

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 29/04/2021



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

Ariane Maziero Santana Raimundo

Liberação de nutrientes de carvão hidrotérmico em latossolo e
argissolo: comparação com solos antropogênicos amazônicos

São José do Rio Preto
2019

Ariane Maziero Santana Raimundo

Liberação de nutrientes de carvão hidrotérmico em latossolo e
argissolo: comparação com solos antropogênicos amazônicos

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

Financiadora: CAPES
FAPESP – Proc. 2014/22400-3

Orientador: Prof. Dr. Altair Benedito Moreira
Co-orientadores:
Prof^a. Dr^a. Camila de Almeida Melo
Prof. Dr. Odair Pastor Ferreira

São José do Rio Preto
2019

R1531 Raimundo, Ariane Maziero Santana

Liberação de nutrientes de carvão hidrotérmico em latossolo e argissolo: comparação com solos antropogênicos amazônicos / Ariane Maziero Santana Raimundo. -- São José do Rio Preto, 2019

119 p. : il., tabs., fotos

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

Orientador: Altair Benedito Moreira

Coorientadora: Camila de Almeida Melo

1. Química. 2. Subprodutos da cana-de-açúcar. 3. Carbonização hidrotérmica. 4. Coluna de solo. 5. Terra Preta de Índio. I. Título.

Ariane Maziero Santana Raimundo

Liberação de nutrientes de carvão hidrotérmico em latossolo e
argissolo: comparação com solos antropogênicos amazônicos

Tese apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Doutor 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”,
Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES
FAPESP– Proc. 2014/22400-3

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Altair Benedito Moreira
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof^a. Dr^a. Maria Josefa Santos Yabe
UEL- Londrina

Prof. Dr. César Ricardo Teixeira Tarley
UEL- Londrina

Prof. Dr. Márcio José Tiera
UNESP – São José do Rio Preto

Prof. Dr. Maurício Boscolo
UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
29 de abril de 2019

Dedico este trabalho ao meu amado esposo Jorge, aos meus pais João e Lúcia e minha irmã Lucimara e ao meu querido primo Vinicius Santana (in memoriam), os principais companheiros desta longa e intensa jornada.

AGRADECIMENTO

- *Ao único Deus pai misericordioso, de bondade e fidelidade, agradeço pelo dom da vida e proteção, por me conceder força, coragem, sabedoria e determinação para a realização deste trabalho, diante de todas as dificuldades encontradas.*
- *Aos meus tios Wilson e Maria Emília, que me acolheram desde o início com todo apoio, amor e incentivo.*
- *Ao meu amado esposo Jorge, por abnegar de muitas coisas e estar presente durante todo o tempo, por todo apoio, atenção, compreensão, ajuda e o amor.*
- *Ao Prof. Altair Bendito Moreira por toda orientação, acolhimento no laboratório, ajuda, atenção, amizade, compreensão, incentivo e conhecimento transmitido para o desenvolvimento deste trabalho.*
- *A prof^a Márcia Bisinoti e Prof. Odair por todo apoio, incentivo, amizade, conhecimento transmitido e suporte para o desenvolvimento deste trabalho.*
- *A Prof^a. Camila de Almeida Melo por toda amizade, paciência, atenção, co-orientação e conhecimento transmitido e por todos os momentos de descontração.*
- *A todos os colegas do laboratório – LECA que eu convivi durante os quatro anos: Camila Centurion, Laís, Júlia, Juliana, Priscila, Otávio, Grazielly, João, Felipe, Carlos, Stefani, Vinícius, Erick, Isabelle por todo o conhecimento transmitido, momentos de descontração, amizade e ajuda no laboratório.*
- *Aos amigos Isabela, Márcio, Renata, Leila e Lucas que me auxiliaram na montagem e decorrer do experimento de coluna de solo. Em especial, a minha amiga Isabela que sempre me auxiliou nos momentos que mais precisei, pela amizade, momentos de descontração, paciência, por toda a ajuda no laboratório e por todo o conhecimento transmitido.*
- *Ao Prof. Maurício Boscolo e os amigos do laboratório Química Analítica e Sucroquímica (Adonis, Cibele, Marquinhos, Olavo, Bianca, Jorge e Julieth) pela amizade e auxílio na utilização dos equipamentos como estufa e FTIR.*
- *A prof^a. Eleni e prof. Roberto do Laboratório de Bioquímica e Microbiologia Aplicada, localizado no Departamento de Biologia IBILCE/UNESP/SJRP, pela*

utilização do equipamento moinho de facas e aos amigos Pedro Lucas e Diego que ajudaram para a utilização do equipamento.,

- Aos técnicos de laboratório Daniela, Jucilene, Eliane e Claudinei, por toda a ajuda, amizade no laboratório.

- Aos professores do DQCA (Departamento de Química e Ciências Ambientais) pelos conhecimentos transmitidos.

- A família, Missão Eu Vou Além (Dênis Nogueira, Neuraci, Silvio e Gustavo), que me recebeu de braços abertos desde o momento que cheguei na cidade de São José do Rio Preto, me adotando como filha. Por todo o carinho, amor, amizade, conselhos, compreensão, todos os momentos de oração. Deus os abençoe. Amo vocês.

- A grupo de oração São Padre Pio- Paróquia Nossa Senhora de Fátima, por todo o carinho, amor, amizade e momentos de oração.

- Aos meus queridos amigos mesmo distantes, pela eterna amizade, Renata Moura, Loanda Cumba e Luiz Rogério, Moisés, Adriana Santos, Karen Lopes, Flávia Santos.

-O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à qual agradeço.

- Agradeço à FAPESP pela concessão da bolsa de pesquisa, sob o processo nº 2014/22400-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

- Agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma e contribuíram para a realização deste trabalho. Muito Obrigada!!

“Seja Forte e corajoso! Não se apavore e nem desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

(Josué 1:9)

