo de ativação para limpar estes poros e deixar os sítios ativos da superfície livres para a adsorção da molécula de interesse. O processo de ativação pode ser físico, químico ou uma combinação dos dois. Nesse trabalho foi realizada a ativação química, com tratamento do biochar com ácido clorídrico (HCl), biochar tratado com hidróxido de sódio (NaOH) e apenas lavado com água destilada (Água) e os resultados comparados ao biochar ausente de tratamento.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) evidenciam diferenças nas características morfológicas da superfície do biochar de resíduos da indústria madeireira (Figura 5). Uma vez que apresentadas diferenças morfológicas na superfície destes materiais, pode indicar que a capacidade de adsorver nutrientes também pode apresentar diferenças.

Observando o biochar tratado com HCl (Figura 5 - B, C), nota-se uma superfície mais lisa e compacta, no entanto, apresenta uma certa descontinuidade (ONOREVOLI et al., 2018) o que pode justificar uma maior área superficial específica e, portanto, maior capacidade adsorviva em relação ao biochar tratado com água e NaOH.

Analisando as imagens, nota-se que todos os materiais possuem uma morfologia heterogênea, no entanto os materiais tratados com água e NaOH, possuem características semelhantes entre si, ainda com características do material de origem, evidenciando estruturas de parede celular lignificadas. Contudo, os materiais acima citados, apresentam regiões em suas estruturas que possuem poros de diferentes tamanhos relativamente pequenos e em menor quantidade, desta forma apresenta uma superfície com baixa capacidade de adsorção.

No entanto quando observamos a imagem do biochar tratado com HCl, notamos uma superfície com elevada área superficial, com depressões mantendo o padrão de área superficial, e que reforça o fato de ter apresentado melhor resultado na adsorção de nutrientes quando se tratando da adsorção de nutrientes na superfície deste material.



**Figura 5:** Microscopia eletrônica de varredura para o biochar tratado com NaOH (A, B), biochar tratado com HCl (C, D) e biochar tratado com água (E, F). Aumento 500X (A, C, E); 1000X (B, D, E).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A espectroscopia de energia dispersiva (EDS), possibilitou estimar os elementos químicos presentes na amostra. Nesta técnica, um feixe de elétrons incidente atinge a amostra e excita os átomos que retornam para seu estado fundamental emitindo fótons com energias específicas do elemento, o que permite sua identificação e quantificação. Na tabela 5, apresenta

os resultados estimativa da porcentagem dos elementos presentes nos materiais ativados (WANG et al., 2021).

**Tabela 5:** Média da estimativa da porcentagem dos elementos presentes no biochar

<b>Elementos</b>	<b>NaOH (%)</b>	<b>HCl (%)</b>	<b>H<sub>2</sub>O (%)</b>
<b>C</b>	261,02	240,86	204,7
<b>O</b>	85,52	123,98	55,8
<b>Si</b>	1,68	25,21	6,6
<b>Al</b>	0,20	0,04	0,1
<b>Fe</b>	0,62	1,80	0,5
<b>Na</b>	5,58	0,00	0,0
<b>Ca</b>	4,84	0,35	3,8
<b>Mg</b>	0,33	0,00	0,2
<b>K</b>	3,16	3,19	1,8
<b>Cl</b>	0,00	0,56	0,0

Fonte: Elaborada pelo autor

## 6- CONCLUSÃO

Para o biochar sem ativação a melhor dose foi de 4% m/V, proporcionando menor TVA para ureia incorporada. Para a ureia aplicada de forma superficial a dose que mais favoreceu a TVA foi a de 8% m/V.

Para o biochar tratado, a melhor ativação foi com ácido clorídrico (HCl), garantindo que somente 15,4% da amônia sofresse volatilização, enquanto para o biochar tratado com hidróxido de sódio houve volatilização de 99% de amônia.

A dose de 8% m/V de biochar tratado com HCl, proporcionará maior adsorção do íon em questão, disponibilizando maior área superficial e maior número de sítios ativos. O pH é extremamente importante para garantir uma boa adsorção de amônia.

