

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/03/2025.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de São José do Rio Preto

Gabriella Fernanda Miranda Rodrigues

Avaliação do tempo de contato do Carvão Hidrotérmico no
solo para o crescimento de *Solanum Lycipersieum*

São José do Rio Preto
2021

Gabriella Fernanda Miranda Rodrigues

Avaliação do tempo de contato do Carvão Hidrotérmico no solo para
o crescimento de *Solanum Lycipersieum*

Dissertação apresentada
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Química, junto ao Programa de
Pós-Graduação em Química, do
Instituto de Biociências, Letras e
Ciências Exatas da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Câmpus de São
José do Rio Preto.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Márcia
Cristina Bisinoti
Coorientador: Altair Benedito
Moreira

São José do Rio Preto
2021

R696a

Rodrigues, Gabriella Fernanda Miranda

Avaliação do tempo de contato do Carvão Hidrotérmico no solo para o crescimento de *Solanum Lycipersieum* / Gabriella Fernanda Miranda

Rodrigues. -- São José do Rio Preto, 2021

93 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Márcia Cristina Bisinoti

Coorientadora: Altair Benedito Moreira

1. Carvão Hidrotérmico. 2. Solo. 3. Crescimento de planta. 4. *Solanum lycipersieum*. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Gabriella Fernanda Miranda Rodrigues

Avaliação do tempo de contato do Carvão Hidrotérmico no solo para o
crescimento de *Solanum Lycipersieum*

Dissertação apresentada como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Química, junto ao
Programa de Pós-Graduação em
Química, do Instituto de Biociências,
Letras e Ciências Exatas da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Câmpus de São José
do Rio Preto.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa . Dra . Márcia Cristina Bisinoti
UNESP – S. J. Rio Preto
Orientadora

Prof. Dr. Altair Benedito Moreira
UNESP – S. J. Rio Preto
Co-orientador

Prof. Dr. Odair Pastor Ferreira
Professor Centro de Ciências, Departamento de Física.
Universidade Federal do Ceará - Fortaleza

Prof. Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez
Laboratório Nacional de Nanotecnologia
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

São José do Rio Preto
30 de Agosto de 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Valter e Ana Lucia, e à minha irmã, Ana Luiza, que se fizeram presentes em todos os momentos desta caminhada, me apoiando e me encorajando frente a cada dificuldade e a cada novo desafio.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu o dom da vida e que me guiou sempre pelos caminhos corretos, para que hoje eu pudesse estar aqui, me dando força pela fé frente a cada obstáculo.

Aos meus pais, Valter e Ana Lucia, e minha irmã, Ana Luiza, pelo incentivo, força e apoio incondicional durante todos esses anos, não deixando que eu desistisse ou perdesse a coragem frente aos novos desafios que surgiram. Com certeza, sem eles este trabalho não seria concluído.

Ao meu tio Álvaro (in memoriam) pelas muitas palavras e mensagens de incentivo e carinho, sempre acreditando em mim. Aos meus primos, meus tios e avós, em especial a minha avó Altina, que sempre se preocupou e me encorajou a seguir nos caminhos que eu escolhi.

Às minhas amigas Verônica e Karen, pela paciência e apoio nos momentos difíceis, pelos momentos de descontração, quando eu precisava, e pelos muitos e muitos anos de amizade.

À professora Dra. Márcia Cristina Bisinoti pela amizade, orientação, paciência e ajuda no desenvolvimento deste trabalho. E, também, ao professor Dr. Altair Benedito Moreira pela atenção e auxílio com o mesmo.

A todos os amigos do LECA e do LIQAV, pelas amizades e momentos de descontração ao longo destes dois anos de convivência.

Aos amigos Guilherme, Bernardo, Vinicius, Bruna, Henrique, entre outros que o mestrado me trouxe: o meu muito obrigada pelos momentos de descontração e alegria.

Aos professores da pós-graduação e todos aqueles que passaram pela minha vida, me ensinando, incentivando e dando a base necessária para que eu chegasse até aqui.

Ao pessoal da Central Analítica da Universidade Federal do Ceará pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura.

A todos os amigos, colegas e funcionários do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, que contribuíram de forma direta ou indiretamente para meu crescimento pelo conhecimento adquirido e para a realização deste trabalho.