RESUMO

A grande expansão do setor sucroalcooleiro tem ocasionado o aumento da geração de subprodutos industriais como a vinhaça e o bagaço-de-cana. A busca por novas alternativas que minimizam o impacto ambiental desses resíduos foi proposta com uso do processo de carbonização hidrotérmica, que é capaz de converter termicamente a biomassa úmida em um material sólido denominado *carvão hidrotérmico (CH)*. Este material é rico em carbono, apresenta elevada capacidade de retenção de água e apresenta potencial promissor para ser empregado como condicionante do solo. Neste trabalho, foram aplicadas quatro taxas (1,0, 2,5, 5,0 e, 10,0% m/m) de carvão hidrotérmico lavado (CHL) e uma (10,0%) de carvão hidrotérmico sem lavar (CHSL) em colunas de areia, argissolo e latossolo e avaliada a liberação e a retenção de NO_3^- , ortofosfato (P), SO_4^{2-} , COT, macro e micronutrientes nas colunas de solos durante 30 dias. O uso de colunas de areia como referência indicou o potencial do CH na liberação de nutrientes. Os resultados também foram comparados com a liberação desses nutrientes para colunas contendo solos antropogênicos amazônicos. A aplicação de CHSL proporcionou a diminuição do pH no lixiviado, sendo observado maiores concentrações de COT, SO_4^{2-} , NO_3^- Ca, Mg, K e Mn nos lixiviados, e incorporação de P, Cu, Fe, Zn, Al e Na no solo em colunas de latossolo e argissolo. Para aplicação de CHL, ocorreu oscilação nos valores de pH em até 0,5 unidades para colunas de areia, argissolo e latossolo. Para as colunas de latossolo e argissolo foram observados nos lixiviados, aumento de concentração de COT e SO_4^{2-} para as maiores taxas (2,5, 5,0 e 10,0%) e para os nutrientes Ca, Mg, K, Fe, Mn e Na nas taxas de 1,0 e 2,5%. Além disso, proporcionou a incorporação de P, Fe e Cu no solo em relação aos demais nutrientes. Solos antropogênicos apresentaram menores liberações de nutrientes, sendo que estas concentrações apresentaram valores constantes ou o sistema atingiu o equilíbrio ao final de 30 dias de experimento. O CH mostrou ter potencial como condicionador de solo, proporcionando a incorporação de nutrientes essenciais para o desenvolvimento

de plantas e por ser uma estratégia para diminuir problemas de lixiviação de nutrientes (P, NO_3^- , Cu, Al, Zn), como também reduzir o uso de fertilizantes. Estes resultados desta Tese sugerem que é possível ajustar a dose de aplicação de CH em função do tipo de solo e da cultura a ser plantada.

Palavras-chave: carvão hidrotérmico; coluna de solo, Terra Preta de Índio e Terra Mulata, subprodutos da cana-de-açúcar, carbonização hidrotérmica.

ABSTRACT

The great expansion of the sugar and ethanol industry has led to an increase in the generation of industrial by-products such as vinasse and sugarcane bagasse. The search for new alternatives that minimize the environmental impact of these residues was proposed using the hydrothermal carbonization process, which is able to thermally convert the wet biomass to a solid material called hydrochar. This material is rich in carbon, has a high water retention capacity and presents promising potential to be used as soil conditioner. In this work, were applied four rates (1.0, 2.5, 5.0 and 10.0% w/w) of washed hydrochar (HW) and one (10.0%) of hydrochar without washing(HWW) in columns of sandy, ultisol and oxisol and evaluated the release and retention of NO_3^- , orthophosphate (P), SO_4^{2-} , TOC and macro and micronutrients in soil colmns for 30 days. The use of sand columns as a reference indicated the potential of hydrochar in nutrient release. The results were also compared with the release of these nutrients to columns containing Amazonian anthropogenic soils. The application of HWW provided a lower pH of the leachate, with higher concentrations of COT, SO_4^{2-} , NO_3^- Ca, Mg, K and Mn in the leachates, and incorporation of P, Cu, Fe, Zn, Al and Na in the soil in columns of oxisol and ultisol. For HW application, oscillation occurred in pH values up to 0.5 units for sand, oxisol and ultisol columns. For the ultisol and oxisol columns, the concentrations of COT and SO_4^{2-} were higher in the leachate, 2.5, 5.0 and 10.0%, and for the nutrients Ca, Mg, K, Fe, Mn and Na at rates of 1.0 and 2.5%. In addition, it provided incorporation of P, Fe and Cu in the soil in relation to the other nutrients. Amazonian anthropogenic soils presented lower releases of nutrients, and these concentrations had constant values or the system reached equilibrium at the end of 30 days of experiment. The hydrochar showed potential as a soil conditioner, providing the incorporation of essential nutrients for the development of plants and for being a strategy to reduce nutrient leaching problems (P, NO_3^- , Cu, Al, Zn), as well as reduce use of fertilizers. These results

from this thesis suggest that it is possible to adjust the application rate of hydrochar depending on the type of soil and the crop to be planted.

Keywords: Hydrochar; Soil Columns, Terra Preta de Índio and Terra Mulata, Sugarcane by-products, Hydrothermal carbonization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de produção de cana-de-açúcar no Brasil.	21
Figura 2. Benefícios da aplicação de biochar em solos.	25
Figura 3. Coleta das amostras de solos no Brasil: Terra Mulata (TM), Terra Preta de Índio (TPI), Argissolo e Latossolo.	30
Figura 4. Amostras de solos utilizados: argissolo, latossolo, areia, Terra Mulata (TM), Terra Preta de Índio (TPI).	31
Figura 5. Etapas do processo de carbonização hidrotérmica para produção de Carvão Hidrotérmico (CH) obtido pela mistura de bagaço de cana e vinhaça	32
Figura 6. Experimento de liberação em coluna de solo. Em a) esquema do sistema de dosagem das colunas de solo, b) experimentos conduzidos.....	33
Figura 7. Esquema experimental das colunas de solos (areia, argissolo e latossolo,) com diferentes taxas de aplicação de CHL (1,0; 2,5; 5,0 e 10,0%) e CHSL (10,0%) e colunas de solo antropogênicos (TM e TPI) sem adição de CH.	35
Figura 8. Fracionamento das colunas de solo. Em a) ilustração de cada fração de solo, b) fracionamento de uma coluna de solo, c) secagem em temperatura ambiente de cada fração de solo.....	36
Figura 9. Espectros FTIR para as amostras de (a) vinhaça, (b) bagaço de cana, (c) Carvão Hidrotérmico lavado (CHL) e (d) Carvão Hidrotérmico Sem Lavar (CHSL).....	41
Figura 10. Valores de pH no lixiviado das colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado do lixiviado.	48
Figura 11. Concentração diária de COT ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo sem e com adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	50
Figura 12. Concentração de NO_3^- ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo sem e com adição das	

taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	52
Figura 13. Concentração de ortofosfato (P) ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	54
Figura 14. Concentração diária de sulfato (SO_4^{2-}) ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	57
Figura 15. Concentração de Ca ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	59
Figura 16. Concentração de Mg ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	60
Figura 17. Concentração de K ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.	62
Figura 18. Concentração de Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	64
Figura 19. Concentração de Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	66

