

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LUCIA HELENA WIECHETECK

**BIOCARVÃO E CALCÁRIO COMO CONDICIONADORES DE SOLOS
CULTIVADOS**

PONTA GROSSA

2021

LUCIA HELENA WIECHETECK

**BIOCARVÃO E CALCÁRIO COMO CONDICIONADORES DE SOLOS
CULTIVADOS**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Ciência do Solo e Recursos Ambientais. Linha de Pesquisa: Uso e Manejo do solo.

Orientadora: Prof. Dr^a. Neyde F. Balarezo Giarola

PONTA GROSSA

2021

W642 Wiecheteck, Lucia Helena
 Biocarvão e calcário como condicionadores de solos cultivados / Lucia
 Helena Wiecheteck. Ponta Grossa, 2021.
 138 f.

 Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura),
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.

 Orientadora: Profa. Dra. Neyde Fabíola Balarezo Giarola.

 1. Agregação. 2. Biocarvão. 3. Calcário. 4. Formas de incorporação. 5. Solo -
 qualidade. I. Giarola, Neyde Fabíola Balarezo. II. Universidade Estadual de Ponta
 Grossa. Agricultura. III.T.

CDD: 631



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Tese: "BIOCARVÃO E CALCÁRIO COMO CONDICIONADORES DE SOLOS CULTIVADOS."

Nome: **Lucia Helena Wiecheteck**

Orientador: **Prof. Dr^a. Neyde Fabíola Balarezo Giarola**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr^a. Neyde Fabíola Balarezo Giarola

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa

Prof. Dr. Márcio Renato Nunes

Prof. Dr. Clever Briedis

Dr. Adriano Haliski

Data da Realização: 06 de abril de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Haliski, Usuário Externo**, em 06/04/2021, às 16:34, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Renato Nunes, Usuário Externo**, em 06/04/2021, às 17:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Neyde Fabíola Balarezo Giarola, Professor(a)**, em 06/04/2021, às 19:15, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fabrício Tondello Barbosa, Professor(a)**, em 06/04/2021, às 20:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Clever Briedis, Professor(a)**, em 07/04/2021, às 13:22, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 0441291 e o código CRC 6349D4A0.

À minha irmã Lucia Maria Wiecheteck por dividir esta caminhada...

DEDICO

“Aos seres de luz que habitam as dimensões, disseminando conhecimento através dos tempos... fazendo este universo perfeito da forma como é”

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Força Suprema de Sabedoria e Criação do Universo por me conceder discernimento e vontade em abraçar novos desafios, e à família pela mais profunda fonte de aprendizado.

Aos meus amados pais Plínio José e Nair Judite (*in memoriam*), que deixaram grandes exemplos a serem seguidos, entre eles o amor pela vida e a dedicação pelo trabalho realizado. Saudades!!!!

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pela estrutura e oportunidade de formação, ao Programa de Pós-Graduação, aos professores do programa, em especial, a Dr^a. Neyde Fabíola Balarezo Giarola, Dr. Renato Paiva de Lima, Dr. Fabricio Tondello Barbosa, Dr. Clever Briedis, Dr. Márcio Renato Nunes, Dr. Adriano Haliski, Dr^a Jéssica Alves dos Santos Nogaroli e Dr. Jaime Alberti Gomes por dividirem seus conhecimentos.

A EMBRAPA Florestas, especialmente à Dr^a. Cláudia Maria Branco de Freitas Maia e Dr. Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto, à Urophylla Agroflorestal Ltda e a SLB do Brasil, por disponibilizarem a área experimental e o biocarvão.

A Madalena e Cláudio Kruppke por abrirem sua propriedade em Irati em prol da pesquisa, aos amigos Dr. Dácio Antonio Benassi, Dr. José Alfredo Baptista dos Santos, Dr. André Carlos Auler, exemplos de conhecimento, determinação e profissionalismo, a minha gratidão.

Agradecimento especial a Heverton Fernando Melo, amigo de séculos, sob a ordem “*Confundus*”, grande exemplo de determinação e superação. Gratidão pelos inúmeros momentos hilários que dividimos!!!

Aos Laboratórios de Física de Solos, Matéria Orgânica e Laboratório Geral, em especial a Jaqueline Aparecida Gonçalves, Dirceu Klemba e Solange Carvalho.

Aos queridos amigos Isabela Leticia Pessenti e Santos Henrique Brandt Dias, pelas conversas, discussões e troca de conhecimentos. Agradecimentos à Angelo Rafael Bini, Salathiel A. Teixeira e demais colegas que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele.
Por isso, o universo de cada um, se resume no tamanho de seu saber.”*

Albert Einstein

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados “*

Mahatma Gandhi

RESUMO

Os condicionadores de solo mantêm ou melhoram a qualidade do solo e embora apresentem quantidades limitadas de nutrientes, tem impacto benéfico nos atributos físico-químicos e biológicos do solo. O biocarvão e o calcário, pela composição química, são capazes de melhorar os atributos do solo, ao reagirem em vários níveis hierárquicos com a matéria orgânica e com as partículas de solo, influenciando diretamente na qualidade do solo. Neste contexto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação destes condicionadores, sobre alguns atributos selecionados, e para isso, foram instalados dois experimentos distintos: (i) sobre um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, com a aplicação de uma baixa dose de biocarvão associada a níveis de fertilização, em produção florestal de eucalipto, com a avaliação dos atributos físico-químicos e biológico, em um curto período de tempo (11 meses), e, (ii) sobre um CAMBISSOLO HÁPLICO alumínico, com a aplicação de três doses de calcário e três formas de incorporação, em um período de seis anos após a primeira calagem. Os tratamentos para o Latossolo foram a presença ou ausência de biocarvão na dose de 3,23 Mg ha⁻¹, associada a três níveis de fertilização para eucalipto (FP=100% de fertilização padrão, FR=80% da fertilização padrão e SF=sem fertilização), em duas repetições por parcela. O Cambissolo recebeu três doses capazes de elevar a saturação por bases em 50, 70 e 90% e uma área controle, sem calcário, associadas a formas de incorporação (CIAG=calcário incorporado com arado e grade, CIEG=calcário incorporado com escarificador e grade, e CSI=calcário sem incorporação), em quatro repetições. Foram coletadas amostras indeformadas de solo em (a) monólitos, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2m, para avaliação da qualidade visual da estrutura do solo (VESS), resistência tênsil, friabilidade e estabilidade de agregados; e em (b) anéis volumétricos, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2m, para avaliação da densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt). As amostras deformadas coletadas nas mesmas camadas dos anéis volumétricos, foram utilizadas para determinação dos componentes da acidez do solo (pH e Al³⁺), CTC e V%, cátions básicos trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) e teores de carbono lábil (CL), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC). Os dados foram submetidos a análise de variância, e quando significativos, tiveram a comparação de médias por Dunnett a 5% no Latossolo, e teste de médias por Tukey a 5% no Cambissolo. Os resultados mostraram que no experimento do Latossolo, para a maioria dos indicadores, não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a qualidade do solo. Como resultado no Cambissolo, observou-se que as maiores doses de calcário nem sempre tiveram resultados positivos sobre os atributos avaliados e o CSI favoreceu poucos atributos. Desta forma concluiu-se que o efeito do biocarvão sobre os indicadores de qualidade do Latossolo, sob sistema perene, em plantio de eucalipto, a curto prazo e em dose reduzida, foram mínimos; e no Cambissolo, que o CIAG, previne uma superdosagem em superfície, evitando a estratificação química, conseqüentemente estratificação das raízes, estratificação biológica e por fim estratificação física do perfil do solo.

Palavras chaves: Agregação. Biocarvão. Calcário. Formas de incorporação de calcário. Níveis de fertilização. Qualidade do solo.

ABSTRACT

Soil conditioners maintain or improve soil quality and although they have limited amounts of nutrients, they have a benefic impact on soil physicochemical and biological attributes. Biochar and limestone, due to their chemical composition, are capable of improving soil attributes, by reacting at various hierarchical levels with organic matter and soil particles, directly influencing soil quality. In this context, the general objective of this study was to evaluate the effects application of these conditioners, on soil physicochemical and biological attributes, and for that, two different experiments were installed: (i) on a typical dystrophic RED-YELLOW LATOSOL, with a low biochar dose application associated with fertilization levels, in eucalyptus forest production, with the evaluation of physicochemical and biological attributes, in a short time (11 months), and, (ii) an HAPLIC aluminic CAMBISOL, with three lime doses application, in three incorporation forms, elapsed six years after the first liming. The treatments for the Latosol were biochar presence or absence, at 3,23 Mg ha⁻¹, associated with three eucalyptus fertilization levels (FP = 100% of standard fertilization, FR = 80% of standard fertilization and SF = without fertilization), in two repetitions per plot. The Cambisol received three doses capable of raising base saturation by 50, 70 and 90% and a control area, without limestone, associated with incorporation forms (CIAG = limestone incorporated with plow and harrow, CIEG = limestone incorporated with chisel and harrow, and CSI = limestone without incorporation), in four repetitions. Undisturbed soil samples were collected in: (a) monoliths, in layers 0-0,1 and 0,1-0,2m, to assess the visual evaluation of soil structure quality (VESS), tensile strength, friability and aggregate stability; and in (b) volumetric rings, in layers 0-0,1 and 0,1-0,2m, to assess soil density (Ds) and total porosity (Pt). The deformed samples were collected in the same layers as volumetric rings, to determine soil acidity components (pH and Al³⁺), CTC and V%, exchangeable basic cations (Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺) and labile carbon (CL) contents, total organic carbon (TOC) and carbon stock (EC). The data were subjected to variance analysis, and when significant, the means were compared by Dunnett at 5% in Latosol, and the means test by Tukey at 5% in Cambisol. The results showed that in Latosol experiment, for most indicators there was no significant effect of treatments on soil quality. As a result, in Cambisol, it was observed that the highest limestone doses did not always favor the evaluated attributes and the CSI favored few evaluated attributes. Thus, it was concluded that biochar effect on Latosol quality indicators, under a perennial system, in eucalyptus planting, in the short term and in a reduced dose, were minimal; and in Cambisol, CIAG prevents on surface lime overdose, avoiding chemical stratification, consequently root stratification, biological stratification and finally physical stratification of soil profile.