A vocês, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Carvões hidrotérmicos (CH) obtidos a partir da Carbonização Hidrotérmica de subprodutos da indústria sucroenergética são ricos em nutrientes e matéria orgânica, tendo apresentado substâncias tipo húmicas na sua composição. Estudos de liberação de nutrientes e matéria orgânica, bem como de germinação e crescimento de diversas plantas, têm demonstrado potencial de uso do CH como condicionador do solo. Os efeitos do tempo de contato do CH com o solo na liberação de nutrientes são ainda escassos. Nesse contexto o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do tempo de contato entre o carvão hidrotérmico e os solos no cultivo de *Solanum lycopersium*. Para isto, um total de 35 vasos contendo solo e CH (0, 10 e 20 t ha⁻¹) foram montados seguido de crescimento de *Solanum lycopersium*. Foram avaliados dois tempos de contato entre CH e solo, o tempo 30 dias (Solo_{t0}) e o tempo 24 meses (Solo_{t1}) em latossolo, argissolo e terra mulata. No solo, antes e após o experimento de crescimento, foram determinadas a umidade, cinza, matéria orgânica, pH, acidez potencial e nutrientes. Nas plantas foram medidos o comprimento total e a massa seca da parte aérea, e comprimento e massa seca da raiz, bem como a microscopia eletrônica de varredura da raiz (MEV) e das folhas. Em todos os tipos de solos após a plantação de culturas ocorreu a diminuição do pH. Nas análises de MEV das folhas das plantas do solo em contato com o carvão por 30 dias, os estômatos anomocítico se mostraram presentes nas superfícies abaxiais. O solo com maior tempo de contato com o carvão hidrotérmico apresentou concentração maior de nutrientes antes do plantio do tomate, sugerindo que a presença do CH proporcionou uma maior disponibilidade de nutrientes com o passar do tempo.

Palavras-chave: Carvão hidrotérmico. Solo. Crescimento de planta. *Solanum lycopersium*.

ABSTRACT

*Hydrochars obtained from the hydrothermal carbonization of by-products from the sugar-energy industry are rich in nutrients and organic matter, having presented humic-like substances in their composition. Studies on the release of nutrients and organic matter, as well as on the germination and growth of several plants, have demonstrated the potential for using CH as a soil conditioner. The effects of CH contact time with the soil on nutrient release are still scarce. In this context, the objective of this work was to evaluate the effect of the contact time between the hydrothermal coal and the soils in the cultivation of *Solanum lycopersium*. For this a total of 35 pots containing soil and CH (0, 10 and 20 t ha⁻¹) were mounted followed by growth of *Solanum lycopersium*. Two times of contact between CH and soil were evaluated, the time 30 days (Solo_{t0}) and the time 24 months (Solo_{t1}) in oxisol, argisol and terra mulata. In the soil before and after the growth experiment, moisture, ash, organic matter, pH, potential acidity and nutrients were determined. In the plants, the total length and dry mass of shoots and length and dry mass of the root were measured, as well as scanning electron microscopy of the root and leaves. In all types of soils after planting crops there was a decrease in pH. In SEM analyzes of the leaves of soil plants in contact with charcoal for 30 days, the anomocytic stomata were present on the abaxial surfaces. The soil with longer contact time with hydrothermal charcoal had a higher concentration of nutrients before planting the tomato, suggesting that the presence of CH provided a greater availability of nutrients over time.*

*Keywords: Hydrochars. Soil. Plant growth, *Solanum lycopersium*.*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação esquemática das regiões constituintes de uma raiz da planta de um tomateiro. 38
- Figura 2.** Valores da capacidade de troca catiônica do Solo_{t0} (solo em contato com CH por 30 dias) e do Solo_{t1} (solo em contato com o CH por 24 meses), antes e após o experimento de crescimento. 44
- Figura 3.** Valores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), sódio (Na) e potássio (K) totais para todos os solos, e todos os tempos de contato com o CH, antes e após o experimento de crescimento para as diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico 46
- Figura 4.** Foto dos vasos dentro da câmara de crescimento após 12 dias de semeadura de tomate. 50
- Figura 5.** Quantidade de sementes de tomate germinadas por vaso nos diferentes solos, sendo AC, A10, A20, LC, L10, L20 e TM, respectivamente argissolo controle, argissolo 10t ha⁻¹, argissolo 20t ha⁻¹, latossolo controle, latossolo 10t ha⁻¹, argissolo 200t ha⁻¹ e terra mulata. 51
- Figura 6.** Gráfico da massa seca das plantas que foram retiradas do vaso no momento do desbaste, 12 dias após o plantio. 53
- Figura 7.** Gráfico da massa seca da parte aérea das plantas após o plantio de 97 dias. 55
- Figura 8.** Gráfico da massa seca da raiz das plantas após o plantio de 97 dias. 55
- Figura 9.** Foto dos vasos de plantas após 97 dias da semeadura dos solos. A) argissolo controle; B) argissolo 10tha⁻¹; C) argissolo 20tha⁻¹; D) latossolo controle; E) latossolo 10tha⁻¹; F) latossolo 20tha⁻¹, G) terra mulata e H) tomate produzido. 57
- Figura 10.** Imagens de microscopia eletrônica de varredura das folhas dos tomateiros plantados no Solo_{t0}, (1) argissolo controle, (2) argissolo 10tha⁻¹, (3) argissolo 20tha⁻¹, (4) latossolo controle, (5) latossolo 10tha⁻¹, (6) latossolo 20tha⁻¹. 60

Figura 11. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das folhas dos tomateiros plantados no Solo_{t1}. (1) argissolo controle, (2) argissolo 10tha⁻¹, (3) argissolo 20tha⁻¹, (4) latossolo controle, (5) latossolo 10tha⁻¹, (6) latossolo 20tha⁻¹ e (7) terra mulata.