## 7- REFERÊNCIAS

- ABALOS, D., JEFFERY, S., SANZ-COBENA A., GUARDIA G., VALLEJO A. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 189, p. 136-144, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
- AGGANGAN, N. S., JOMAO-AS, J. G. Biochar from sugarcane bagasse and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient status of cacao (*Theobroma cacao*L.) seedlings under nursery conditions. **Philippine Journal of Science**, v. 184, n. 4, p. 647-657, 2019. Doi: <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n2-051>
- ALVES, A. C., OLIVEIRA, P. P. A., HERLING, V. R., TRIVELIN, P. C. O., LUZ, P. H. D. C., ALVES, T. C., BARIONI JÚNIOR, W. New methods to quantify NH<sub>3</sub> volatilization from fertilized surface soil with urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 133-140, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100012>
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Estatísticas**. Disponível em: <http://anda.org.br> . Acesso em 18 nov. 2023.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). 2023. **Relatório sobre o mercado de fertilizantes – Janeiro a Agosto/2023**. Disponível em: [https://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://anda.org.br/pesquisa_setorial/) . Acesso: 03 nov. de 2023.
- AZARGOHAR, R.; DALAI, A. K. Biochar as a precursor of activated carbon. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v. 129-132, p. 762-773, 2006.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. DA. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1773–1778, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600016>
- BATISTA, R. O.; NETO, A. E. F.; DECCETTI, S.F. C. Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano Nutrient use efficiency in Australian cedar clones. **Sci. For., Piracicaba**, v. 43, n. 107, p. 647-655, set. 2015.
- BOURSCHEIDT, M. L. B.; PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. H.; ZANETTE, M. C.; DEVENS, J. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, p. 137–147, 2019.
- BRAZ, H. L., ITO, D. T., DA SILVA, J. A. F., DO LAGO, C. L., PEDROTTI, J. J. (2011). Trace levels determination of ammonium by flow injection analysis using gas-diffusion and

capacitively coupled contactless conductivity detection. *Electroanalysis*, 23(11).

<https://doi.org/10.1002/elan.201100317>

CALONEGO, J. C.; PALMA, H. N.; FOLONI, J. S. S. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e ureia na cultura do milho. *Journal of Agronomic Sciences*. Umuarama v. 1, n. 1, p.34-44, 2012.

CASE, S. D. C.; MCNAMAR, N. P.; REAY, D. S.; STOTT, A. W.; WHITAKER, J. Biochar suppresses N<sub>2</sub>O emissions while maintaining N availability in a sandy loam soil. *Soil Biology Biochemistry*, v. 81, p. 178-185, 2015.

CHEN, C.R., I.R. PHILLIPS, L.M. CONDRON, J. GOLORAN, Z.H. XU, AND K.Y. CHAN. 2013. Impacts of greenwaste biochar on ammonia volatilisation from bauxite processing residue sand. *Plant and Soil* 367: 301–312. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1468-0>

CHEN, W., MENG, J., HAN, X., LAN, Y., ZHANG, W. Past, present, and future of biochar. *Biochar*, v. 1, p. 75-87, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00008-3>

CHOWDHURY, A., e DAS, A. (2015). Nitrate accumulation and vegetable quality. *International journal of science and research*,4(12), 1668-1672.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R. e BROD, E. (2011). Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*41(1): 52-59. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8146>

COSTA, L. F., DE OLIVEIRA, D. G., MOREIRA, F. M. S., DE URZEDO, A. P. F. M., CESTAROLLI, D. T., BERNARDES-SILVA, A. C. Utilização de biocarvão e processos oxidativos avançados para remoção do propranolol de efluentes aquosos simulados. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 2, p. 295-312, 2018. Doi: <https://10.21577/1984-6835.20180023>

CORTEZ, L. A. B.; PEREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D.; JORDAN, R. A.; MESA, H. R. M. Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.3 n.1, p.21 -30, 2009. Doi: <https://doi.org/10.18011/bioeng2009v3n1p21-30>

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. 2001. Manual de Recomendação de Calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: **4ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER, 266 p.

D' ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>

DE MELO, E. I., REZENDE, C. I. P., & DE OLIVEIRA, F. M. Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação da atividade da urease no solo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 5, 2018.

DUBACHE, Getachew et al. Modeling ammonia volatilization following urea application to winter cereal fields in the United Kingdom by a revised biogeochemical model. **Science of The Total Environment**, v. 660, p. 1403-1418, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.407>

EL-NAGGAR, A., LEE, S. S., RINKLEBE, J., FAROOQ, M., SONG, H., SARMAH, A. K., Ok, Y. S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, v. 337, p. 536-554, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; VITOR, C. M. T.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; REIS, G. C.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 397-403, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400012>

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Apostila de Fertilidade do Solo: NITROGÊNIO NO SOLO**. Pg. 3; 17. Dpto. de Ciências da Produção Agrícola, FCAV/UNESP, Jaboticabal (SP). Edição Revisada em 2020.