Figura 20. Concentração de Na ($\mu\text{g g}^{-1}\text{solo}$) liberados em experimentos de colunas contendo (a) areia, (b) argissolo e em (c) latossolo com e sem adição das taxas de 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0% de CHL e 10,0% de CHSL e (d) colunas de TM e TPI (sem adição de CH) em função do volume acumulado.....	70
Figura 21. Concentrações liberadas ($\mu\text{g g}^{-1}$) de COT, NO_3^- , ortofosfato (P), SO_4^{2-} , Ca, Mg, K, Fe, Mn, Na em relação à concentração total presente no carvão hidrotérmico adicionado e das porcentagens liberadas referente a cada uma das taxas aplicadas.....	71
Figura 22. Concentrações (mg kg^{-1}) de (a) CO, (b) NO_3^- , (c) fósforo assimilável (P), (d) SO_4^{2-} , (e) Ca, (f) Mg, (g) K, (h) Fe, (i) Cu, (j) Mn, (k) Zn, (l) Al e (m) Na que foram incorporados às colunas de solo com a aplicação de diferentes taxas de carvão hidrotérmico lavado (CHL) e carvão hidrotérmico sem lavar (CHSL), após experimento de liberação.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Massa (g) para areia, argissolo, latossolo e solos antropogênicos adicionadas nas colunas de acordo com a densidade natural de cada solo e massas (g) de CH.....	34
Tabela 2. Valores para comprimento de onda, regressão linear, equação da reta, LD e LQ (mg L^{-1}) para os parâmetros de nitrato, sulfato, ortofosfato para as amostras de vinhaça e lixiviados.....	37
Tabela 3. Valores para comprimento de onda, regressão linear, equação da reta, LD e LQ (mg L^{-1}) para os parâmetros de nitrato, sulfato e fósforo assimilável para as amostras de bagaço de cana, solos e carvão hidrotérmico.....	37
Tabela 4. Condições instrumentais para a determinação de potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), sódio (Na) e alumínio (Al) em amostras de vinhaça, bagaço-de-cana, solos, carvão hidrotérmico, lixiviados empregando FAAS.	38
Tabela 5. Condições instrumentais como comprimento de onda (nm), faixa de concentração (mg L^{-1}), LQ e LD (mg L^{-1}) para determinação de macro (Ca, Mg, K) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) e demais elementos (Al e Na) em amostras de bagaço de cana, CH, solos, vinhaça, água de processo e lixiviado das colunas de solo determinados por FAAS.	39
Tabela 6. Valores dos parâmetros químicos determinados para as amostras de vinhaça, bagaço de cana, CHL, CHSL, água de processo e água de lavagem.....	42
Tabela 7. Porcentagens (%) de areia, silte e argila presentes na areia, argissolo, latossolo, TM e TPI.....	44
Tabela 8. Características químicas (pH, matéria orgânica, cinzas, SB, V, CTC, acidez trocável, concentrações de nitrato, fosforo e sulfato, composição elementar (C, N, O, S, H)), para areia, argissolo, latossolo, TM e TPI.	45
Tabela 9. Concentração de macro e micronutrientes e demais elementos nas amostras de solo: areia, argissolo, latossolo, TM e TPI.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CHT	Carbonização Hidrotérmica
CH	Carvão Hidrotérmico
CHL	Carvão Hidrotérmico Lavado
CHSL	Carvão Hidrotérmico Sem Lavar
A-C	Areia Controle
A-CHL 1,0	Areia com adição de 1,0% CHL
A-CHL 2,5	Areia com adição de 2,5% CHL
A-CHL 5,0	Areia com adição de 5,0% CHL
A-CHL 10,0	Areia com adição de 10,0% CHL
A-CHSL 10,0	Areia com adição de 10,0% CHSL
AR-C	Argissolo Controle
AR-CHL 1,0	Argissolo com adição de 1,0% de CHL
AR-CHL 2,5	Argissolo com adição de 2,5% de CHL
AR-CHL 5,0	Argissolo com adição de 5,0% de CHL
AR-CHL 10,0	Argissolo com adição de 10,0% de CHL
AR-CHSL 10,0	Argissolo com adição de 10,0% de CHSL
L-C	Latossolo Controle
L-CHL 1,0	Latossolo com adição de 1,0% de CHL
L-CHL 2,5	Latossolo com adição de 2,5% de CHL
L-CHL 5,0	Latossolo com adição de 5,0% de CHL
L-CHL 10,0	Latossolo com adição de 10,0% de CHL
L-CHSL 10,0	Latossolo com adição de 10,0% de CHL
TPI	Terra Preta de Índio
TM	Terra Mulata
FAAS	do inglês Flame Atomic Absorption Spectrometry (Espectrometria de Absorção Atômica com Chama).
LD	do inglês Limit of detection (Limite de Detecção)
LQ	do inglês Limit of Quantification (limite de quantificação).
CO	Carbono Orgânico
COT	Carbono orgânico total
UV-Vis:	Ultravioleta-Visível

MO	Matéria Orgânica
MOS	Matéria Orgânica do Solo
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier
a	Não analisado
NO₃⁻	Nitrato
SO₄²⁻	Sulfato
CTC	Capacidade de troca catiônica
PET	Polietileno Tereftalato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Indústria Sucroalcooleira – Produção (açúcar e Etanol) e geração de resíduos (bagaço e vinhaça).....	21
2.2	Carbonização Hidrotérmica	23
2.2.1	Efeito da adição de Carvão no solo.....	24
2.2.2	Solos Antropogênicos Amazônicos: Terra Preta de Índio (TPI) e Terra Mulata (TM).....	27
3	OBJETIVO.....	28
3.1	Objetivo geral.....	28
4.	PARTE EXPERIMENTAL	29
4.1	Materiais e equipamentos	29
4.2	Coleta e preparo das amostras de solo, bagaço de cana e vinhaça	29
4.3	Preparo do carvão hidrotérmico a partir da mistura de bagaço de cana e vinhaça.....	31
4.4	Experimentos de liberação em colunas de solo.	33
4.4.1	Montagem das colunas de Solo.....	33
4.4.2	Desmontagem das colunas e Fracionamento nas colunas de solo.....	35
4.5	Análises Físicas e Químicas.....	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	Caracterização física e química.....	39
5.1.1	Caracterização do carvão hidrotérmico, bagaço de cana e vinhaça.....	39
5.1.2	Características físicas e químicas da areia e dos solos argissolo, latossolo, TM e TPI.....	44
5.2	Experimento de liberação em colunas de solos	47
5.2.1	Lixiviado das colunas de solos.....	47
5.2.2	Fracionamento do solo nas colunas.....	78
6	CONCLUSÃO	94
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICES.....	110
	APÊNDICE A. APRESENTA CONCENTRAÇÃO (mg kg⁻¹) DE CO, (NO₃⁻), FÓSFORO ASSIMILÁVEL (P), (SO₄²⁻), MACRONUTRIENTES(Ca, Mg, K), MICRONUTRIENTES(Fe, Cu, Mn, Zn) E Al E NA PARA FRAÇÕES DE SOLOS (0-5 CM), (5-10	

CM), (10-15 CM), (15 A 20 CM), EM 20 CM DE ALTURA NAS COLUNAS DE AREIA, ARGISSOLO E LATOSSOLO COM E SEM APLICAÇÃO DE CHL NAS TAXAS DE 1,0; 2,5; 5,0; 10% E 10,0% DE CHSL, PARA COLUNAS TM E TPI SEM APLICAÇÃO DE CH, APÓS EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO.....	110
APÊNDICE B. APRESENTA CONCENTRAÇÃO (mg kg ⁻¹) DE CO, ₃ ⁻ , FÓSFORO ASSIMILÁVEL (P), (SO ₄ ²⁻), MACRONUTRIENTES(Ca, Mg, K), MICRONUTRIENTES(Fe, Cu, Mn, Zn) E Al E NA EM 20 CM DE ALTURA NAS COLUNAS DE AREIA, ARGISSOLO, LATOSSOLO, TM E TPI SEM APLICAÇÃO DE CH, APÓS EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO.....	117

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca por ser um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo para a produção de açúcar e etanol pelas indústrias sucroenergéticas (FAO, 2018). Esta atividade, atualmente se estende pelas regiões sudeste, centro-oeste, norte, nordeste e sul do Brasil (CONAB, 2018a), a qual tem como consequência a geração de resíduos oriundos do processo de moagem tais como, torta de filtro, palha de cana e, principalmente, a vinhaça e o bagaço-de-cana.