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Condições instrumentais para determinação dos elementos cálcio (Ca), potássio(K), magnésio(Mg), manganês(Mn) e sódio(Na). 36

Tabela 2. Valores de umidade, cinza e matéria orgânica dos solos em contato com o CH por 30 dias e por 24 meses, antes e após o plantio de tomate. 40

Tabela 3. Valores de pH e acidez potencial do Solo_{t0} (solo em contato com CH por 30 dias) e do Solo_{t1} (solo em contato com o CH por 24 meses) antes e depois do experimento de crescimento de tomate. 42

Tabela 4. Valores referente a média de número de folhas, massa total e comprimento total das plantas de tomate de cada vaso, do Solo_{t0} (solo em contato com CH por 30 dias) e do Solo_{t1} (solo em contato com o CH por 24 meses), após 97 dias de crescimento 54

LISTA DE ABREVIATURAS

A10 – argissolo e adição de 10 t de CH ha⁻¹

A20 – argissolo e adição de 20 t de CH ha⁻¹

Ac - argissolo controle

ADJ- Solo adjacente

CH- Carvão hidrotérmico

CHT- Carbonização Hidrotérmica

COT – Carbono orgânico total

CTC – Capacidade de troca catiônica

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

L10 – latossolo e adição de 10 t de CH ha⁻¹

L20 – latossolo e adição de 20 t de CH ha⁻¹

Lc – latossolo controle

Solo_{t0} – Solo em contato com o carvão hidrotérmico há 30 dias

Solo_{t1} - Solo em contato com o carvão hidrotérmico há 24 meses

TM – Terra mulata

TPI-Terras Pretas de Índio (TPI)

US EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1.	Subprodutos das indústrias sucroenergéticas.....	17
2.2.	Carbonização hidrotérmica (CHT).....	18
2.3.	Solos.....	21
2.4.	Estudos de biochar e carvão hidrotérmico em solos.....	24
3.	OBJETIVOS.....	30
4.	MATERIAL E MÉTODO.....	31
4.1.	Carvão hidrotérmico.....	31
4.2.	Solos.....	31
4.3.	Experimento de crescimento de tomate na presença de diferentes taxas de carvão hidrotérmico.....	32
4.3.1.	Análise dos solos.....	33
4.3.1.1.	Determinação de teor de umidade, cinzas e matéria orgânica.....	33
4.3.1.2.	Determinação do pH.....	34
4.3.1.3.	Acidez potencial do solo.....	34
4.3.1.4.	Capacidade de troca catiônica (CTC).....	35
4.3.1.5.	Quantificação de Inorgânicos.....	35
4.3.2.	Análises das plantas.....	36
4.3.2.1.	Análises de crescimento das plantas.....	36
4.3.2.2.	Análise da massa seca.....	37
4.3.2.3.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das raízes e das folhas.....	37
4.3.3.	Análise estatística.....	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1.	Solos.....	39
5.1.1.	Determinação do teor de umidade, cinza e matéria orgânica.....	39
5.1.2.	pH e acidez potencial em solos.....	41
5.1.3.	Determinação da capacidade de troca catiônica.....	44

5.1.4.	Nutrientes totais nos solos, antes e após o plantio de tomate.....	45
5.2.	Análise das plantas.....	49
5.2.1.	Experimento de crescimento.....	49
5.2.2.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) Da Folha e da Raiz.....	59
6.	CONCLUSÃO.....	66
	REFERENCIAS.....	67
	ANEXO A - Imagens de microscopia eletrônica de varredura ampliada....	76

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido mundialmente pela produção agrícola, principalmente a produção de cana-de-açúcar, que é localizada na região centro-sul, com destaque ao estado de São Paulo (UNICA, 2020). Esse processo leva à geração de uma quantidade elevada de biomassa. Os processos de pirólise e de carbonização hidrotérmica (CHT), produzindo biochar e carvão hidrotérmico (CH), respectivamente, são vias alternativas que dão novos destinos para a biomassa (BERGE, et al., 2011). A pirólise, é um processo que ocorre em alta temperatura, sem a presença de água com no produto final denominado biochar e a CHT é um processo que ocorre sob temperaturas médias (<300 °C), em meio aquoso, sob pressão autogerada, com o produto final denominado carvão hidrotérmico (CH) (TITIRICI et al, 2012).

Estudos demonstraram que o carvão hidrotérmico em comparação ao biochar, sofre uma decomposição mais rápida, e isso se deve a sua menor quantidade de estruturas aromáticas e uma maior quantidade de carbono lábil em sua estrutura (CAO et al., 2011; LIBRA et al., 2011; STEINBEISS; GLEIXNER; ANTONIETTI, 2009), sendo capaz de prover um maior acesso ao carbono e nitrogênio para os microrganismos e vegetais presentes no solo (BARGMANN et al., 2014).