FRAZÃO, JOAQUIM, J.; SILVA, A. R.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.118(12): 1262-1267. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267>.

FUERSTENAU, D.W., ROSENBAUM, J.M., YOU, Y.S. Electrokinetic Behavior of Coal. **Energy & Fuels**, v.2, p. 241-245, 1988. Doi: <https://doi.org/10.1021/ef00009a002>

GUILARDUCI, V.V.S., MESQUITA, J.P., MARTELLI, P.B. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, v.29, n.6, p. 1226-1232, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000600015>

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; DE ALMEIDA, A. Q.; DE CARVALHO JUNIOR, J. I. T.; ANDRADE, K. R. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, v. 162, p. 414-420, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.018>

HAGEMANN, N., et al. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. **Nature communications**, 2017, 8.1: 1089. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01123-0>

HAMED. K. S. P, MONA D., YONG S. O., ABDUL-SATTAR N., B. K, SOLANGE I. M., MORTAZA A., MEISAM T., SU S. L., A comprehensive review of engineered

biochar: Production, characteristics, and environmental applications, **Journal of Cleaner Production**. Volume 270, 2020, 122462, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122462>.

HATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, p. 277–296, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.01.007>

KAMAU, S., KARANJA, N. K., AYUKE, F. O., LEHMANN, J. Short-term influence of biochar and fertilizer-biochar blends on soil nutrients, fauna and maize growth. **Biology and Fertility of Soils**, v. 55, p. 661-673, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01381-8>

KONG, L., GAO, Y., ZHOU, Q., ZHAO, X., SUN, Z. Biochar accelerates PAHs biodegradation in petroleum-polluted soil by biostimulation strategy. **Journal of Hazardous Materials**, v. 343, p. 276–284, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.040>

LARSEN, S. U., JØRGENSEN, H., Bukh, C., SCHJOERRING, J. K. Green biorefining: Effect of nitrogen fertilization on protein yield, protein extractability and amino acid composition of tall fescue biomass. **Industrial Crops and Products**, 2019, 130: 642-652. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.016>

LEHMANN, J., JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. London, GB: Earthscan, 2009.

LI, L., ZOU, D., XIAO, Z., ZENG, X., ZHANG, L., JIANG, L., LIU, F. Biochar as a sorbent for emerging contaminants enables improvements in waste management and sustainable resource use. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1324-1342, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.087>

LIU, H., SIMONYAN, K., YANG, Y. arts: Differentiable architecture search. **arXiv preprint arXiv:1806.09055**, 2018a. Doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.09055>

LIU, Q., LIU, B., ZHANG, Y., HU, T., LIN, Z., LIU, G., XIE, Z. Biochar application as a tool to decrease soil nitrogen losses (NH<sub>3</sub>) volatilization, N<sub>2</sub>O emissions, and N leaching) from croplands: Options and mitigation strength in a global perspective. **Global change biology**, 2019, 25.6: 2077-2093. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14613>

LIU, Z., ZHENG, B., ZHANG, Q., AND GUAN, D.: New dynamics of energy use and CO<sub>2</sub> emissions in China. **arXiv preprint arXiv:1811.09475**, 2018. Doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.09475>

MANDAL, Sanchita et al. The effect of biochar feedstock, pyrolysis temperature, and application rate on the reduction of ammonia volatilisation from biochar-amended soil.

**Science of the Total Environment**, v. 627, p. 942-950, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.312>

MARTHA JUNIOR, G. B.; BARIONI, L. G.; CEZAR, I. M.; VILELA, L. Sistema de produção animal em pastejo: um enfoque de negócio. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2002. 33 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 63).

MARTHA JÚNIOR, G. B., CORSI, M., TRIVELIN, P. C. O., VILELA, L., PINTO, T. L. F., TEIXEIRA, G. M., MANZONI, C. S., & BARIONI, L. G. (2004). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 2240–2247.

MENG, C., TIAN, D., ZENG, H., LI, Z., YI, C., NIU, S. Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 074003, 2019. Doi: <https://10.1088/1748-9326/ab239c>

OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C. Efeito de fontes e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura nas culturas de milho, trigo e algodão. **Cascavel:SN-Centro/OCEPAR. (Relatórios Técnicos, 1992, 1993 e 1995)**, 1995.

ONOREVOLI, B. et al. Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1279–1287, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.039>

OH, T. K., CHOI, B., SHINOBI, Y., CHIKUSHI, J. Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 3729– 3738, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1144-2>

PAZ, E. C. S.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; PAZ, R. R. S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p.318-345, 2017.