A vinhaça é um subproduto líquido resultante do processo de destilação do etanol (CHRISTOFOLETTI et al., 2013), a qual é rica em matéria orgânica, apresenta baixo pH e concentrações apreciáveis de macro e micronutrientes (FERRARESE, 2011; FUESS, 2017). Devido a essas características, ela tem sido usada no processo de fertirrigação, pois traz como benefício aos solos a introdução de matéria orgânica, a disponibilização de nutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio, melhora a capacidade de troca catiônica e atividade microbiana (TEJADA; GONZALEZ, 2007). Porém, estudos têm mostrado que a aplicação da vinhaça com o passar do tempo pode causar danos ao ambiente, como salinização do solo, contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BRITO et al., 2007). Sendo assim, do ponto de vista ambiental, a prática da fertirrigação já não está sendo considerada uma solução inequívoca, portanto, outras medidas devem ser estudadas para o destino da vinhaça produzida.

De forma semelhante, o bagaço de cana gerado é utilizado pelas indústrias na cogeração de energia por meio da queima em caldeiras, sendo esta energia consumida pela própria indústria ou em alguns casos comercializadas para companhias de energia da região. Entretanto, a queima do bagaço de cana acaba por gerar gases causadores do efeito estufa como CO₂ e uma grande quantidade de material particulado na atmosfera na forma de cinzas e fuligem, podendo causar contaminação atmosférica (LORA, 2000). Estudos recentes têm abordado também o uso do bagaço de cana para a produção do etanol de segunda geração (CANILHA et al., 2012; RABELO et al., 2011;). Porém, a tecnologia é dependente do uso de enzimas, no qual torna o processo extremamente caro e desvantajoso para a implantação na indústria. Além disso, a comunidade científica vem publicando diversos trabalhos na literatura visando a transformação de resíduos de biomassa, como é o caso da vinhaça e do bagaço de cana, em um material mais

promissor, seja no setor de combustível ou agrícola (PARAKNOWITSCH et al., 2009; STEINBEISS e ANTONIETTI, 2009) e menos impactante ao ambiente.

Em vista da grande quantidade gerada destes subprodutos, a busca por novas tecnologias que visam minimizar impactos ambientais e agregar valor comercial para a sua aplicação no próprio ciclo produtivo da cultura, é de suma importância. Deste modo, o uso da técnica de conversão termoquímica como o processo de carbonização hidrotérmica (CHT), se destaca por converter termicamente a biomassa úmida em uma fração líquida denominada água de processo e um material sólido rico em carbono denominado *carvão hidrotérmico*, o qual apresenta elevado valor energético, capacidade de adsorção e como tem naturalmente elevadas concentrações de nutrientes, este pode ser um material valioso para aplicações agrícolas e ambientais para o enriquecimento do solo com nutrientes (BASSO et al., 2013; MUMME et al., 2011; TITIRICI, M.M.; ANTONIETTI M., 2010)

O grupo de pesquisa no qual este trabalho foi desenvolvido tem usado a terminologia carvão hidrotérmico (CH) para adequar a tradução da palavra "hydrochar" do inglês. Portanto, durante toda a leitura deste trabalho, a abreviatura CH será utilizada para designar o produto sólido gerado no processo de CHT de subprodutos das indústrias sucroenergéticas.

Melo et al. (2017) mostraram que o CH produzido pela CHT da mistura de vinhaça e bagaço de cana com adição de ácido fosfórico é um material rico em carbono e nutrientes tais como Ca, Mg, K e P. Já Silva et al., (2017), avaliaram o efeito na produção de CH com aditivos de ácidos (H_2SO_4 , H_3PO_4 , H_3BO_3), básicos (NaOH, KOH) e salinos ($FeCl_2$, $(NH_4)_2 SO_4$), variando as condições de tempo e temperatura da reação. Os resultados indicaram que com a adição de H_3PO_4 e $(NH_4)_2SO_4$ aumentou o rendimento de CH, resultado da precipitação de fosfatos e sulfatos. O aumento da temperatura da reação proporcionou maior imobilização de Ca, Mg, K, Mn, B, P e Fe, sendo que a adição de H_3PO_4 proporcionou maior imobilização de nutrientes. Estes resultados indicam que o CH produzido pode ser utilizado como fornecedor de nutrientes para o solo. Ainda, Bento et al., (2019) avaliaram a liberação de nutrientes e carbono orgânico em experimentos de coluna de solo com a aplicação de CH produzido por Melo et al., (2017) na proporção de 1 e 4% (m/m) em argissolo e latossolo, durante período de 30 dias. Os resultados mostraram que o tipo de solo influencia na liberação de nutrientes. Os autores concluem que o CH produzido apresenta um grande potencial

para aumentar a fertilidade do solo, pois quando adicionado em proporções adequadas pode proporcionar a liberação lenta de nutrientes e carbono orgânico a longo prazo.

Fregolente et al.(2018) estudaram a toxicidade da água de processo gerada da CHT na presença de *Artemia Salina* e na germinação de sementes de milho, alface e tomate. Os resultados indicaram que a água de processo não é tóxica e apresentou somente algumas alterações morfológicas na *Artemia*, e para a germinação de sementes o uso de água de processo diluída proporcionou o crescimento de raízes e brotos para milho e tomate.

Muitos estudos têm sido conduzidos visando avaliar a adição de carvões ao solo como alternativa para melhorar a fertilidade, a retenção de água (ABEL et al., 2013; SUN; LU, 2014; YAO et al., 2012), aumentar o estoque de carbono e disponibilizar mais nutrientes aos solos (LAIRD et al., 2010; MAIA et al., 2011; MUKHERJEE e ZIMMERMAN, 2013). A inspiração de aplicar carvões ao solo surgiu com o advento dos solos denominados “Terra Preta de Índio” (TPI) e Terra Mulata (TM) encontrados na Amazônia Brasileira, no qual, são solos antropogênicos conhecidos pela elevada fertilidade associada à presença de P, Ca, Mg, Zn, Mn e ao alto teor de C estável (de origem pirogênica) na fração orgânica do solo (OLIVEIRA et al., 2018). Essas características contribuem com a estabilização da matéria orgânica no solo (MOS), proporcionando aumento da atividade microbiana, alta capacidade de reter carbono (LEHMANN et al., 2003; DENEVAN, 2010; KÄMPF et al., 2010;), além disso, contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos (LIANG et al., 2006; MUKHERJEE e ZIMMERMAN, 2013).