A ideia é que o carvão hidrotérmico possa ser aplicado em solos pobres em carbono ou nutrientes, de maneira que possam merolhará-los, sem a necessidade de adição de fertilizantes minerais, se tornando, assim, similar aos solos antropogênicos denominados Terras Pretas de Índios (TPI) da Amazônia e terra mulata (TM) (EMBRAPA, 2013; VERHEIJEN et al., 2009; REZENDE et al., 2011). Estes solos são reconhecidos internacionalmente pela elevada fertilidade.

Vários estudos têm sido conduzidos demonstrando que a produção de carvão hidrotérmico a partir da carbonização hidrotérmica de bagaço de cana-de-açúcar e vinhaça utilizando ácido fosfórico como aditivo gera um material sólido rico em carbono e nutrientes que contém substâncias tipo húmicas, no

processo ocorre formação de estruvita K ($\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ e $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), que é reconhecida pelo potencial de uso agrícola (MELO et al., 2016). Também foram identificadas diferentes classes de compostos, destacando-se os fenóis, cetonas, furanos, compostos nitrogenados, ácidos carboxílicos e hidrocarbonetos (LARANJA, 2018; BENTO et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Estudos em coluna com a adição de 0, 20, 50, 100 e 200 t ha⁻¹ de carvão hidrotérmico em solos argissolos, demonstraram liberação lenta de carbono e nutrientes (BENTO et al., 2019; SANTANA et al., 2019), sendo que maiores taxas de CH (10,0% m/m) no solo, resultaram nas maiores liberações de carbono orgânico total (2891 µg g⁻¹) e sulfato (2046 µg g⁻¹) para o solo, permitindo concluir que é possível melhorar as propriedades desses solos (SANTANA et al., 2019).

Os ácidos húmicos (HA) desempenham um papel importante na distribuição, toxicidade e biodisponibilidade de metais no meio ambiente. Através de extração, com NaOH, de carvão hidrotérmico produzidos com bagaço de cana-de-açúcar e vinhaça, produziu-se ácidos semelhantes ao húmicos, mas com propriedades análogas, como sua capacidade de interagir com compostos orgânicos e inorgânicos (SANTOS et. al., 2020). Estas mesmas substâncias, parecidas com as substâncias húmicas quando isoladas, tiveram a maior bioatividade, como a presença de metades anfílicas, as quais facilitam a liberação de moléculas bioativas de estruturas supramoleculares e estimula a germinação de sementes. A carbonização hidrotérmica de biomassa lignocelulósica foi considerada um método viável de produção substâncias tipo húmicas anfífilico para uso como promotores de crescimento de plantas (BENTO et al., 2019)

Os principais solos agriculturáveis no Brasil são os solos argissolos e latossolos. Eles são intemperizados e possuem baixa disponibilidade de nutrientes, requerendo o uso de fertilizantes. Os solos antropogênicos têm chamado a atenção da comunidade científica internacional devido a sua elevada fertilidade, que é proporcionada por liberação lenta de nutrientes e de carbono. Os carvões hidrotérmicos parecem ter características atrativas para serem empregados como condicionador de solos intemperizados. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)

(2003), para avaliar se um composto ou substância química pode ser aplicada ao solo, estudos de germinação e crescimento em câmara, estufa e em campo devem ser realizados. Recomenda-se realizar testes com diversas culturas, além de usar um solo que seja arenoso e outro argiloso, deve-se ainda avaliar diversas concentrações do composto ou substância química, a fim de estabelecer uma relação dose-resposta (OCDE, 2003).

Dentre as culturas a serem testadas, se destaca o tomate, pois é uma das principais frutas processadas e frescas, e o segundo maior produto de colheita vegetal mundial. O tomate tem várias características relevantes, como frutas carnudas e folhas compostas, que não podem ser estudadas em outras plantas modelo. Desta forma, tornou-se um modelo para estudar a fisiologia de plantas e frutos, bioquimicamente (HEUVELINK, 2018).

O uso de carvão hidrotérmico em larga escala em solos agrícolas requer uma melhor especificação de sua persistência e disponibilidade em longo prazo, bem como uma avaliação do comportamento benéfico ou maléfico dos componentes de CH quando liberados na solução do solo. O carbono presente no carvão hidrotérmico, obtido com bagaço e vinhaça de cana-de-açúcar, e ácido fosfórico como aditivo, apresenta elevada estabilidade térmica, estimulando o estudo do CH em cultivo de culturas sucessivas, esperando que o mesmo libere lentamente nutrientes e matéria orgânica, melhorando, então, as propriedades do solo, como ocorre com os solos antropogênicos. Frente ao exposto, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar o efeito do tempo de contato entre o carvão hidrotérmico e os dois tipos de solo: argissolo e latossolo, no crescimento de tomate.

6. CONCLUSÃO

No argissolo e no latossolo há um aumento da matéria orgânica após adição do CH, implicando uma melhora nas propriedades do solo, no argissolo o tempo de contato com o carvão e a plantação de duas culturas diferentes fez com que o valor do pH diminuísse, pois, as plantas ao absorverem nutrientes de carga positivas, como K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , liberam H^+ das raízes para solução de solo, também apresenta valores baixos de acidez potencial. A Terra Mulata apresentou pH entre 6,0 e 6,5 considerado adequado para o crescimento e desenvolvimento de plantas.