Keywords: Aggregation. Biochar. Limestone. Forms of limestone incorporation. Fertilization levels. Soil quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- (a) Localização de São Jerônimo da Serra/PR.(b) Área do experimento em São Jerônimo da Serra.....	51
Figura 2	- Precipitação pluvial para os anos 2017 e 2018 e média histórica (MH). São Jerônimo da Serra/PR.....	51
Figura 3	- (a) Distribuição percentual granulométrica das partículas de biocarvão. (b) Biocarvão aplicado.....	53
Figura 4	- Disposição das unidades experimentais. a) Faixas CB (com biocarvão) localizadas a direita e faixas SB (sem biocarvão) localizadas a esquerda. b) Legenda. c) Local das amostragens, tendo como referência as plantas centrais sorteadas.....	54
Figura 5	- Diagrama de atividades realizadas com os blocos de solo coletados. (a) Avaliações a partir da análise visual da estrutura do solo. (b) Avaliações realizadas para determinar a qualidade estrutural do solo.....	55
Figura 6	- Avaliação visual da estrutura do solo pelo método VESS. Remoção do bloco (a). Preparo do bloco e determinação das camadas e dos escores (b) e (c).....	56
Figura 7	- Preparo do bloco para realizar a estabilidade de agregados. (a) Fragmentação dos blocos. (b) Fragmentação dos quartos do bloco.....	59
Figura 8	- Análises dos quartos de cada bloco via seca (a) e via úmida (b).....	59
Figura 9	- Agitador vertical. (a) Agitador sem as peneiras. (b) Agitador com as peneiras.....	61
Figura 10	- Determinação de carbono lábil pela oxidação com permanganato de potássio. (a) Permanganato de potássio. (b) $KMnO_4$ diluído. (c) Amostras de solo pesadas e acondicionadas em tubetes. (d) Concentrações de permanganato para prova em branco. (e) Amostras centrifugadas. (f) Centrífuga. (g) Preenchimento dos Erlenmeyer com água ultrapura. (h) Amostras com diferentes concentrações de carbono. Espectrofotômetro (i).....	63
Figura 11	- Análise textural pelo método do densímetro. (a) Prova em branco. (b) Leitura do densímetro nas amostras. (c) Amostras preparadas para leitura.....	65
Figura 12	- Escore da avaliação visual da estrutura do solo (0-0,1m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	69

Figura 13	- (A) Densidade do solo. (B) Porosidade total. (C) Resistência tênsil de agregados. CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	71
Figura 14	- Friabilidade. CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	72
Figura 15	- Carbono orgânico total (0,1-0,2m) e estoque de carbono (0-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	73
Figura 16	- DMP e DMG (0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	76
Figura 17	- DMP_s, DMG_s e IEA_s (0-0,1 e 0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	78
Figura 18	- pH, cálcio e magnésio (0-0,1 e 0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	80
Figura 19	- Alumínio, fósforo (0-0,1 e 0,1-0,2m) e potássio (0-0,1m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	81
Figura 20	- Umidade (0-0,1 e 0,1-0,2m) e Saturac�o por bases (0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-�rea de referência. FP-fertiliza�o padrão, FR-fertiliza�o reduzida e SF-sem fertiliza�o. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.....	80
Figura 21	- Precipita�o pluvial para os anos de 2018 e 2019 e média histórica (MH). Irati (PR).....	89
Figura 22	- Localiza�o do experimento. Localiza�o no estado do Paraná (a) e na propriedade rural em Irati (b).....	90
Figura 23	- Croqui da área experimental. Serro da Ponte Alta, Irati-PR.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Etapas da pirólise lenta e principais características, reações e local de atuação.....	22
Tabela 2	- Principais resultados observados em pesquisas sobre os efeitos do biocarvão na produção de espécies florestais em várias regiões do planeta.....	27
Tabela 3	- Classificação do calcário segundo seu efeito alcalinizante.....	30
Tabela 4	- Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros.....	33
Tabela 5	- Principais formas de incorporação de calcário e características.....	40
Tabela 6	- Principais Indicadores da Qualidade do Solo, sua importância, interpretação, valores e referências.....	44
Tabela 7	- Principais Indicadores da Qualidade do Solo, sua importância, interpretação, valores e referências.....	46
Tabela 8	- Indicadores de referência para a interpretação dos IQS – úmicos.....	47
Tabela 9	- Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO Amarelo (0-0,2m). Instalação do experimento em 2017- São Jerônimo da Serra (PR).....	52
Tabela 10	- Análise textural do LATOSSOLO VERMELHO Amarelo (0-0,2m).....	53
Tabela 11	- Nível de significância das variáveis: escore visual de camadas, densidade do solo , porosidade total, resistência tênsil de agregados, friabilidade, carbono orgânico total, carbono lábil, estoque de carbono, potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio, alumínio, diâmetro médio ponderado via úmida, diâmetro médio geométrico via úmida, índice de estabilidade de agregados via úmida, diâmetro médio ponderado via seca, diâmetro médio geométrico via seca, índice de estabilidade de agregados via seca, fósforo, potássio, saturação por bases, capacidade de troca catiônica, umidade 0-0,1 e 0,1-0,2m.....	68
Tabela 12	- Caracterização química e granulométrica em 0-0,2m do CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico antes do experimento. Maio de 2012.....	90
Tabela 13	- Aplicação de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 50, 70 e 90%.....	92

Tabela 14	- Nível de significância das variáveis analisadas: escore visual de camada, densidade do solo, porosidade total, resistência tênsil de agregados, friabilidade, carbono orgânico total, carbono lábil, estoque de carbono, potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio, alumínio, diâmetro médio ponderado via úmida, diâmetro médio geométrico via úmida, índice de estabilidade de agregados via úmida, diâmetro médio ponderado via seca, diâmetro médio geométrico via seca, índice de estabilidade de agregados via seca, fósforo, potássio, saturação por bases, capacidade e troca catiônica, umidade em 0-0,1 e 0,1-0,2m.....	96
Tabela 15	- Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas.....	98
Tabela 16	- Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas.....	101
Tabela 17	- Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS

Al ³⁺	Alumínio (acidez trocável)
Ca ²⁺	Cálcio
CL	Carbono lábil
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca catiônica
DMG	Diâmetro médio geométrico - via úmida
DMP	Diâmetro médio ponderado - via úmida
DMG_s	Diâmetro médio geométrico - via seca
DMP_s	Diâmetro médio ponderado - via seca
Ds	Densidade do solo
EC	Estoque de carbono
EVc	Escore visual de camada
F	Friabilidade de agregados
IEA	Índice de estabilidade de agregados - via úmida
IEA_s	Índice de estabilidade de agregados - via seca
K ⁺	Potássio
Mg ²⁺	Magnésio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico (acidez ativa)
PRNT	Poder relativo de neutralização total
Pt	Porosidade total
RT	Resistência tênsil de agregados
V	Saturação por bases

LISTA DE UNIDADES

g	Gramo
g kg ⁻¹	Gramo por kilograma
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
kg kg ⁻¹	Quilograma por quilograma
kPa	Quilopascal
L ha ⁻¹	Litros por hectare
Mg ha ⁻¹	Megagrama por hectare
m	Metro
m ³ m ⁻³	Metro cúbico por metro cúbico
m ²	Metro quadrado
mg dm ⁻³	Miligramo por decímetro cúbico
mm	Milímetro
mmolc dm ⁻³	Milimol de carga por decímetro cúbico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CONDICIONADORES DE SOLO	18
2.1.1 Biocarvão	20
2.1.1.2 Efeitos do biocarvão sobre os atributos físico-químicos e biológico do solo: o estado da arte aliado ao problema da pesquisa	24
2.1.1.3 Caracterização dos Latossolos	25
2.1.2 Calcário	30
2.1.2.1 Efeitos da calagem sobre os atributos físico-químicos e biológico do solo: o estado da arte aliado ao problema de pesquisa	31
2.1.2.2 Caracterização dos Cambissolos	38
2.2 INFLUÊNCIA DOS CONDICIONADORES NA ESTRUTURA DO SOLO	41
2.3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO (IQS)	42
3 EFEITO DO BIOCARVÃO ASSOCIADO A DOSES DE FERTILIZANTES, NA QUALIDADE ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM PLANTIO DE EUCALIPTO	48
RESUMO	48
ABSTRACT	48
3.1 INTRODUÇÃO	49
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	50
3.2.1 Caracterização da Área Experimental	50
3.2.2 Manejo da Área	52
3.2.3 Delineamento Experimental e Amostras	54
3.2.4 Análises Realizadas	56
3.2.4.1 Análise visual da estrutura do solo	56
3.2.4.2 Resistência tênsil e friabilidade de agregados do solo	57
3.2.4.3 Estabilidade de agregados	58
3.2.4.4 Estabilidade de agregados - via úmida	59
3.2.4.5 Estabilidade de agregados - via seca	60
3.2.4.6 Carbono orgânico total	61
3.2.4.7 Carbono lábil	62
3.2.4.8 Densidade do solo	64