Neste contexto, para aprofundar o conhecimento do uso do CH já desenvolvido pelo grupo de pesquisa pra aplicações agrícolas, neste projeto avaliou-se o comportamento na liberação de nutrientes como N, P, S, Carbono Orgânico Total, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Al e Na de experimentos em coluna de solos típicos brasileiros com adição de diferentes porcentagens de CH, além de comparar com o comportamento da liberação desses nutrientes em solos antropogênicos amazônicos – Terra Mulata (TM) e Terra Preta de Índio (TPI).

incorporação como na liberação de nutrientes no solo. Inferindo que o latossolo possui as características descritas acima, que contribuem para a maior retenção.

6 CONCLUSÃO

Os experimentos de liberação em colunas de solo durante período de 30 dias, mostraram que a aplicação de carvão hidrotérmico sem lavar (CHSL) em solo aumentou as concentrações de COT, SO_4^{2-} , NO_3^- Ca, Mg, K e Mn nos lixiviados das colunas de areia, latossolo e argissolo, bem como proporcionou maior retenção de P, Cu, Fe, Zn, Al e Na nas colunas latossolo, argissolo e areia. Para o carvão hidrotérmico lavado (CHL), a aplicação de taxas de 2,5; 5,0 e 10,0% proporcionou o aumento das concentrações de COT e SO_4^{2-} e para as taxas de 1,0 e 2,5 % o aumento das concentrações para Ca, Mg, K, Fe, Mn e Na, nos lixiviados das colunas de areia, latossolo e argissolo. Além disso, foi observado que os solos contribuíram com o aumento das concentrações de SO_4^{2-} , Mg, K, Fe, Mn e Na nos lixiviados. Com a crescente taxa de aplicação de CHL nas colunas de latossolo, areia e argissolo, maior retenção de P, Fe e Cu foi observado, já para os demais nutrientes, Na e Al ocorreu menor retenção, na qual apresentaram variações nas concentrações durante o período.

O efeito da aplicação de diferentes taxas de CHL em solos de baixa fertilidade como argissolo e latossolo proporcionou aumento nas concentrações de nutrientes, indicando que o CH apresenta um potencial para melhoria nas propriedades desses solos, mas não por um período tão longo quanto ao observado para os solos antropogênicos.

Solos antropogênicos amazônicos apresentaram baixas concentrações de nutrientes no lixiviado, sendo que estas concentrações apresentaram valores constantes ou o sistema atingiu o equilíbrio ao final de 30 dias de experimento. A Terra Mulata apresentou maiores concentrações de nutrientes em relação a Terra Preta de Índio, a depender do local de coleta, como também das características químicas do solo.

O carvão hidrotérmico (CH) ao ser comparado com o uso do biochar no solo, apresenta elevado teor de carbono com estruturas em diferentes formas orgânicas de carbono, incorporação de P e nutrientes. Dessa forma, o CH poderá proporcionar a melhoria da qualidade do solo, aumentando a probabilidade de adsorção de nutrientes pelas raízes das plantas e diminuindo a necessidade da aplicação de fertilizante no solo.

Da mesma forma, ao comparar o carvão hidrotérmico produzido neste trabalho, com os dados na literatura, ficou evidenciado algumas características em comum, como baixo valor de pH, alto teor de cinzas e C e baixo teor de O e H. Além disso, a aplicação de CHL pode ser uma estratégia para contribuir com o sequestro de C no solo e reduzir problemas de lixiviação de nutrientes como NO_3^- e K^+ , desta forma mitigando a contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

O CH pode ser aplicado em solos com baixa fertilidade (argissolo e latossolo), sendo que é possível ajustar a dose aplicada em função do tipo de solo e da cultura a ser plantada, entretanto a liberação e a incorporação dos nutrientes podem ocorrer por diferentes mecanismos que ainda não são bem compreendidos. Portanto, estudos mais aprofundados relacionados aos mecanismos de interação entre o CH e o solo é de grande importância, além disso, como as propriedades do CH podem mudar com o envelhecimento após ser adicionado ao solo, sugere-se a realização de estudos mais prolongados.

REFERÊNCIAS

- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma: an international journal of soil science**, Amsterdam, v. 202/203, p. 183–191, 2013.
- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 369-376, 2005.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington, DC, 2005.
- ANGERS, D. A. et al. Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoils. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 4, p. 448–452, 2011.
- ASTM International (ASTM). **Method D2974-14**: standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. West Conshohocken, 2014.
- ASTM International (ASTM). **Method D1762-84**: standard test method for chemical analysis of wood. West Conshohocken, 2007.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 337, p. 1–18, 2010.
- BARGMANN, I.; RILLING, M. C.; KRUSE, A.; GREEF, J.; KÜCKE, M. Effects of hydrochar application on the dynamics of soluble nitrogen in soils and on plant availability. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, n. 177, p. 48–58, 2014a.
- BARGMANN, I.; MARTENS, R.; RILLING, M. C.; KRUSE, A.; KÜCKE, M. Hydrochar amendment promotes microbial immobilization of mineral nitrogen. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 177, n. 1, p. 59–67, 2014b.
- BASSO, D.; CASTELLO, D.; BARATIERI, M.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of waste biomass: Progress report and prospects. In: 21 EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE AND EXHIBITION, June, 2013, Copenhagen **Conference proceedings**, p. 1478–1487.
- 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: an international journal of soil science**, Amsterdam, v. 334, p. 24–32, 2019.
- BIANCHI, S. R. **Avaliação química de solos tratados com vinhaça e cultivados com alfafa**. Dissertação Mestrado, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **Global Change Biology**: bioenergy, v. 5, p. 202–214, 2013.

BITTENCOURT, A. J. Avaliação de surtos e medidas de controle ambiental de *Stomoxys calcitrans*: (Diptera: Muscidae) na Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária = Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 73-82, 2012.

BRADL, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 277, p. 1–18, 2004.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Concentração de cátions presentes no lixiviado de solos tratados com vinhaça. **Engenharia Agrícola Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 773–781, 2007.

BUSH, D.; GLASER, B. Stability of co-composted hydrochar and biochar under field conditions in a temperate soil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 31, p. 251-258, 2015.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; & VALADARES, J. A. S. **Métodos de análise química mineralógica e física do solo do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. (Boletim Técnico, 106, ed. rev. atual.)

CAMARGO, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1991. p. 242–272.

CANÇADO, P. H. D. FERREIRA, T.; PIRANDA, E. M.; SOARES, C. O. Sugarcane stems as larval habitat for the stable fly (*stomoxys calcitrans*) in sugarcane plantations. **Pesquisa Veterinária Brasileira Brazilian Journal of Veterinary Research**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 6, p. 741–744, 2013.