Os vasos que contêm solo na presença de carvão hidrotérmico apresentam folhas em tons mais escuros de verde, enquanto que os solos sem a presença do CH apresentaram folhas com tons mais claro de verde.

Em comparação do solo latossolo do Solo_{t0}, solo em contato com o carvão por 30 dias, com o Solo_{t1}, solo em contato com o carvão hidrotérmico por 24 meses, o melhor desenvolvimento foi no Solo_{t1}. Já em comparação do argissolo, o melhor desenvolvimento foi no Solo_{t0}, com a maior quantidade de folhas, comprimento total e massa. Em relação aos nutrientes, o solo com maior tempo de contato com o carvão hidrotérmico apresenta concentração maior de nutrientes antes do plantio do tomate, sugerindo que a presença do CH proporciona uma maior biodisponibilidade de nutrientes com o passar do tempo.

REFERENCIAS

ALMEIDA, M. De; ALMEIDA, C. V. De. Morfologia da folha de plantas com sementes. In: Coleção Botânica. 1a ed. São Paulo. p. 126. 2018

ALVARENGA R., QUEIROZ T., Produção mais Limpa e Aspectos Ambientais na Indústria Sucroalcooleira. Adv. Cleaner Prod. 2009

ARAÚJO, W. A. de. Acúmulo de matéria seca e marcha de absorção de nutrientes em soja de crescimento determinado e indeterminado. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2018

ARAUJO, J. R. et al. Selective extraction of humic acids from an anthropogenic Amazonian dark earth and from a chemically oxidized charcoal. *Biology and Fertility of Soils*, p. 1223–1232, 2014.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D 2974 - Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. ASTM International, Estados Unidos, 2014. p. 1–4.

BARGMANN I, RILLIG MC, BUSS W, KRUSE A, KUECKE M. Hydrochar and biochar effects on germination of spring barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 199, n. 5, p. 360–373, 2013.

BARGMANN I, RILLIG MC, KRUSE A, GREEF JM, KÜCKE M. Effects of hydrochar application on the dynamics of soluble nitrogen in soils and on plant availability. *J Plant Nutr Soil Sci*;177:48– 58, 2014

BATISTA, M. de A.; PAIVA, D. W. de; MARCOLINO, A. Solos para todos: perguntas e respostas. Rio de Janeiro:Embrapa Solos, 2014.

BECKER. W.F.; WAMSER, A.F.; FELTRIM, A.L.; SUZUKI, A.; SANTOS, J.P.; VALMORBIDA, J.; HAHN, L.; MARCUZZO, L.L; MUELLER, S. Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina. Florianópolis, SC: Epagri, 2016

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. D. P.; MAESTRELO, P. R. Produtividade e desenvolvimento da cana-planta e soca em função de doses e fontes de manganês. *Revista Brasileira de Ciencia do solo*, Viçosa, MG. v. 35, n. 5, p. 1661-1667, 2011.

BENTO, L. R. et al. Humic extracts of hydrochar and Amazonian Dark Earth: Molecular characteristics and effects on maize seed germination. *Science Of The Total Environment*, v. 708, p. 135000, 2020

BENTO, L.R., CASTRO, A.J.R., MOREIRA, A.B., FERREIRA, O.P., BISINOTI, M.C., MELO, C.A., Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. *Geoderma* 334, 24–32, 2019.

BERGE, N.D.; RO, K.S.; MAO, J.; FLORA, J.R.V.; CHAPPELL, M.A.; BAE, S. Hydrothermal Carbonization of Municipal Waste Streams. *Environmental Science and Technology*, V. 45, P. 5696–5703, 2011.

BILLER, P. et al. Nutrient recycling of aqueous phase for microalgae cultivation from the hydrothermal liquefaction process. *Algal Research*, v. 1, n. 1, p. 70–76, 2012.

BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; MELO, C. A.; FREGOLENTE, L. G.; BENTO, L. R.; VITOR DOS SANTOS, J.; FERREIRA, O. P. Application of Carbon-Based Nanomaterials as Fertilizers in Soils. In: *Nanomaterials Applications for Environmental Matrices*. 1. ed. Fortaleza: Elsevier, 2019.

BOBLETER O. Hydrothermal degradation of polymers derived from plants. *Prog Polym Sci* 1994.

BORCHARD, N. , SIEMENS, J. ; LADD, B. ; MÖLLER, A. ; AMELUNG, W., Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil and Tillage Research*, v. 144, p. 184–194, 2014.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The Nature and Properties of soils*. 15 th ed. [s.l.] Columbus: Pearson, 2016., 2016.

BRIDGWATER A. V., Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy*, Volume 38, 2012, Pages 68-94.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.3, p.318–323, 2007.

BROWNSORT PA. Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits. (MAsc thesis). The University of Edinburg. 2009.

BRUNNER G., Near critical and supercritical water. Part I. Hydrolytic and hydrothermal processes. *The Journal of Supercritical Fluids*, Volume 47, 2009.