3.2.4.9 Porosidade total	64
3.2.4.10 Textura.....	64
3.2.4.11 Análise química	66
3.2.4.12 Análise estatística	66
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.5 CONCLUSÕES	84
4 EFEITO DE FORMAS DE INCORPORAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO NA QUALIDADE DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALUMÍNICO NA REGIÃO CENTRO SUL DO PARANÁ	85
RESUMO	85
ABSTRACT	85
4.1 INTRODUÇÃO.....	86
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	89
4.2.1 Localização e Descrição da Área.....	89
4.2.3 Culturas Utilizadas	91
4.2.4 Calagem Realizada em 2018	92
4.2.5 Delineamento Experimental	93
4.2.6 Avaliações	93
4.2.7 Material e Métodos.....	94
4.2.8 Análise Estatística	94
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
4.4 CONCLUSÕES	109
5 CONCLUSÕES GERAIS	110
REFRERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO GERAL

A humanidade enfrenta crises, como a perda de fertilidade do solo, mudanças climáticas, aumento da demanda por alimentos, aumento na geração de resíduos, assim como a sua má gestão, e estas crises têm desafiado os pesquisadores a encontrarem alternativas, que sustentem a produção dos sistemas agrícolas, promovam ganhos ambientais, ao mesmo tempo que cumpram questões sociais.

A resposta pode estar nos condicionadores de solo que entre muitas funções são capazes de recuperar danos e melhorar ou manter a qualidade do solo, com impacto benéfico sobre os atributos físico-químicos e biológicos.

Sabe-se que o solo é a base para a instalação das culturas, e em condição adequada, incrementa a produção, fornecendo condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, com melhor distribuição de poros, maior capacidade de armazenamento e disponibilização de água, melhor movimentação de nutrientes, além da maior exploração radicular e aumento da fauna edáfica entre outros (CHENG et al., 2017; ZHOU et al., 2017).

As alterações que ocorrem na qualidade do solo, em função de seu uso inapropriado, podem ser avaliadas por meio de um conjunto de atributos específicos e suas inter-relações, uma vez que, o uso de indicadores isolados não é suficiente para explicar as perdas ou ganhos potenciais de um determinado solo. Desta forma, os condicionadores de solo podem interferir de forma positiva nos atributos do solo (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015; SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019a), obtendo resultados distintos em função de sua composição, origem, matéria prima, dose e forma de incorporação entre outros.

Entre os vários condicionadores disponíveis para uso na agricultura, o biocarvão se destaca como material estável, obtido pela queima controlada de biomassa sob condições de baixa presença ou completa ausência de oxigênio, capaz de melhorar os atributos do solo (ZHAO; TA; WANG, 2017; ZHANG et al., 2017; SHARMA et al., 2020). Entretanto, em produção florestal, o biocarvão é pouco aplicado, e quando associado a fertilizantes, pode potencializar melhoras nos atributos físico-químicos e biológicos do solo, além de otimizar o uso de insumos ou até mesmo reduzir seu emprego (LIMA; SOUZA; SILVA, 2013; QIAN; CHEN; CHEN, 2015; GUIMARÃES et al., 2017; CARVALHO, 2018).

Ainda que a literatura mostre, com frequência, os efeitos do biocarvão sobre os atributos físico-químicos e biológico do solo, utilizando doses mais elevadas, pouco se sabe sobre qual o efeito que uma baixa dose de biocarvão poderá causar em um solo já estruturado, como um Latossolo, em um experimento de campo, e sabe-se menos ainda qual o efeito da

associação do biocarvão a níveis de fertilização, sobre os atributos do solo, em produção florestal de eucalipto.

Mesmo que o biocarvão seja considerado um condicionador de solo em vários países, a legislação brasileira ainda não o reconhece como tal para a comercialização, pois exige-se o cumprimento de especificações de garantia mínima, segundo a Instrução normativa nº35 (04/07/2006), o que nem sempre ocorre (BRASIL, 2006).

Em contrapartida, o calcário como condicionador de solo, além do seu potencial em neutralizar a acidez do solo e fornecer nutrientes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), diminui o conteúdo e a solubilidade do Al^{3+} e do manganês, melhorando os níveis de fertilidade, com ação restrita à profundidade até 0,2m (CAIRES et al., 2008b; BOSSOLANI et al., 2020; SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019a). Como efeito secundário proporciona melhor aproveitamento de nutrientes pelas culturas semiperenes e perenes, pois o sistema radicular permanece explorando, por mais tempo, praticamente a mesma região, aumentando a fauna edáfica e promovendo efeitos benéficos sobre a estrutura do solo, com reflexos diretos na qualidade do solo (NAHASS; SEVERINO, 2003; NOLLA et al., 2015; HUSSAIN et al., 2017; SHINDE et al., 2019b).

Procurando melhor entender os efeitos destes dois condicionadores sobre a qualidade do solo, mais especificamente sobre um conjunto de atributos físico-químicos e biológico de dois solos distintos, um LATOSSOLO VERMELHO Amarelo e um CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico, este trabalho foi proposto.

A tese foi estruturada em seções, apresentando uma introdução geral seguida de revisão da literatura, e duas seções que abordam cada condicionador separadamente, com descrição detalhada da metodologia empregada para ambos, resultados e conclusões obtidas em cada experimento. Por fim, lista-se a bibliografia utilizada na elaboração deste trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONDICIONADORES DE SOLO

O primórdio da história dos condicionadores coincide com o início do preparo do solo pelo homem, em que excrementos animais e resíduo vegetal eram adicionados ao solo para melhorar sua qualidade. Atualmente adicionam-se materiais físicos e quimicamente ativos que diferem em função da origem (VILELA, 2017; WANG; WANG; HERATH, 2017). As primeiras referências para os condicionadores de solo na prática agrícola, foram divulgadas em conferência realizada ao fim de 1951 com publicação em junho de 1952 (QUASTEL, 1954).

Entende-se por condicionador de solo qualquer material usado para recuperar danos, capaz de ajudar a manter ou melhorar a qualidade do solo, e que embora apresente quantidades limitadas de nutrientes, promova impacto benéfico nos atributos biológico e físico-químicos do solo, podendo atuar, como regulador de acidez e alcalinidade, estabilizador de compostos poluentes ou sequestrador de carbono (SILVEIRA; ALLEONI; CHANG, 2008; LIU et al., 2014; ZHANG et al., 2017; SHARMA et al., 2020).

Os condicionadores de solo podem ser sintéticos ou naturais quando classificados de acordo com a origem (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015; SHARMA et al., 2020), sendo os sintéticos polímeros aplicados a taxas muito mais baixas das especificadas para condicionadores do solo, apresentando alto peso molecular, cadeia longa, responsáveis por unir as partículas do solo, formando agregados estáveis (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019a; SHARMA et al., 2020), ao passo que os naturais, são encontrados facilmente na natureza (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015; URHIE et al., 2019).

Ao serem abordados por sua composição (ZENTENO, 2012; URHIE et al., 2019) podem ser orgânicos ou inorgânicos, sendo os orgânicos derivados de seres vivos, animais e plantas, capazes de aumentar a infiltração e a retenção de água no solo, promovendo melhor agregação, influenciando na atividade biológica e química do solo ao fornecer substrato, melhorando a aeração e reduzindo a compactação, o encrostamento e o selamento superficial. Compreendem os resíduos, adubos, turfa, biocarvão, farinha de ossos e/ou sangue, grãos de café, fibra de coco, lama de esgoto, resíduos orgânicos de fazenda, serragem, adubos verdes e vermiculita entre outros (ZHOU et al., 2016; SHARMA et al., 2020).

Os condicionadores inorgânicos podem ser naturais ou produzidos sinteticamente e incluem os condicionadores minerais como gesso, calcário, rochas trituradas, enxofre, zeólitos, fosfogesso entre outros (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019a; SANTOS et al., 2019).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), classifica os condicionadores de solo conforme a matéria prima de origem (BRASIL, 2006), a saber:

Classe A: utiliza na fabricação matéria prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, não utilizando no processo o sódio, metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos.

Classe B: utiliza na fabricação a matéria prima de origem industrial ou da agroindústria onde o sódio, metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados.

Classe C: utiliza na fabricação qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Classe D: utiliza na fabricação qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Classe E: utiliza na fabricação exclusivamente matéria-prima mineral ou química.

Classe F: utiliza em qualquer proporção a mistura de matérias-primas dos produtos das Classes A e E.

Frente a classificação apresentada, o biocarvão se classifica como um condicionador orgânico classe A e o calcário como um condicionador inorgânico classe E.