CANILHA, L.; CHANDEL, A. K.; MILESSI, T. S. S.; ANTUNES, F. A. F.; FREITAS, W. L. C.; FELIPE, M. G. A.; SILVA, S. S. Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: an overview about composition, pretreatment methods, detoxification of hydrolysates, enzymatic saccharification, and ethanol fermentation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, New York, v. 2012, p 1-15,2012.

CAO, T.; MENG, J.; LIANG, H.; YANG, X.; CHEN, W. Can biochar provide ammonium and nitrate to poor soils: soil column incubation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Valdivia, v. 17, n. 2, p. 253-265, 2017.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 51-59,2003.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS (CIIAGRO). **CIIAGRO Online**, [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/MenuBH.htm>. Acesso em: 10 ago. 2016.

CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste Management**, Elmsford, v. 33, n. 12, p. 2752–2761, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola: P4.231**. São Paulo, 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinha%C3%A7a_-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf. Acesso em: 08 mar. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: safra 2017/2018:- quarto levantamento. Brasília, [s. d.]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 1 ago. 2018a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Série histórica de produção de etanol total**. Brasília, [s. d.]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 1 ago. 2018b.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (terra preta). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, p. 91-98, 2007.

DEENIK, J. L.; COONEY, M. J. The potential benefits and limitations of corn cob and sewage sludge biochars in an infertile oxisol. **Sustainability**, New Rochelle, v. 8, p. 131, 2016.

DENEVAN, W. As origens agrícolas da terra mulata na Amazônia. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 83–87.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKNOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: **Química e mineralogia do solo**: -parte II: aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. 2, p. 685.

DING, L.; ZOU, B.; YANNAN, L.; LIU, H.; WANG, Z.; ZHAO, C.; SU, Y.; GUO, Y. The production of hydrochar-based hierarchical porous carbons for use as electrochemical supercapacitor electrode materials. **Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, Amsterdam, v. 423, p. 104–111, 2013.

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O. A. . Retenção De Nitrato Num Solo De Carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 34, n. 1, p. 141–144, 1999.

DOELSCH, E.; MASON, A.; CAZEVIEILLE, P.; CONDOM, N. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic ou anaerobic incubation. **Waste Management**, Elmsford, v. 29, p. 1929-1935, 2009.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo Remanescente em argila e silte retirados de latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista. Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1785-1791, 2008.

EBC,2015 European Biochar Certificate – Guidelines for a Sustainable Production of Biochar’ Eur. Biochar Found. (EBC), Arbaz, Switzerland (2015), pp. 1-22.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. (Documento, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Documento 2. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro e classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. Embrapa Gado de Corte. **Surtos da mosca-dos-estábulo, *Stomoxys calcitrans*, em Mato Grosso do Sul**: novo problema para as cadeias produtivas da carne e sucroalcooleira. Campo Grande, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro,-2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(USEPA). **Method 9045D**: - 1 soil and waste pH: revision 4. Washington, 2004.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(USEPA). **Method 3010A**: acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by FLAA or ICP spectroscopy: revision 1. Washington, 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(USEPA). **Method 3050B**: acid digestion of sediments, sludges and soils: revision 2. Washington, 1996.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 2. ed. Lages, 2016.

FALCÃO, N. P. S.; MOREIRA, A.; COMERFORD, N. B. A fertilidade dos solos de terra preta de índio da Amazônia central. *In*: TEIXEIRA, W. G.; KERN. D. C.;

MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: - sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 190–201.

FANG, J., CHEN, J.; ZIMMERMAN, A. R. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: characterization and potential applications and impacts. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 267, p. 253–259, 2015.

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

FERRARESE, R. F. M. S. **Caracterização do aporte de poluentes oriundos da atividade sucroalcooleira para a atmosfera, água, solo e sedimento**. 2011. Dissertação Mestrado, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2011.

FREGOLENTE, L. G.; MIGUEL, T. B. A. R.; MIGUEL, E. C.; MELO, C. A.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P.; BISINOTI, M. C. Toxicity evaluation of process water from hydrothermal carbonization of sugarcane industry by-products. **Environmental Science and Pollution Research**. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1771-2> Heidelberg, v. 25, p. 1-11, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION(FAO). **Food outlook biannual report on global food markets**. Rome, July 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca0239en/CA0239EN.pdf>. Acesso em: 5 set. 2018.

FUESS, L. T.; RODRIGUES, I. J.; GARCIA, M. L. Fertirrigation with sugarcane vinasse: foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. **Journal of Environmental Science and Health: part A: environmental science and engineering**, New York, v. 52, n. 11, p. 1063-1072, 2017.

FUNKE, A.; ZIEGLER, F. Hydrothermal carbonization of biomass: a summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v. 4, p. 160–177, 2010.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 219–230, 2002.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Royal Society of London. Philosophical Transactions B: biological sciences**, London, v. 362, n. 1478, p. 187–196, 2007.

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**, London, v. 82, n. 1, p. 39-51, 2012.

GRONWALD, M.; DON, A.; TIEMEYER, B.; HELFRICH, M. Effects of fresh and aged chars from pyrolysis and hydrothermal carbonization on nutrient sorption in agricultural soils. **Soil**, Goettingen, v. 1, p. 475–489, 2015.

HANKE, D.; MELO, V. F.; DIECKOW, J.; DICK, D. P.; BOGNOLA, I. A. Influência da matéria orgânica no diâmetro médio de minerais da fração argila de solos desenvolvidos de basalto no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1611–1622, 2015.

HASSINK, J.; WHITMORE, A.; KUBÁT, J. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. **European Journal of Agronomy**, v. 7, p. 189–199, 1997.

IBI, 2015. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil, v. 1.1. Int. Biochar Initiat. 1–47. doi:<http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>. 22.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, Canandaigua, NY. Disponível em: <https://biochar-international.org/biochar/>. Acesso em 19 de abr. 2019.

INTERNATIONAL BIOCHAR INICIATIVE – IBI. Disponível em: <https://biochar-international.org/biochar/>. Acesso em 13 de abr. 2019.

JAIN, A.; BALASUBRAMANIAN, R.; SRINIVASAN, M. P. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 283, p. 789–805, 2016.

JASSAL, R. S.; JOHNSON, M. S.; MOLODVSKAYA, M.; ANDREW BLACK, T.; JOLLYMORE, A.; SVEISON, K. Nitrogen enrichment potential of biochar in relation to pyrolysis temperature and feedstock quality. **Journal of Environmental Management**, London, v. 152, p. 140–144, 2015.

JOSEPH, S.D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C.H.; HOOK, J.; VANZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B.P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E.; An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Austrália, v. 48, p. 501–515, 2010.

KAMBOO, 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**, Oxford, v. 45, p. 359–378, 2015.

KAMEYAMA, K.; MIYAMOTO, T.; SHIONO, T.; SHINOGLI, Y.; **Journal. Environment. Quality**, Madison, v.41, p. 1131–1137, 2012.

KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; SOMBROEK, W.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. F. Classification of amazonian dark earths and ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J. et al. (Ed.). **Amazonian dark earth: origin, properties, management**. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, p. 77–104, 2003.

KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; KERN, D.C.; CUNHA, T. J. Classificação da Terras Pretas de índio e outros solos antrópicos antigos. In: AMAZONAS., E. DA U. F. DO (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e uso deste conhecimento na Criação de Novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 87–103.

KANTHLE, A. K.; LENKA, N. K.; LENKA, S.; TEDIA, K. Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an Inceptisol of central India **Soil Tillage Research**, v.157, p. 65-72, 2016.

KERN, D. C. **Caracterização pedológica de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará**. Dissertação Mestrado- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

KERN, D. C.; KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; DENEVAN, W. M.; COSTA, M. L.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W. As terras pretas de índio na Amazônia: evolução: o conhecimento em terra preta de índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: — sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010. p. 73–82.

KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Chapter three: - biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances Agronomy**, Madison, v. 112, p. 103-143, 2011.

KUMAR, M.; OYEDUN, A. O.; KUMAR, A. A review on the current status of various hydrothermal technologies on biomass feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 81, p. 1742–1770, 2018.

LAIME, E. M. O.; FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, D. C. S.; FREIRE, E. A. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. **Revista Trópica: - ciências agrárias e biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 3, p. 16–29, 2011.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. **Geoderma: an international journal of soil science**, Amsterdam, v. 158, n. 3/4, p. 436–442, 2010.

LARANJA, M. J. **Identificação de compostos orgânicos semivoláteis e voláteis nos produtos obtidos do processo de carbonização hidrotérmica de bagaço de cana e vinhaça**. 2018. Dissertação Mestrado, Instituto de Biociências e Letras, Departamento de Química e Ciências Ambientais Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Dordrecht, v. 11, p. 403–427, 2006.

LEHMANN, J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, p. 343–357, 2003.

LEHMANN, J. A handful of Carbon. **Nature**, London, v. 447, n. 7141, p. 143–144, 2007.

LENKA, N. K.; DASS, A.; SUDHISHRI, S.; PATNAIL, U.S. Soil carbon sequestration and erosion control potential of hedgerows and grass filter strips in sloping agricultural lands of eastern India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 158, p. 31–40, 2012.

LIANG, B.; J. LEHMANN, D.; SOLOMON, J.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, B.; O'NEILL, J. O.; SKJEMSTAD, J.; THIES, F. J.; LUIZÃO, J.; PETERSEN, and E. G. NEVES. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006.

LIBRA, J. A.; RO, K. S.; KAMMANN, C.; FUNKE, A.; BERGE, N. D.; NEUBAUER, Y.; TITIRICI, M. M.; FÜHNER, C.; BENS, O.; KERN, J.; EMMERICH, K. H. Hydrothermal carbonization of biomass residuals : a comparative review of the chemistry-, processes and applications of wet and dry pyrolysis. **Biofuels**, Abingdon, v. 2, n. 1, p. 89-124, 2011.

LIBUTTI, A. et al. Effect of biochar amendment on nitrate retention in a silty clay loam soil. **Italian Journal of Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 273–276, 2016.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998.

LORA, E. S. **Controle da poluição do ar na indústria açucareira**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia, 2000. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/STAB_1_Electo_000fizwkyra02wyiv802hvm3jk6whttps.pdf. Acesso em: 12 fev. 2016.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental = Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525–532, 2003.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: — sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010. p. 173–189.

MADARI, B. E.; COSTA, A.R.; CASTRO, L.M.; SANTOS, J.L.S.; BENITES, V.M.; ROCHA, A.O.; MACHADO, P. L. O. DE A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terra altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás, 2006. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/25441/1/comt_125.pdf. Acesso em 08 Dez. 2018.

MAIA, C. M. B. D. F. Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos. **Embrapa Florestas**, 2010.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: 1976.

MALGHANI, S.; JÜSCHKE, E.; BAUMERT, J.; THUILLE, A.; ANTONIETTI, M.; TRUMBORE, S.; GLEIXNER, G. Carbon sequestration potential of hydrothermal carbonization char (hydrochar) in two contrasting soils; resulting of a 1-year field study. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 51, p. 123–134, 2015.

MARIA, I. C.; ROSSERTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimetno de cátions em colunas de solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, p. 87–98, 1993.

MELO, Camila de Almeida; BISINOTI, Márcia. Cristina; FERREIRA, Odair Pastor; MOREIRA, Altair Benedito; SANTANA, Rosana Lisboa; SOARES JUNIOR, Francisco Holanda. **Processo para produção de fertilizante organo-mineral a partir da carbonização hidrotérmica da vinhaça e do bagaço de cana-de-açúcar e produto obtido**. Depositante: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (São José do Rio Preto, SP). BR 1020160022215. Depósito: **1 de fevereiro de 2016**. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/papi-nuplitem/1091/processo-para-producao-de-fertilizante-organo-mineral-a-partir-da-carbonizacao-hidrotermica-da-vinha>. Acesso em: 12 fev. 2019.

MELO, C. A.; SOARES JUNIOR, F. H.; BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P. 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**, Dordrecht, v. 8, n. 4, p. 1139–1151, 2017.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; MATIN NETO, L.; PAULETTI, V. Formas Químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. *Revista. Brasileira Ciência do. Solo*. Viçosa, v. 30, p. 121-136, 2006.

MOTTA, P. E. F., CURI, N., SIQUEIRA, J. O., VAN RAIJ, B., FURTINI NETO, A. E., LIMA, J. M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista. Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 349–359. 2002.

MUKHERJEE, A., ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. **Geoderma: an international journal of soil science**, Amsterdam, n. 193/194, p. 122–130, 2013.

MUMME, J.; ECKERVOGT, L.; PIELERT, J.; DIAKITÉ, M.; RUPP, F.; KERN, J. Hydrothermal carbonization of anaerobically digested maize silage. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, p. 9255–9260, 2011.

NIZAMUDDIN, S.; BALOCH, H. A.; GRIFFIN, G. J.; MUBARAK, N. M.; BHUTTO, A. W.; ABRO, R.; MAZARI, S. A.; SI ALI, B. An overview of effect of process parameters on hydrothermal carbonization of biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 73, p. 1289–1299, 2017.

NOVACANA.COM. **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)**. Curitiba, [s. d.]. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>. Acesso em: 6 mar. 2018.

NOVAK, J. M. et al. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. **Soil Science**, Madison, v. 174, n. 2, p. 105–112, 2009.

NOVOTNY, E. H. et al. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1003–1010, 2009.

OLIVEIRA, J. R. C.; CORREA, J. R. V.; RODRIGUES, T. E. **Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

OLIVEIRA, N. C.; PASCHOAL, A. R.; PAULA, R. J.; CONSTANTINO, I. C.; BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; FREGOLENTE, L. G.; SANTANA, A. M.; SOUSA, F. A.; FERREIRA, O. P.; PAULA, A. J.; 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.

ORAM, N. L.; VAN DE VOORDE, T. F. J.; OUWEHAND, G. J.; BEZEMER, M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; VAN GROENIGEN, J. W. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 191, p. 92–98, 2014.