BUTNAN, SOMCHAI; DEENIK, JONATHAN L.; TOOMSAN, BANYONG; ANTAL, MICHAEL J.; VITYAKON, PATMA. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*, v. 237–238, p. 105–116, 2015

CANCELLA, Erick Paiva. Efeito do uso de carvão hidrotérmico em cultivo de beterraba em diferentes tipos de solos.[s.l.]. Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2020.

CANELLAS, L.P., OLIVARES, F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 1, 3 (2014).14

CAO, X.; RO, K. S.; CHAPPELL, M.; LI, Y.; MAO, J. Chemical structures of swine- manure chars produced under different carbonization conditions investigated by advanced solid state ¹³C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. *Energy and Fuels*, Estados Unidos, v. 25, n. 1, p. 388–397, 2011

CHEN, H.; MA, J.; WEI, J.; GONG, X.; YU, X.; GUO, H.; ZHAO, Y. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. *Science of the Total Environment*, Holanda, v. 635, p. 333–342, 2018.

DOMENE X, MATTANA S., HANLEY K, ENDERS A., LEHMANN J., Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 72, 2014.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ª edição. Rio de Janeiro. 2017.

FANG, J. FANG J, GAO B, CHEN J, ZIMMERMAN AR. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: Characterization and potential applications and impacts. *Chemical Engineering Journal*, v. 267, p. 253–259, 2015.

FANG, J., ZHAN, L., OK, Y. S., GAO, B. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 57, p. 15–21, 2018.

FAO, 2015. World fertilizer trends and outlook to 2018, Food and Agriculture Organization of United Nations.

FREGOLENTE, L. G. et al. New Proposal for Sugarcane Vinasse Treatment by Hydrothermal Carbonization: An Evaluation of Solid and Liquid Products. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2019.

FREGOLENTE, Lais Gomes. Carvão hidrotérmico : avaliação das características húmicas e do efeito no desenvolvimento de plantas. [s.l.] Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2019

FUNKE A, ZIEGLER F. Hydrothermal carbonization of biomass: a summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels Bioprod Biorefining* 2010;4:160–77.

GEORGE, C, WAGNER M, KÜCKE M, RILLIG MC. Divergent consequences of hydrochar in the plant-soil system: Arbuscular mycorrhiza, nodulation, plant growth and soil aggregation effects. *Applied Soil Ecology*, v. 59, p. 68–72, 2012.

GEORGE, C.; WAGNER, M.; KÜCKE, M.; RILLIG, M. C. Divergent consequences of hydrochar in the plant-soil system: Arbuscular mycorrhiza, nodulation, plant growth and soil aggregation effects. *Applied Soil Ecology*, Holanda, v. 59, p. 68–72, 2012.

GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G., ZECH, W.. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37–41. 2001.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 82, p. 39–51, 2012

GONÇALVES, S. P. C., STRAUSS, M., & MARTINEZ, D. S. T. The positive fate of biochar addition to soil in the degradation of PHBV-silver nanoparticles composites. *Environmental Science & Technology*. 2018.

GROSSMAN JM, O'NEILL BE, TSAI SM, LIANG B, NEVES E, LEHMANN J. Amazonian anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy. *Microb Ecol.* 60:192–205, 2010.

HASEGAWA P. M.; BRESSAN R. A., Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 2000;

HECKENBERGER, M. J., RUSSELL, J. C., TONEY, J. R., SCHIMIDT. M. J. The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 362, n. 1478, p. 197–208, 2007.

HEIDARI M., DUTTA, A., ACHARYA, B., MAHMUD, S., A review of the current knowledge and challenges of hydrothermal carbonization for biomass conversion. *Journal of the Energy Institute*. Volume 92, Issue 6, Pages 1779-1799. 2019

HEUVELINK E., Tomatoes. 2^oed. 2018

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Solos do estado de São Paulo- Argissolo, disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solospdf/Argissolos.pdf>. Acesso em 29 de setembro de 2020.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Solos do estado de São Paulo-Latossolo, disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solospdf/Latossolos.pdf> . Acesso em 29 de setembro de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia, 2^a ed. Rio de Janeiro, 2007

JORIO, A. et al. Brazilian science towards a phase transition. *Nature materials*, v. 9, n. 7, p. 528–531, 2010

KAMBO, H. S.; DUTTA, A. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Reino Unido, v. 45, p. 359–378, 2015

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Revista Geonomos*, v. 5, n. 1, 2013.

KERN, C. D. et al. Parte II - As Terras Pretas de Índio na Amazônia: Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. [s.l.: s.n.]. p. 72–81.

KNEŽEVIĆ D. Hydrothermal conversion biomass, MS thesis University of Twente. 2009

LARANJA, M. J. Identificação de compostos orgânicos semivoláteis e voláteis nos produtos obtidos a partir do processo de carbonização hidrotérmica de bagaço de cana e vinhaça. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

LARANJA, M.J., DA SILVA, R.C.J., BISINOTI, M.C, MOREIRA, A.B., BOSCOLO, M, FERREIRA, O. P., MELO, C. A. Factorial design of experiments for extraction and screening analysis of organic compounds in hydrochar and its process water of sugar cane bagasse and vinasse. *Biomass Conv. Bioref.* (2020)

LARBI, A.; KCHAOU, H.; GAALICHE, B.; GARGOURI, K.; BOULAL, H.; MORALES, F. Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. *Scientia Horticulturae*, Holanda, v. 260, n. October 2019, p. 108912, 2020.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. 3º ed. São Carlos: Rima, 2006.