Pela instrução normativa (IN) n° 35 de 04 de julho de 2006, um condicionador de solo deve apresentar como especificações de garantia mínima, para melhorar as propriedades físicas e físico-químicas, CTC mínima de $200\text{mmol}_c\text{ kg}^{-1}$ e capacidade de retenção de água mínima de $0,6\text{g g}^{-1}$ ou 60% (BRASIL, 2006).

Estas especificações são a principal limitação para a comercialização dos condicionadores de solos no Brasil, pois inúmeros materiais são utilizados e comercializados como tal, mas não apresentam as especificações de garantia mínima preconizada pela legislação.

Os condicionadores de solo podem interferir em muitos atributos do solo (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015; SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019b), incluindo a capacidade de retenção da água, aeração, temperatura, disponibilidade de nutrientes, CTC, estabilidade agregada, população e comportamento de microrganismos, química da matéria orgânica e fauna diversificada, incluindo insetos e pragas, entre outras.

2.1.1 Biocarvão

Biocarvão é um material rico em carbono, obtido pela queima de biomassa sob condições de anóxia, ou limitado fornecimento de oxigênio, em processo denominado pirólise, em temperaturas relativamente baixas ($< 700^{\circ}\text{C}$) (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Outra definição clara refere-se a um produto sólido rico em carbono derivado de resíduos de biomassa agroflorestal (SOUCHIE et al., 2011; CHEN et al., 2019), muito resistente a degradação química e biológica (LEHMANN; JOSEPH, 2009; HUSSAIN et al., 2017).

A adição do biocarvão ao solo aumenta o sequestro de carbono, a fertilidade do solo e a produtividade das plantas, pelos ganhos nos atributos físico-químicos e biológicos do solo, relacionados com sua porosidade (próximo de 80% em volume de poros) nos quais 95% de poros são menores que 20nm de diâmetro (meso e microporos) e aproximadamente 5% com diâmetros entre 1000 e 10.000nm (macroporos) (MAJOR et al., 2010). A estrutura e a composição do biocarvão reagem com os componentes do solo, melhorando os atributos físico-químicos e biológicos (BARROW, 2012; LIU et al., 2014; URHIE et al., 2019).

A aplicação se faz somente do biocarvão ou como aditivo, para melhorar a fertilidade do solo, aumentar a eficiência no uso de recursos, reduzir a poluição ambiental e as emissões de gases de efeito estufa (TRAZZI et al., 2018; CHEN et al., 2019).

- Histórico e métodos de produção

A biomassa carbonizada teve destaque na década 60, com o cientista de solo holandês, Wim Sombroek, que descobriu um solo rico em matéria negra na bacia amazônica, caracterizado por manchas escuras, profundas, férteis e diferenciadas dos solos encontrados na região (CHENG; LEHMANN, 2009; CASTELLINI et al., 2015; ARTHUR et al., 2019), uma vez que os solos Amazônicos podem ser arenosos ou argilosos, apresentando poucos nutrientes, baixa CTC, baixa fertilidade natural e elevada acidez, contradizendo estes solos escuros, utilizados por algumas tribos indígenas, com alta fertilidade, e enriquecidos com biomassa carbonizada (DING et al., 2016; CYBULAK; SOKOLOWSKA; BOGUTA, 2019; SHARMA et al., 2020).

Algumas dessas manchas, resultado de atividade antrópica (BEESLEY et al., 2010), datam o período pré-colombiano, apresentando acúmulo de resíduos vegetais e animais, quantidades consideráveis de nitrogênio e fósforo, magnésio, cálcio, zinco, cobre, estrôncio e bário (GLASER et al., 2000; LAL, 2009; HUSSAIN et al., 2017). Os teores de nitrogênio e fósforo eram três vezes maiores que os encontrados em áreas próximas e a matéria orgânica

chegava a aumentar até dezoito vezes (NÓBREGA, 2011; SOUCHIE et al., 2011; FANG et al., 2018), originando solos muito férteis.

Além da elevada fertilidade deste solo e dos altos teores de matéria orgânica, a elevada reatividade das frações húmicas apresentava de 35-45% do carbono orgânico na forma pirogênica, com 48-59% na fração leve da matéria orgânica do solo. A natureza do carbono pirogênico mostra sua importância na estruturação, retenção de água e na fertilidade destes solos (GLASER et al., 2000; LEHMANN; JOSEPH, 2009; SOUCHIE et al., 2011).

Novotny et al. (2015) destacaram as características da “Terra Preta de Índios” e como poderiam ajudar a incrementar a agricultura tropical no Brasil. O *biochar* ou *biocarvão* por sua vez, tem uma longa história de uso por humanos, e as demandas por segurança alimentar, ligaram o biocarvão ao manejo do solo e a agricultura (REZENDE et al., 2011; OJEDA et al., 2015; CHEN et al., 2019).

A composição do biocarvão é altamente heterogênea, com muitos componentes estáveis e instáveis (AMELOOT et al., 2013; WANG et al., 2017), porém a caracterização considera o carbono como principal constituinte do biocarvão, somado a matéria mineral (cinza) e área de superfície, parâmetros altamente influenciados pela temperatura de pirólise e pela matéria prima utilizada (ZHANG et al., 2017; TRAZZI et al., 2018).

O produto final desejado direciona a temperatura de pirólise (200-900°C) e as taxas de aquecimento (2,5 a 20°C min⁻¹) (YADAV; KHARE, 2020), resultando em diferentes qualidades de material (LEHMANN; JOSEPH, 2009; HUSSAIN et al., 2017; YADAV; KHARE, 2020).

Os principais processos de produção encontram-se descritos a seguir:

- Degradação termal - conversão hidrotermal - matéria prima imersa em água é aquecida a 180 e 250°C em recipiente selado e sob pressão de 0,5 a 1MPa por várias horas até 24 horas (TITIRICI et al., 2007).
- Torrefação - aquecimento da matéria-prima entre 200 e 300°C, em baixa velocidade de aquecimento (< 50°C min⁻¹) sob atmosfera anóxica em pressão próxima a do ambiente (BERGMAN; KIEL, 2005).
- Pirólise, degradação térmica da matéria orgânica na ausência de oxigênio, em diferentes temperaturas (ZHANG et al., 2015; ALLER, 2016).

A pirólise é a mais comumente utilizada para produção de biocarvão, havendo conversão de biomassa em três produtos: carvão (fase sólida), bio-óleo, diesel verde ou óleo de pirólise (fase líquida) e biogás ou gás de síntese (fase gasosa), constituído principalmente por

hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO) e o metano (CH₄) (VERHEIJEN et al., 2010; AHMAD et al., 2012; SULIMAN et al., 2016).

As condições do processo classificam a pirólise em rápida, lenta ou carbonização e gaseificação. No que diz respeito ao uso de biocarvão como condicionador de solo, a pirólise lenta (carbonização) é a melhor opção (ZHANG et al., 2015; SCHULTZ, 2016; LIAO; SEAN; THOMAS, 2019), pelo rendimento superior, que resulta em um produto com altos índices de porosidade, além de manter as características do material de origem, responsáveis por auxiliar na estabilização de componentes do solo (NÓBREGA, 2011; SOUDEK et al., 2014).

Na pirólise lenta, a transformação térmica do material orgânico ocorre através de reações químicas complexas e processos de transferência de calor e massa (CORTEZ et al., 2008; REZENDE, 2013; SCHULTZ, 2016), estas reações dividem-se em cinco etapas descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Etapas da pirólise lenta e principais características, reações e local de atuação.

Etapa	Temperatura	Caracterização	Reação	Onde atua
1	110-180°C	Secagem da biomassa	desidratação	* (OH ⁻) moléculas dos polissacarídeos
	180-200°C	Secagem da biomassa	desidratação	* absorve calor e libera vapor d'água
2	180-300°C	Reações de pirólise	degradação	* degradação total da hemicelulose
				* degradação parcial da celulose
3	300-370°C	Reações de pirólise	degradação	* degradação parcial da lignina
				* formação inicial do carvão
4	acima 370°C	Degradção Formação de compostos	degradação	* liberação de pequenas quantidades de CO, CO ₂ , CH ₃ COOH
				* gera emissão de voláteis: vapores orgânicos - elevada quantidade CO, H ₂ , CH ₄ e CO ₂
5	acima 500°C	Formação de compostos		formação de ác. acético (CH ₃ COOH)
				metanol (CH ₃ OH)
5	acima 500°C	Formação de compostos		acetona (C ₃ H ₆ O)
				* degrada completamente a lignina
5	acima 500°C	Formação de compostos		* forma alcatrões (líquido e gasoso)
				* forma alguns hidrocarbonetos
5	acima 500°C	Formação de compostos		<i>Lignina-responde por ≈ 50% do carbono fixo no material sólido</i>
				* produtos gasosos formados
5	acima 500°C	Formação de compostos		H ₂ O e CO ₂ reagem com carvão sólido produzindo produtos combustíveis como CO e H ₂

Fonte: Adaptado de CORTEZ et al., 2008; REZENDE, 2013 e SCHULTZ, 2016.