PARAKNOWITSCH, J. P.; THOMAS, A.; ANTONIETTI, M. Carbon colloids prepared by HTC as efficient fuel for indirect carbon fuel cells. **Chemistry of Materials**, Washington, v. 21, p. 1170–1172, 2009.

PARSONS, D. Struvite formation, control and recovery. **Water Research**, v. 36, n. 16, p. 3925–3940, 2002.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo:- decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911–920, 2008.

PRATIWI, E. P. A.; HILLARY, A. K.; FUKUDA, T.; SHINOI, Y. The effects of rice husk char on ammonium, nitrate and phosphate retention and leaching in loamy soil. **Geoderma: an international journal of soil science**, Amsterdam, v. 277, p. 61–68, 2016.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 3–4, p. 75–83, 2010.

- RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. (Boletim técnico, 100).
- RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; FILHO, B. D. O.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. Resposta de culturas á aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 562–569, 2005.
- RABELO, S. C.; CARRERE, H.; MACIEL FILHO, R.; COSTA, A. C. Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, p. 7887-7895, 2011.
- RILLIG, M. C.; WAGNER, M.; SALEM, M.; ANTUNES, P. M.; GEORGE, C.; RAMKE, H. G.; TITIRICI, M. M.; ANTONIETTI, M.; Material derived from hydrothermal carbonization: effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 45, p. 238–242, 2010.
- ROCHA, G. J. M.; MARTÍN, C.; SILVA, V. F. N.; GÓMEZ, E. O.; GONÇALVES, A. R. Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. **Bioresource Technology**, Essex, v. 111, p. 447–452, 2012.
- RONQUIM, C. C. **Conceito de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8) 2010.
- RUMP, H. H.; KRIST, H. **Laboratory manual of the examination of water: wastewater and soil**. 2. ed. Ed. VCH, 1992.
- SEVILLA, M.; FUERTES, A. B. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of saccharides. **Chemistry: - a european journal**, Weinheim, v. 15, p. 4195–4203, 2009.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, = Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.
- SILVA, C. C.; MELO, C. A.; SOARES JUNIOR, F. H.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P.; BISINOTI, M. C. Effect of the reaction medium on the immobilization of nutrients in hydrochars obtained using sugarcane industry residues. **Bioresource Technology**, Essex, v. 237, p. 213–221, 2017.
- SILVA, F. C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, R.C.J. **Identificação de compostos orgânicos não voláteis no carvão hidrotérmico e na água de processo obtidos da carbonização hidrotérmica de subprodutos da indústria sucroenergética**. Dissertação Mestrado, Instituto de Biociências e Letras, Departamento de Química e Ciências Ambientais Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. S.; CUNHA, T. J. F.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra preta e terra mulata: suas potencialidades agrícolas, suas sustentabilidades e suas reproduções. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Editora da ed. Manaus: 2010, p. 420.

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

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbono balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 41, 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.

TEJADA, M.; GONGALEZ, J. L. Application of different organic wastes on soil properties and wheat yield. **Agronomy Journal**, Abingdon, v. 99, p. 1597 – 1606, 2007.

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**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

TITIRICI, M. M.; ANTONIETTI, M. Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization. **Chemical Society Reviews**, London, v. 39, p. 103–116, 2010.

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**, London, v. 5, p. 6796–6822, 2012.

TUSI, M. M.; BRANDALISE, M.; VERJÚLIO-SILVA, R. W. R.; CORREA, O. V.; VILALBA, J. C.; ANAISSI, F.J.; OLIVEIRA NETO, A.; LINARDI, M.; SPINACÉ, E. V. Preparation of PtRu/C electrocatalysts by hidrothermal carbonization using different carbon sources. **Studies in Surface Science and Catalysis**, Colorado Springs, v. 175, p. 551-554, 2010.

UCHIMIYA, M.; LIMA, I. M.; KLASSON, T.; WARTELE, L. H. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter. **Chemosphere: chemistry, physics and biology as focused on environmental problems**, Oxford v. 80, n. 8, p. 935–940, 2010.

UNICA- União da Indústria de Cana-de-açúcar. São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>. Acesso em 07 de maio. 2019.

EIA - U.S. Energy Information Administration. **Petroleum & others liquids: fuel ethanol plant production capacity**. Washington, 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/petroleum/ethanolcapacity/>. Acesso em: 25 jul. 2018.

VAN BEMMELEN, J. M. Über die bestimmung des wassers, des humus, des schwefels, der in den colloïdalen silikaten gebundenen kieselsäure, des mangans u.s.w. im ackerboden. **Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen**, Berlin, v.37, p. 279-290, 1890. Disponível em: <http://edepot.wur.nl/211282>. Acesso em: 4 de Jun. 2016

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

VENDRAME, P. R. S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 859–864, 2007.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C. M.; VAN DER VELDE M.; DIAFAS, I. **Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**: EUR 24099 EM OPOCE LB-NA-24099-EN-C. [S. l.]: European Communities, p. 149, 2009. Disponível em: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC55799>. Acesso em: 19 fev. 2019.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2009, 33:743-755.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. [S. l.], [s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vz p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf. Acesso em: 25 ag. 2015

WANG, Y.; YIN, R.; LIU, R. Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Gangtok, v. 110, n. 1, p. 375–381, 2014.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487–494, 2005.

WENDLING, Grazieli Fentrin Dias. **Formas de alumínio em solo submetido a diferentes manejos e rotações de culturas**. Orientador: Danilo Rheinheimer dos Santos. 2012. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2012.

WIEDNER, K.; NAISSE, C.; RUMPEL, C.; POZZI, A.; WIECZORECK, P.; GLASER, B. Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization: what makes the difference, temperature or feedstock? **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 54, p. 91–100, 2013.

WOICIECHOWSKI, THIAGO; LOMBARDI, KÁTIA CYLENE; GARCIA, FLÁVIO AUGUSTO DE OIVEIRA; GOMES, G. S. Eucalyptus benthamii. **Ciência Florestal**, Santa Maria- RS, v. 28, n. 4, p. 1455–1464, 2018.

YAO, Y.; GAO, B.; ZHANG, M.; INYANG, M.; ZIMMERMAN, A. R.; Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Chemosphere: chemistry, physics and biology as focused on environmental problems**, Oxford, v. 89, n. 11, p. 1467–1471, 2012.

ZANUZO, L.; SAMPAIO, S. C. . Comportamento de cátions em solo cultivado com milho irrigado com água residuária de suinocultura. **Brazilian Journal of irrigation and drainage**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 56–70, 2012.

ZAPAROLLI, D. INDÚSTRIA PAPELEIRA Papel de bagaço e palha. **Revista Pesquisa FAPESP**, ed. 263, p. 68–71, 2018.

ZHANG, Z. et al. Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. **Energy**, v. 171, p. 581–598, 2019.

ZHAO, B. et al. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Journal of Environmental Management**, v. 27, n. 1, p. 1–7, 2011.