LEHMANN . J, GAUNT J, RONDON M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 11:395–419, 2006.

LEHMANN J. Terra Preta Nova – where to from here? In: Woods W, Teixeira W, Lehmann J, Steiner C, WinklerPrins A, Rebellato L, editors. *Amazonian dark earths: Wim Sombroek's vision*. Netherlands: Springer; p. 473–86, 2009.

LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, Holanda, v. 249, n. 15, p. 343–358, 2003

LIBRA JA, RO KS, KAMMANN C, FUNKE A, BERGE ND, NEUBAUER Y, et al. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*;2:71–106, 2011.

M. M. TITIRICI, A. THOMAS, M. ANTONIETTI. Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO₂ problem? *New J. Chem*. 2007

M. SEVILLA, J. A. MACIÁ-AGULLÓ, A. B. FUERTES. Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO₂: Chemical and structural properties of the carbonized products *Biomass Bioenergy*, 35 (7), 3152–3159, 2011

MANAHAN, S.E.; *Introducción a la química ambiental*. Barcelona: Reverté; México: Universidad Nacional Autónoma de México, 200

MELO, C. A. et al. Transforming sugarcane bagasse and vinasse wastes into hydrochar in the presence of phosphoric acid: an evaluation of nutrient contents and structural properties. *Waste and Biomass Valorization*, n. 8, p. 1139–1151, 2016.

MELO, T. M. et al. Plant and soil responses to hydrothermally converted sewage sludge (sewchar). *Chemosphere*, v. 206, p. 338–349, 2018.

MELO, T. M., BOTTLINGER, M., SCHULZ, E., LEANDRO, W. M. Effect of biosolid hydrochar on toxicity to earthworms and brine shrimp. *Environmental Geochemistry and Health*, p. 1–14, 2017

MIA, S.; VAN GROENIGEN, J.; VAN DE VOORDE, T.; ORAM, N.; BEZEMER, T.; MOMMER, L.; JEFERRY, S. Biochar applications rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v191. p 83–91. 2014

MOHAN D, PITTMAN CU, STEELE PH. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuels*, 20:848–8955,56, 2006.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 44, p. 888–903, 2015.

MUKHERJEE, A., ZIMMERMAN, A.R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma* 193– 194, 122–130. 2013.

MUKHERJEE, A., ZIMMERMAN, A.R., HARRIS, W., *Geoderma* Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars 163, 247–255., 2011

NOVOTNY, E.H., HAYES, M.H.B., MADARI, B.E., BONAGAMBA, T.J., DEAZEVEDO, E.R., DE SOUZA, A.A., SONG, G., NOGUEIRA, C.M., MANGRICH, A.S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. *J. Braz. Chem. Soc.* 20, 1003–1010. 2009.

O Futuro da Agricultura Brasileira, Embrapa, 2018 OCDE, 2003

OLIVEIRA, N. C. et al. Morphological analysis of soil particles at multiple length-scale reveals nutrient stocks of Amazonian Anthrosols. *Geoderma*, Amsterdam, v. 311, n. 1, p. 58–66, 2018.

ÖZBAY N, PÜTÜN AE, UZUN BB, PÜTÜN E. Biocrude from biomass: pyrolysis of cottonseed cake. *Renew Energy*;24:615–25, 2001.

PAGANO M., Ribeiro-Soares J., Cançado L. G., Falcão N. P.S., Gonçalves V. N., Rosa L. H., Takahashi J. A., Achete C. A., Jorio A., Depth dependence of black carbon structure, elemental and microbiological composition in anthropic Amazonian dark soil, *Soil and Tillage Research*, Volume 155, 2016.

PICCOLO, A. Chapter 5 - Humus and Soil Conservation. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*, p. 225–264, 1996

PRASAD, M.; TZORTZAKIS, N.; MCDANIEL, N. Chemical characterization of biochar and assessment of the nutrient dynamics by means of preliminary plant growth tests. *Journal of Environmental Management*, Reino Unido, v. 216, p. 89–95, 2018

PREZOTTI LC, GUARÇONI MA. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Vitória: Incaper; 2013.

REIBE, K., GOTZ, K. ROB, C. DORING, T. Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil Collembola and growth of spring wheat. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 83, p. 84– 87, 2015.

REZENDE, C. et al. Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, v. 4, n. 1, p. 54, 2011

RIEDEL, T., HENNESSY, P., IDEN, S.C., KOSCHINSKY, A. Leaching of soil-derived major and trace elements in an arable topsoil after the addition of biochar. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 823–834. 2015

RILLIG MC, WAGNER M, SALEM M, ANTUNES PM, GEORGE C, RAMKE H-G, et al. Material derived from hydrothermal carbonization: effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. *Applied Soil Ecology*, v. 45, n. 3, p. 238–242, 2010.