O rendimento do biocarvão diminui com o aumento da temperatura e a relação rendimento/temperatura é diferente para diferentes biomassas, pois quanto maior a temperatura utilizada na pirólise, maior a quantidade de produto gasoso formado. Ocorre uma mudança estrutural de carbono alifático para carbono aromático (entre 150 a 550°C), reduzem os grupos

OH e CH₃ e aumentam C=C. Desta forma, um bom rendimento de produto sólido exige temperaturas mais baixas (300°C a 450°C), pois nessa faixa de temperatura o biocarvão possui grande quantidade de grupos funcionais ácido-base que atuam como trocadores de cátions e ânions, e promovem maior acúmulo de carbono e nutrientes (nitrogênio, enxofre e potássio), que são perdidos a altas temperaturas (LEHMANN; JOSEPH, 2009; KEILUWEIT et al., 2010).

A taxa de aquecimento é outro parâmetro que influencia o processo de pirólise, taxas menores que 10°C min⁻¹ quebram ligações químicas mais fracas, favorecendo as reações de rearranjo inibindo a formação de compostos voláteis, e taxas superiores a 100°C liberam muitos compostos voláteis (STALS et al., 2010; SIEBENEICHLER et al., 2017).

Yang et al. (2007) e Siebeneichler et al. (2017) investigaram as características de pirólise da celulose, hemicelulose e lignina individualmente e observaram que a decomposição de hemicelulose ocorreu em temperatura de 220-315°C, a celulose entre 314-400°C e a lignina, o material mais difícil de se decompor, em faixa de temperatura de 160-900°C, gerando o maior resíduo sólido (40%).

A eficiência de resposta depende da granulometria que está atrelada ao material de origem, pois a biomassa com baixo teor de lignina associada à pirólise rápida, elevada temperatura e baixa pressão, resulta em biocarvão de partículas finas. O biocarvão grosseiro é obtido a partir de biomassa rica em lignina com pirólise lenta, temperatura mais baixa e pressão elevada (ALLER, 2016).

- Propriedades do biocarvão

A constituição do biocarvão (carbono, matéria volátil, cinzas e umidade) é determinante do seu comportamento físico-químico no solo (LIANG et al., 2008; LIU; FENG; ZHANG, 2012; WANG; WANG; HERATH, 2017), pois suas propriedades ditam a maior retenção e disponibilidade de nutrientes com menores perdas por lixiviação e maior disponibilidade potencial da água às plantas (SOHI et al., 2010; CARVALHO et al., 2019).

O teor de cinzas relaciona-se à matéria prima (biomassa florestal, resíduo industrial ou agroindustrial), espécie de plantas (gramíneas, herbácea, lenhosas), e condições de pirólise visando o produto a ser obtido. O aumento do teor de cinzas se dá pelo aumento da temperatura, pois o nitrogênio, carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre volatilizam durante o processo de aquecimento, enquanto os sais inorgânicos não volatilizam facilmente (ZHANG et al., 2014; TRAZZI et al., 2018).

Os teores de cálcio, magnésio e potássio em maior quantidade e o fósforo em menor quantidade, presentes nas cinzas, são dependentes da matéria prima utilizada e das condições de pirólise (ZHANG et al., 2001; YAO et al., 2017b), para a umidade estima-se um teor desejável de 10% em massa (DIAS et al., 2012).

Durante a pirólise a quebra e rearranjo das ligações químicas da biomassa formam vários grupamentos funcionais (hidroxila, amina, éster, aldeído, cetona, carboxila) predominantes em superfície externa e nos poros (BOURKE et al., 2007), alguns atuando como doadores de elétrons e outros como receptores, coexistindo em áreas em que as propriedades podem variar de ácidas a básicas e hidrofílicas a hidrofóbicas (MITCHELL; DALLEY; HELLEUR, 2013; LIANG et al., 2014).

A CTC aumenta à medida que o biocarvão envelhece, pois ocorre a oxigenação dos grupos funcionais, formando maiores concentrações de sítios quimicamente reativos (carregados negativamente). Entretanto, a CTC diminui com o aumento da temperatura de pirólise, causando a remoção do material volátil constituído de grupos funcionais ácidos presentes na estrutura do material carbonizado (MITCHELL; DALLEY; HELLEUR, 2013; YAO et al., 2017a).

O pH também se relaciona com o teor de oxigênio presente no material, e a presença de metais alcalinos remanescentes da biomassa (aumentam o pH); quanto maior a temperatura empregada, maior a liberação de grupos ácidos, tornando os produtos mais alcalinos (REZENDE et al., 2013; LORENZ; LAL, 2014).

A porosidade do material e a área superficial são determinadas pela biomassa e aumento da temperatura, a desidratação provoca o surgimento de microporos (LIANG et al., 2014; YAO et al., 2017b), importantes propriedades do biocarvão, para retenção de água, de nutrientes e para aumentar a fauna edáfica (HOSSAIN et al., 2011; STEWART et al., 2013).

2.1.1.2 Efeitos do biocarvão sobre os atributos físico-químicos e biológico do solo: o estado da arte aliado ao problema da pesquisa

O uso do biocarvão no solo favorece a maior capacidade de retenção de água (CASE et al., 2012; BASSO et al., 2013; JIEN; WANG, 2013; KLEIN; KLEIN, 2015; LIAO; SEAN; THOMAS, 2019), a melhora na estabilidade dos agregados, o aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água (GLASER et al., 2002; VERHEIJEN et al., 2010; LIU et al., 2016), aumento do pH e da CTC do solo (LEHMANN et al., 2003); fornece nutrientes direta e indiretamente para as plantas (CHAN et al., 2008; LAIRD et al., 2010; FIGUEREDO et al.,

2017; EL-NAGGAR et al., 2019b), melhora a saturação por bases (SCHULZ; GLASER, 2012), a disponibilidade de fósforo (YAMATO et al., 2006), além de favorecer as interações do solo com a microfauna, quer pela atividade microbiana ou enzimática (WARNOCK et al., 2007; RUIVO et al., 2009; WANG; WANG; HERATH, 2017; YAO et al. 2017a).

Os resultados das pesquisas com a utilização de biocarvão em espécies florestais, na maioria das vezes ocorre em casa de vegetação ou viveiros, e foca na germinação e desenvolvimento das mudas, quando o biocarvão é aplicado ao substrato (CHIDUMAYO, 1994; PLUCHON et al., 2014; MAZETE, 2017; SILVA et al., 2018; BARROS et al., 2019; GALVÃO et al., 2020).

Em outras pesquisas verifica-se a suficiência no fornecimento de nutrientes pelo biocarvão às mudas (SOLLA-GULLÓN et al., 2006; SANTALLA et al., 2011), o efeito que o biocarvão pode ter sobre a fertilidade (WOICIECHOSKI et al., 2018), ou mesmo a influência sobre a matéria orgânica (OMIL et al., 2013).

Destaca-se aqui, que muitos destes trabalhos não foram realizados em campo, sendo baseados, neste caso, em experimentos de laboratório ou casa de vegetação, com amostras de solo com estrutura deformada, o que restringe a extrapolação dos resultados, bem como poucos trabalhos em campo, com espécies florestais, abordaram os atributos do solo, e desta forma, pouco se tem de resultados para uma conclusão dos reais efeitos do biocarvão sobre os atributos físico-químicos e biológicos em cada tipo de solo.

Desta forma, na tabela 2, demonstra-se um resumo dos principais resultados encontrados em artigos publicados em periódicos de relevância, sobre os efeitos do biocarvão, ao redor do mundo e no Brasil, com seus pontos positivos, em que se observou algum efeito do biocarvão, e negativos, quando não houve efeito algum sobre a variável analisada.

Porém, a utilização de uma baixa dose associada a níveis de fertilização, em experimento de campo, e em plantio comercial de eucalipto, para testar o real efeito do biocarvão sobre os principais atributos físico-químicos e biológicos, em um solo estruturado como o Latossolo, não tem precedentes na literatura consultada, e desta forma, faz desta abordagem um campo de estudo necessário.

2.1.1.3 Caracterização dos Latossolos

O Latossolo apresenta avançado grau de intemperismo, constituído de argilas oxídricas e silicatadas tipo 1:1 (caulinita), com estrutura granular, alta condutividade hidráulica (bem

drenável), baixo teor de sílica (SiO_2), alta acidez e alto teor de alumina (Al_2O_3) e usualmente baixo teor de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) (SANTOS et al., 2018).

O intenso intemperismo, geralmente leva estes solos a forte desintegração da matriz rochosa e quase total decomposição dos minerais primários, por essa razão, são solos com pedon muito profundo (não raro contendo dezenas de metros); com quase ausência de minerais primários (como feldspato, muscovita, plagiocásio, etc), embora encontre-se alguns resquícios, como vermiculita-hidróxi-Al, illita, e esmectitas (BRADY; WEIL, 2013).

A predominância de sesquióxidos de ferro e de alumínio, e argilas 1:1, todos com reduzida área específica, é a causa da baixa CTC dos Latossolos (inferior a $17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila). Na fração argila as quantidades de caulinita, gibbsita, goethita e hematita variam, dependendo do tipo de material de origem, da intensidade do intemperismo e drenagem do sistema, entre outros fatores. Os teores de silte são inferiores a 20%, a argila varia de 15 a 80%, e mais de 95% dos Latossolos são distróficos e ácidos (pH entre 4,0 e 5,5), com fósforo disponível inferior a 1 mg dm^{-3} (problemas de fertilidade).