PEREIRA, E. I. Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl<sub>3</sub> como agente ativante. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras -UFLA Lavras – MG, 2010.

PERILLI, T. A. G., SICUPIRA, D. C., MANSUR, M. B., LADEIRA, A. C. Q. Avaliação da capacidade adsorptiva de carvão ativado para a remoção de manganês. **HOLOS**, v. 3, p. 264-271, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1777>

PRAKONGKEP, N.; GILKES, R. J.; WIRIYAKITNATEEKUL, W. Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178, n. 5, p. 732–740, 2015a. Doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201500001>

PONCIO, Anna Paula. Bioprocessos únicos e integrados na estabilização de resíduos de restaurante. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste

do Paraná, Cascavel, 2022. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6196>. Acesso em: 06 nov. 2023.

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; RESENDE, E. D.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (pva) do café. *Química Nova*, 2009, 32, 1139-1143. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000500011>

RAVINDRAN, B.; NGUYEN, D. D.; CHAUDHARY, D. K.; CHANG, S. W.; KIM, J.; LEE, S. R.; SHIN, J. D.; JEON, B. H.; CHUNG, S.; LEE, J. Influence of biochar on physico-chemical and microbial community during swine manure composting process. **Journal of Environmental Management**, v. 232, n. 1, p. 592-599, 2019. DOI: <https://10.1016/j.jenvman.2018.11.119>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

REGUEIRO, Iria; COUTINHO, Joao; FANGUEIRO, David. Alternatives to sulfuric acid for slurry acidification: impact on slurry composition and ammonia emissions during storage. **Journal of Cleaner Production**, 2016, 131: 296-307. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.032>

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.Ed., rev. E ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 353 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

SciDAVis is a free application for Scientific Data Analysis and Visualization, <http://scidavis.sourceforge.net/> acessado dia 30 janeiro de 2020.

SCHOENBERG, Daniel R.; MAQUAT, Lynne E. Regulation of cytoplasmic mRNA decay. **Nature Reviews Genetics**, v. 13, n. 4, p. 246-259, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1038/nrg3160>

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P. E LANA, R. M. Q. (2012). Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**. 28(1): 140-111.

SILVA, A. G. R. Biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar como condicionador de solos: produção e caracterização. 2022. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SILVEIRA, A. J. M. Viabilidade técnica da pirólise da biomassa do coco: produção de bioóleo, biocarvão de biogás. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2018.

SOHI, S.P., E. KRULL, E. LOPEZ-CAPEL, and R. BOL. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. **Advance in Agronomy** 105: 47–82. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)

SULIMAN, Waled et al. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 139-147, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.025>

SUN, Haijun, et al. Biochar application mode influences nitrogen leaching and NH<sub>3</sub> volatilization losses in a rice paddy soil irrigated with N-rich wastewater. **Environmental technology**, 2018, 39.16: 2090-2096. Doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1349839>

THANGARAJAN, Ramya, et al. The potential value of biochar in the mitigation of gaseous emission of nitrogen. **Science of the total environment**, 2018, 612: 257-268.

VAN DER STELT, B., et al. Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. **Bioresource technology**, 2007, 98.18: 3449-3455. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.242>

VIEIRA DA SILVA, L. F.; PINTO, A. A.; FERREIRA MENDONÇA, J. C.; PRADO, J. R. do; MELO, E. I. de; PAULA, G. H. de; JUNIOR, P. J. dos S. Efeito do biochar de resíduo do fruto do cafeeiro na sorção de atrazina no solo. **MAGISTRA**, [S. l.], v. 31, p. 543–553, 2020. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/950>. Acesso em: 3 nov. 2023.

VITTI, G. C. et al. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300011>

WANG, G. et al. A Focused Ion Beam-Scanning Transmission Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy Study on Technetium Incorporation within Iron Oxides through Fe(OH)<sub>2</sub>(s) Mineral Transformation. **ACS Earth and Space Chemistry**, v. 5, n. 3, 2021.

WANG, H., XU, J., SHENG, L. Preparation of straw biochar and application of constructed wetland in China: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123131, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123131>

WERLANG, E. B.; SCHNEIDER, R. C. S.; RODRIGUEZ, A. L.; NIEDERSBERG, C. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v. 3, n.1, p. 156-167, 2013.

ZELAYA, K. P. S. Caracterização de biocarvão de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e efeitos no cultivo de beterraba. 2016. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/NCAP-AFRNRP>