ROSS, A. B. et al. Hydrothermal processing of microalgae using alkali and organic acids. *Fuel*, v. 89, p. 2234–2243, 2010

SALEM, M.; KOHLER, J.; WURST, S.; RILLIG, M. C. Earthworms can modify effects of hydrochar on growth of *Plantago lanceolata* and performance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Pedobiologia*, v. 56, n. 4–6, p. 219–224, 2013.

SANCHEZ P. A.; VILLACHICA H.; BANDY D. E., Soil Fertility Dynamics after Clearing a Tropical Rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal*. Volume 47, Issue 6 p. 1171-1178. 1983

SANTANA, Ariane Maziero et al . Disponibilidade de nutrientes e carbono orgânico em solos contendo carvão hidrotérmico lavado e não lavado e comparação com solos antropogênicos. *Quím. Nova*, São Paulo , v. 42, n. 3, p. 262-272, 2019.

SANTOS, D. R. et al. Hydrochars produced with by-products from the sucroenergetic industry: a study of extractor solutions on nutrient and organic carbon release. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 9137-9145, 2019.

SANTOS, H. G. et al. I - Estudo do Solo. In: *Solos Para Todos, Perguntas e Respostas*. 1 a Edição, EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brasil, p.11-50, 2014.

SANTOS, J. V. et al. Humic-like acids from hydrochars: Study of the metal complexation properties compared with humic acids from anthropogenic soils using PARAFAC and time-resolved fluorescence. *Science Of The Total Environment*. Amsterdam: Elsevier, v. 722, 10 p., 2020.

SENESI, N. et al. A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, n. 6, p. 1244–1262, 2007. 46

SEVILLA M, FUERTES AB. Sustainable porous carbons with a superior performance for CO₂ capture. *Energy Environ Sci* 2011;4:1765–71].

SILVA, C. C. et al. Effect of the reaction medium on the immobilization of nutrients in hydrochars obtained using sugarcane industry residues. *Bioresource Technology*, v. 237, p. 213–221, 2017.

SPRICIGO, J. G., ANTUNES DA CRUZ, D. C., CANDIDO, W. E., GUERRA, J., SOUZA, C. T. DE, & ALVES, M. V. DOSES DE FERTILIZANTE ORGÂNICO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO E NOS TEORES NUTRICIONAIS DO SOLO. 2018.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, Reino Unido, v. 41, n. 6, p. 1301–1310, 2009.

SUN, F.; LU, S. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Weinheim, v.177, n. 1, p. 26–33, 2014.

SUN, J., DROSOS, M., MAZZEI, P. SAVY, D. The molecular properties of biochar carbon released in dilute acidic solution and its effects on maize seed germination. *Science of the Total Environment*, v. 576, p. 858–867, 2017.

TEIXEIRA, W. G., KERN, D. C., MADARI, B. E., LIMA, H. N., WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. 2009.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. EMBRAPA Amazônia Ocidental, Amazônia, p. 420, 2009. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/684554>

THINES, K.R., ABDULLAH, E.C., MUBARAK, N.M., RUTHIRAN, M. Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 67, 257–276. 2017.

TITIRICI, M. M.; WHITE, R. J.; FALCO, C.; SEVILLA, M. Black perspectives for a green future: Hydrothermal carbons for environment protection and energy storage. *Energy Environmental Science*, v. 5, p. 6796-6822, 2012.

ÚNICA.2020. União da Indústria de Cana-de-açúcar. UNICADATA. Disponível em:.. Acesso em 21 de Novembro de 2020

US EPA. Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts for Total Metals for Analysis by FLAA or ICP Spectroscopy. In: *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846)*. [s.l: s.n.]. p. 1–5.

US EPA. Acid Digestion Of Sediments, Sludges, and Soils. In: *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846)*. [s.l: s.n.]. p. 1– 12.

VACCARI, F. P.; BARONTI, E. L.; GENESIO, L.; CASTALDI, S.; FORNASIER, F. MIGLIETTA, F. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34: 231-238, 2011

VAN RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. *Boletim Técnico IAC*, Campinas, n. 100, 285 p. 1997.

VERHEIJEN, F. G. A. et al. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: EUR 24099 EN, Office for the Official Publications the European Communities, 149 p, 2009.

YU Y, LOU X, WU H. Some recent advances in hydrolysis of biomass in hotcompressed water and its comparisons with other hydrolysis methods†. *Energy Fuels*; 22:46–60, 2007.

Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen, Y., Lei, T. Sewage sludge biochar: Nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma* 267, 17–23. 2016.

ZHAO, X., YAN, X., WANG, S., XING, G., ZHOU, Y. Effects of the addition of rice-strawbased biochar on leaching and retention of fertilizer N in highly fertilized cropland soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 59, 771–782. 2013.

ZHENG, H., WANG, Z., DENG, X., HERBERT, S., XING, B. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206, 32–39, 2013.