Tabela 2: Principais resultados observados em pesquisas sobre os efeitos do biocarvão na produção de espécies florestais em várias regiões do planeta (continua).

Referência	Solo	Local	Clima	Características do experimento	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação	Camada avaliada	Resultado observado
CHIDUMAYO, (1994)	Argissolo	Zambia	CWa	a campo quatro espécies florestais			0-0,10m 0,10-0,30m	* O biocarvão pode aumentar a germinação de sementes, o crescimento das plantas e os rendimentos das culturas entre sete espécies de plantas lenhosas.
SOLLA-GULLÓN et al., (2006)	Humic Umbrisol	Frades, Espanha	Subtropical com inverno úmido	a campo <i>Pseudotsuga menziesii</i>	10 e 20	4 anos	0-0,15m	* Aumentos no pH, na disponibilidade de Ca, Mg e K, melhor fornecimento de nutrientes e aumentos na respiração basal. * Melhor condição nutricional resultou em maior produtividade das árvores, em termos de altura, diâmetro e biomassa. * Os aumentos na taxa de crescimento em altura foram de 5,4 e 18% para 10 e 20 Mg ha ⁻¹ respectivamente
SANTALLA et al., (2011)	Alumi-humic Umbrisol	Guitiriz, Espanha	Clima mediterrâneo subtropical húmido	a campo <i>Pinus radiata</i>	7,5 + P	4 anos	0-0,12m	* As quantidades de Ca, Mg e K foram adequadas para a manutenção das reservas do solo, mas o biocarvão reduziu a disponibilidade de P e N.
OMIL et al., (2013)	Gleyic Cambisol (31% argila) Humic Umbrisol (11,7% argila)	Lugo, Espanha	Clima mediterrâneo subtropical húmido	a campo <i>Pinus radiata</i>	4,5 + P	7 anos	0-0,15 0,15-0,30m	* A resposta do solo à aplicação de biocarvão é influenciada pelas propriedades do solo; * os nutrientes e a dinâmica da MOS são diretamente afetados pelas interações entre as cinzas e a composição do solo e indiretamente pela atividade biológica do solo e crescimento da planta.

Tabela 2: Principais resultados observados em pesquisas sobre os efeitos do biocarvão na produção de espécies florestais em várias regiões do planeta (continuação).

Referência	Solo	Local	Clima	Características do experimento	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação	Camada avaliada	Resultado observado
PLUCHON et al., (2014)	-	Floresta boreal Norte da Suécia	Subártico	Viveiro Espécies florestais	3	50 dias	0-0,1m	* O biocarvão pode contribuir para o domínio inicial das árvores de angiosperma na floresta e sugere um possível feedback pelo qual o carvão de espécies de árvores de angiosperma favorece o crescimento de mudas de angiosperma; * o biocarvão com efeito positivo mais forte foi com as maiores concentrações de fósforo e fósforo total e, em alguns casos, eram derivados de madeiras que tinham a maior concentração de fósforo total.
MAZETTE, (2017)	-	Sinop MT	Aw	Viveiro Florestal eucalipto	5 Substratos com percentual crescente de biocarvão	30 60 90 120 dias	0-0,2m	* o biocarvão não obteve resultados significativos no desenvolvimento das mudas de Eucalipto, comparado com o substrato convencional utilizado pelo viveiro.
WOICIECHOWSKI et al., (2018)	Cambissolo Háplico Distrófico típico (647 g dm ⁻³ de argila)	Irati, PR	Cfb	a campo <i>Eucalyptus benthamii</i>	0, 10, 20 e 40 Mg ha ⁻¹ , com e sem adubação mineral de 340 Kg ha ⁻¹ de NPK com 14 Kg de N, 48 Kg de P ₂ O ₅ , 28 Kg de K ₂ O no formulado 4-14-8	60 180 dias	0-0,2m	* A aplicação de biocarvão pode disponibilizar nutrientes para o desenvolvimento inicial da cultura. * Deve-se avaliar o efeito da fertilidade, de acordo com as doses aplicadas, uma vez que a disponibilidade de nutrientes diminuiu ao longo do tempo acarretando a necessidade de adubações de cobertura, porém em quantidades menores.

Tabela 2: Principais resultados observados em pesquisas sobre os efeitos do biocarvão na produção de espécies florestais em várias regiões do planeta (conclusão).

Referência	Solo	Local	Clima	Características do experimento	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação	Camada avaliada	Resultado observado
SILVA et al., (2018)	Latossolo Amarelo distrófico (181 g kg ⁻¹ de argila)	Nova Xavantim a MT	Aw	a campo híbrido de eucalipto	0 0,5 1,2 4 kg/cova	120 dias	0-0,2m	* A aplicação de biochar à cova de plantio propiciou aumento moderado a fraco no desenvolvimento das plantas de eucalipto, provavelmente pelas raízes extrapolarem o raio da cova, e não dependerem mais daquele ambiente para sua nutrição mineral. * Novas formas de manejo do produto devem ser testadas, como a incorporação em toda a área de cultivo, ao invés de somente nas covas.
BARROS et al., (2019)	-	Sinop, MT	Aw	Viveiro florestal eucalipto	concentração 8 tipos 10 substratos	90 dias	0-0,2m	* Os substratos com biocarvão e o substrato do viveirista apresentaram resultados superiores para as variáveis biométricas analisadas.
GALVÃO et al., (2020)	Latossolo amarelo distrófico textura média	Belém, PA	Afl	Casa de vegetação <i>Eryngium foetidum</i> L.	10 g/ vaso ou 10% no solo	45 dias		* Os tratamentos associados ao biocarvão tiveram melhor desempenho das mudas, * os parâmetros massa fresca e seca da parte aérea e massa seca da raiz apresentaram os melhores resultados quando submetidas ao tratamento que associava biocarvão +adubação orgânica.
ADEKIYA et al., (2020)	Alfisol Argilo-arenoso	Owo, Sudoeste /Nigéria	Am	a campo	0 10 20 30	2 anos	0-0,2m	* A aplicação de biocarvão em ambos os anos melhorou a condição física do solo (densidade aparente, porosidade, teor de umidade, diâmetro médio de peso de agregados, taxa de dispersão e taxa de infiltração) e químico (matéria orgânica do solo, pH, N, P, K, Ca, Mg e CTC).

2.1.2 Calcário

Os primeiros vestígios da adição de rochas calcárias ao solo, foram descritas em 75 a.C por Dioscorides, quando os Romanos aplicaram calcário ao solo, com a finalidade de secagem dos terrenos para construção de estradas, como a via Apia, que ligava Roma a Cápua, perfazendo a distância de 300 quilômetros (FORBES, 1993).

As propriedades do calcário mostraram alterações no local da aplicação, e com o tempo, foi constatada a elevação do pH, a promoção das trocas catiônicas e potencialização da eficiência dos fertilizantes pelo efeito alcalinizante (STANMORE; GILOT, 2005).

O calcário agrícola é um produto obtido a partir da moagem de rocha calcária (sedimentares e metamórficas) (WIETHÖLTER, 2000), cujos constituintes são o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). Entretanto, em função da origem geológica e da mineralogia da rocha calcária, os teores de CaCO_3 e MgCO_3 oscilam entre os calcários agrícolas disponíveis no mercado (CREGAN; HIRTH; CONYERS, 1989; ALCARDE, 1992; NOVAIS et al., 2007; SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

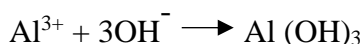
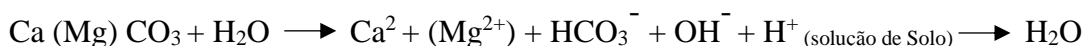
A classificação deste condicionador com efeito alcalinizante, segundo Brasil (2006), encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação do calcário segundo seu efeito alcalinizante.

	CALCÁRIO CALCÍTICO		CALCÁRIO DOLOMÍTICO	
Faixa	C		D	
Registro de produto	ES-05260 00004-5		ES-05260 00002-9	
Natureza física	pó solúvel		pó solúvel	
RETENÇÃO NAS PENEIRAS				
Poder de neutralização	92,3% ABNT 50 (0,3mm)	85,0%	98,0% ABNT 50 (0,3mm)	98,0%
PRNT	86,0%, ABNT 20 (0,84mm)		97,0%, ABNT 20 (0,84mm)	
	99,1% neutralização total		100% neutralização total	
Óxido de Magnésio	4,0% ABNT 10 (2,0 mm)	100%	13,0% ABNT 10 (2,0 mm)	100%
Óxido de cálcio	46,0%		37,0%	

Fonte: Brasil (2006).

O mecanismo de correção da acidez pelo calcário agrícola inicia-se com a solubilização dos carbonatos [$\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$], com a solubilização ocorre a formação de bicarbonato (HCO_3^-) e a liberação de hidroxilas (OH^-) no solo, as quais inicialmente neutralizam o H^+ em solução, e posteriormente, podem atuar precipitando o Al^{3+} , conforme reações (SPARKS, 2003; SPOSITO, 2008):



2.1.2.1 Efeitos da calagem sobre os atributos físico-químicos e biológico do solo: o estado da arte aliado ao problema de pesquisa

A literatura evidencia os efeitos da calagem sobre atributos químicos do solo, como aumento do pH, aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e redução dos teores de Al^{3+} (CAIRES et al., 1998; 2003; 2004; ERNANI et al., 2004; CAIRES et al., 2006; 2008a; 2008b; 2011; BRIEDIS et al., 2012a; JORIS et al., 2013). Todavia, a calagem também tem efeitos sobre a estrutura do solo, de forma que os cátions Al^{3+} e Ca^{2+} atuam como agentes de agregação, diretamente ou indiretamente através de pontes catiônicas com a matéria orgânica do solo, entre as partículas de argila (BRONICK; LAL, 2005).

A calagem também pode atuar indiretamente sobre a estruturação do solo, de modo que a correção da acidez favorece o crescimento radicular das plantas (CAIRES et al., 2008a; JORIS et al., 2013), pois o maior crescimento de raízes aumentará a agregação do solo, visto que as raízes de plantas (principalmente poáceas) agem como agentes temporários de ligação no processo de agregação do solo (TISDALL; OADES, 1982; SIX et al., 2004).

Os resultados de pesquisas sobre a forma de incorporação, doses de calcário e a influência do calcário no solo, nos atributos físicos e químicos muitas vezes são contrastantes. Em alguns trabalhos são reportados efeitos negativos do calcário, como aumento da dispersão de argilas, redução da floculação, redução da estabilidade de agregados e redução da infiltração de água no solo (GHANI et al., 1955; ROTH; PAVAN, 1991; HAYNES; NAYDU, 1998; ALBUQUERQUE et al., 2003; SIX et al., 2004). Em outros, são destacados os efeitos positivos, como aumento do armazenamento de água e da estabilidade dos agregados (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991; CHAN; HEENAN, 1998; SIX et al., 2004; BRIEDIS et al., 2012a). Ainda, há trabalhos que demonstram que esta prática não exerce influência sobre os atributos físicos do solo (TORMENA et al., 1998; COSTA et al., 2004).

Também é importante destacar que muitos dos trabalhos presentes na literatura foram baseados, em experimentos de laboratório ou casa de vegetação, por amostras de solo com estrutura deformada, o que restringe a extrapolação dos resultados. Estas discordâncias muitas

vezes deixam dúvidas dos reais efeitos da calagem sobre os atributos físico-químicos e biológicos do solo, e apesar disso, muitas pesquisas são realizadas em Latossolos, não havendo muitas referências para outros tipos de solo, principalmente os Cambissolos.

Isso já foi constatado por Paradelo et al. (2015), em abrangente pesquisa com metanálise de dados, abordando o efeito da calagem nos estoques de carbono orgânico. Neste contexto, tais autores destacam a importância de serem realizados estudos na área de física do solo, que analisem os efeitos de corretivos de acidez além do calcário, a dose aplicada, o método de aplicação, o tempo de reação, a camada de solo avaliada e as características de cada solo (teor e tipo de argila, por exemplo).

Para demonstrar tal empasse, na Tabela 4 encontra-se um resumo dos principais resultados encontrados em artigos publicados em periódicos de relevância, sobre os efeitos do calcário, em diferentes formas de incorporação, sobre alguns atributos físico-químicos e biológicos do solo, no Brasil.

Um aspecto importante a ser destacado, é o predomínio de artigos e resultados obtidos em Latossolos, e, de um total de 19 artigos citados, apenas dois fazem menção aos efeitos do calcário em Cambissolos, mostrando a escassez de dados para este tipo de solo.

Assim sendo, destaca-se que os efeitos do calcário agrícola sobre os atributos físico-químicos e biológicos em Cambissolos ainda não foram completamente elucidados, visto que a maioria dos trabalhos de pesquisa centram-se apenas em camadas superficiais do solo. Ainda fazendo uma sucinta análise sobre a Tabela 4, pode-se verificar a falta de trabalhos que analisam os efeitos conjunto das formas de incorporação e doses de calcário para elevar a saturação de bases, e quais efeitos esta interação causa.

Portando, conhecer o comportamento do calcário sobre os atributos físico-químicos e biológicos em Cambissolos, é bastante relevante e se faz necessário.

Tabela 4: Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros (continua).

Referência	Solo	Local	Clima	Manejo	Forma de incorporação	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação (meses)	Camada avaliada	Resultado observado
ALBUQUERQU E et al., (2003)	LATOSSOLO BRUNO Álico	Lages, SC	Subtropical úmido (Cfb)	SPC	Calcário incorporado com arado e grade (0,17 m de prof.)	0 4,5 9	60	0-0,1m	* Aumento linear no DMP com o incremento das doses.
ALBUQUERQU E et al., (2005)	LATOSSOLO BRUNO Alumínico (560 g kg ⁻¹ de argila)	Guarapuava, PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário superficial	0	156+60	0-0,05m 0,05-0,1 metros	* Redução do DPM nos manejos em 0,05-0,1m e redução do DMP no SPD em relação ao SPC. * Resultados não expressivos sobre a Ds e Pt,
			Subtropical úmido (Cfb)	SPC	Calcário incorporado com arado e grade (0,2m)	4,5			
BORTOLUZZI et al., (2008)	ARGISSOLO Distrófico plúntico (190 g kg ⁻¹ de argila)	Santa Maria, RS	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	0,2+2	144	0-0,05m 0,05-0,1 metros	* Não houve efeitos das doses nem dos métodos sobre a Ds em ambas as camadas de solo.
					Calcário incorporado com arado grade (0,2m de prof.)	8,5 17			
CASTRO et al., (2011)	LATOSSOLO VERMELHO distrófico (440 g kg ⁻¹ de argila)	Botucatu, SP	Tropical de altitude (Cwa)	SPD	Calcário em superfície	0 3,8	60	0-0,10m 0,1-0,2m 0,2-0,4m	* Não verificaram efeitos dos corretivos da acidez sobre o DMP, Ds e, Pt.
BONINI; ALVES, (2011)	LATOSSOLO VERMELHO distrófico (263 g kg ⁻¹ de argila)	Selvíria, MS	Tropical de altitude (Cwa)	Pastagem	Calcário incorporado com subsolador, arado e grade (0,2m prof.)	0 2,85	144	0-0,1m 0,1-0,2m 0,2-0,4m	*Aumento do DMP em relação ao controle.
BRIEDIS et al., (2012a)	LATOSSOLO VERMELHO distrófico (295 g kg ⁻¹ de argila)	Ponta Grossa, PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	0+0	180	0-0,025m	* Aumento linear no DPM de todas as camadas com o incremento das doses
						6+0		0,025-0,05m	
						0+3		0,05-0,1m	
						6+3		0,1-0,2m	

Tabela 4: Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros (continuação).

Referência	Solo	Local	Clima	Manejo	Forma de incorporação	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação (meses)	Camada avaliada	Resultado observado
FIDALSKI et al., (2015)	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (620 g kg ⁻¹ de argila)	Pato Branco, PR	Subtropical úmido (Cfa)	SPD	Calcário em superfície	1,7	1 6 12 20	0-0,1m 0,1-0,2m	* Não verificaram efeitos sobre a Ds em nenhum período de avaliação em ambas as camadas de solo.
CARMEIS FILHO et al., (2016)	LATOSSOLO VERMELHO distrófico (350 g kg ⁻¹ de argila)	Botucatu, SP	Tropical de altitude (Cwa)	SPD	Calcário em superfície	0 2,0	144	0-0,05m 0,05-0,1 metros 0,1-0,2m	* Não houve efeitos sobre a Ds e Pt em 0-0,05m. * Nas demais camadas, a aplicação de calcário isolada reduziu a Ds. * O DMP não aumentou com a aplicação de calcário
CASTRO et al., (2017)	LATOSSOLO VERMELHO distroférico (440 g kg ⁻¹ de argila)	Botucatu, SP	Tropical de altitude (Cwa)	SPD	Calcário em superfície	0 3,8	60	0-0,1m 0,1-0,2m 0,2-0,4m	* O calcário reduziu a Ds em 0-0,1m em relação ao controle. * Nas demais camadas não houve efeito dos tratamentos.
AULER et al., (2017a)	CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico (489 g kg ⁻¹ de argila)	Irati PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	0 15	18	0-0,1 m 0,1-0,2m	* Apenas quando aplicado em superfície o calcário reduziu a Ds e aumentou a Pt, em 0-0,1m. * Na camada de 0,1-0,2 m os resultados não foram expressivos.

Tabela 4: Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros (continuação).

Referência	Solo	Local	Clima	Manejo	Forma de incorporação	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação (meses)	Camada avaliada	Resultado observado
AULER et al., (2017 b)	CAMBISSOLO HÁPLICO Aluminico (489 g kg ⁻¹ de argila)	Irati, PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário na superfície	0 15	18	0-0,1m 0,1-0,2m	* A dispersão de argila não é influenciada por nenhum método de aplicação do calcário.
					Calcário incorporado com a arado e grade (0,25 m de prof.)				
NUNES et al., (2017)	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (390 g kg ⁻¹ de argila)	Bom Recreio, RS	Subtropical úmido (Cfa)	SPD	Calcário em superfície	5	60	0-0,05m 0,1-0,15 metros	* Redução na estabilidade, maior dispersão de argila em relação a condição natural de vegetação.
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (598 g kg ⁻¹ de argila)	Passo Fundo, RS	Subtropical úmido (Cfa)			3	36		
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (694 g kg ⁻¹ de argila)	Ponta Grossa, PR	Subtropical úmido (Cfb)			3,5	48		
FLORES et al., (2008)	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (540 g kg ⁻¹ de argila)	São Miguel das Missões, RS	Subtropical úmido (Cfa)	ILP - SPD	Calcário em superfície	4,5	6 12 24 36 48	0-0,25 metros	* O máximo efeito do calcário na correção foi aos 24 meses, com aumentou o pH, Ca e Mg trocável, e V% e diminuiu o m%. Depois, regrediu, mantendo a acidez inferior à condição sem calagem. Os resíduos adicionados ao solo não afetaram o COT.

Tabela 4: Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros (continuação).

Referência	Solo	Local	Clima	Manejo	Forma de incorporação	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação (meses)	Camada avaliada	Resultado observado
GARBUIO, (2009)	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (295 g kg ⁻¹ de argila)	Ponta Grossa PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	4 8 12	3	0-0,2m	* A calagem aumentou o pH e os teores de Ca e Mg trocáveis até 0,6 m e reduziu os teores de Al e Mn além de Cu e Fe disponíveis em 0-0,05m.
ASAMI, (2010)	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	Ponta Grossa PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	4 8 12	2	0-0,2m	* A calagem proporcionou correção da acidez, aumento de Ca e Mg trocáveis em todas as camadas.
MEERT et al., (2016)	LATOSSOLO BRUNOS Distróficos	Guarapuava PR	Subtropical úmido (Cfb)	SPD	Calcário em superfície	2,85	5	0-0,2m	* A calagem aumentou o pH e os teores de Ca ²⁺ e diminuiu os teores de Al ³⁺ até 0,1m, após cinco meses. A dose usada para elevar o V% a 70 % em 0-0,2 m, não houve efeito significativo sobre a nutrição e a produtividade do trigo mesmo com baixo teor de Al ³⁺ .
CARNEIRO et al., (2018)	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (265 g kg ⁻¹)	Gurupi, TO	Aw	SPD	Calcário em superfície	0 1,5 3,0 4,5 6,0	3	0-0,2m	* A elevação do V% pela aplicação de doses elevadas de calcário elevou o pH para faixas nas quais causou baixa disponibilidade de nutrientes. * A supercalagem causa desequilíbrio entre os nutrientes, principalmente quando aplicado calcário com baixa quantidade de Mg.

Tabela 4: Principais resultados observados em artigos científicos sobre os efeitos de corretivos da acidez em alguns atributos físicos do solo de solos brasileiros (conclusão).

Referência	Solo	Local	Clima	Manejo	Forma de incorporação	Doses (Mg ha ⁻¹)	Tempo de reação (meses)	Camada avaliada	Resultado observado
SILVA; PRADO, (2019)	LATOSSOLO VERMELHO Distrofico	Jaboticabal SP	Tropical de altitude (Cwa)	SPD	Calcário em superfície	1,0		0-0,1m 0,1-0,2m 0,2-0,4m 0,4-0,6m	O calcário melhorou os atributos químicos do solo de 0-0,2m.
PEREIRA et al., (2020)	ORGANOSSOLO HÁPLICO	Santa Cruz, RJ	Tropical atlântico (Aw)	SPD	Incorporado com enxada	0 4,9 8,9 15,0 27,2	45 dias	0-0,2m	A calagem favoreceu a simbiose entre a planta e as estirpes de <i>Rhizobium tropici</i> além de melhorar os atributos químicos do solo.
ALVES et al., (2021)	ARGISSOLO Textura grossa	Pampas, RS	Subtropical úmido (Cfa)	SPD	Calcário em superfície	2 + doses de gesso	52 meses	0-0,05m 0,05-0,1m 0,1-0,2m 0,2-0,4m 0,4-0,6m	* A aplicação superficial de calcário aumentou o pH do solo e a saturação de base na camada de solo de 0–10 cm sem exceder os níveis críticos ou ter um efeito significativo no rendimento da cultura.

2.1.2.2 Caracterização dos Cambissolos

É um solo frágil quanto ao aspecto morfogenético, considerado unidade pedológica em plena transformação, com baixo grau de intemperismo, caracterizado por apresentar um horizonte B incipiente e elevado teor de silte ao longo do perfil (ABRÃO et al., 2017).

A Classificação Brasileira de solos define os Cambissolos como solo mineral com horizonte B incipiente, “Bi” (OLIVEIRA, 2001), ou seja, pouco desenvolvido. Apresentam certo grau de evolução do horizonte B, suficiente para o desenvolvimento de cor ou estrutura, porém, não o suficiente para alterar completamente minerais primários de fácil intemperização (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988; OLIVEIRA, 2001).

Um típico horizonte B incipiente, horizonte diagnóstico da classe dos Cambissolos, apresenta algumas das seguintes características: capacidade de troca catiônica e índice Ki relativamente elevado, teores apreciáveis de minerais primários facilmente intemperizáveis, altos teores de silte em relação à argila (relação de silte/argila) acima de 0,6 (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988; CURCIO, 1994).

Os teores de silte em relação à argila podem promover o selamento superficial de algumas camadas, dificultando a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial e a erosão no solo (RESENDE et al., 2014), fatores que tornam esses solos naturalmente suscetíveis à degradação. A predominância dos Cambissolos é de 11% no território paranaense, principalmente no sul e leste do estado, sendo a grande maioria Cambissolos de baixa fertilidade (PARANÁ, 2020).

A estabilidade dos agregados nos Cambissolos influencia a porosidade do solo, processos de infiltração e resistência à erosão (VICENTE et al., 2012); além de produzir efeitos sobre a dinâmica da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, mantendo assim a qualidade estrutural e a produtividade.

- Formas de incorporação do calcário

O calcário tem sido aplicado no solo por dois métodos principais, incorporado (com mobilização do solo para incorporação do corretivo) e em superfície (sem revolvimento). Diversos estudos têm demonstrado que a calagem superficial, sem revolvimento, seria o método de aplicação mais apropriado para áreas sob sistema de semeadura direta (MUZILLI et al., 1983; YAGI et al., 2014).

Os calcários utilizados na prática da calagem em geral apresentam baixa solubilidade, necessitando de adequado contato com as partículas de solo para reagir. Portanto, a incorporação às camadas mais profundas do solo é justificada para uma reação mais efetiva (MORELLI et al., 1987; CAIRES et al., 2008)

No Brasil, a incorporação de calcário é feita, normalmente, com grades intermediárias ou até niveladoras, o que pode resultar em reflexos positivos à qualidade física e química dos solos, pelo maior contato solo-calcário, contrastando com a aplicação superficial em que, tanto a supercalagem na parte superficial como a subcalagem nas camadas mais profundas do perfil do solo (DENARDIN, 1984), podem restringir o crescimento das raízes das plantas.

A Embrapa (1998) recomenda a calagem para o Estado do Paraná, objetivando atingir a saturação por bases de 70%, incorporar o calcário até 0,2m de profundidade, nas áreas que estão no sistema convencional e que devem passar para o sistema de semeadura direta.

De acordo com a recomendação de calagem (RAIJ et al., 1985), para quantidades maiores que 5 Mg ha^{-1} , a incorporação do calcário no solo deve ser feita mediante aplicação de metade da dose antes da utilização de arado e outra metade após, com posterior gradagem.

A preferência deve ser por equipamentos que utilizem discos, pois promovem uma melhor incorporação e mistura do corretivo com o solo; isto é muito importante, pois o calcário é pouco solúvel e os nutrientes são pouco móveis no solo. Entretanto, são raros os trabalhos publicados que utilizam essa recomendação.

A incorporação do calcário ao solo, revolvendo-o com arado e grade altera algumas características físicas, diminuindo a porosidade, a distribuição de tamanho e a estabilidade dos agregados, além de destruir os canais resultantes da expansão radicular e da atividade biológica, o que prejudica a infiltração de água, aumentando o escoamento superficial e facilitando a erosão (FUCKS et al., 1994).

Estima-se serem necessários, aproximadamente, três anos de sistema de semeadura direta para recuperar de 50 a 90% dos agregados destruídos pela mobilização do solo. Como no sistema de semeadura direta a mobilização do solo é mínima, não é possível incorporação do calcário, razão de ser aplicado superficialmente quando necessário (CAIRES et al., 1998). A pequena mobilização que ocorre somente na linha de semeadura possibilita incorporação do calcário nesta região, e, com os repetidos ciclos de plantio, pode auxiliar a movimentação descendente de suas partículas, mas não além da profundidade de semeadura.

A decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo deve originar compostos orgânicos hidrossolúveis, que complexam o cálcio, permitindo a sua percolação. A presença de alumínio provoca troca com o cálcio, pela maior afinidade, diminuindo a fração de

alumínio fitotóxico e aumentando o teor de cálcio na solução (MIYAZAWA et al., 1996; OLIVEIRA; PAVAN, 1996). Os ânions, como nitratos, sulfatos, cloretos e silicatos presentes, originados da decomposição dos resíduos culturais ou da adição de fertilizantes, também contribuem para a percolação do cálcio e magnésio e, em menor grau, de outros cátions (CAIRES et al., 1998; CAIRES et al., 2006). Na tabela 5 apresentam-se características peculiares a cada forma de incorporação de calcário.

Tabela 5: Principais formas de incorporação de calcário e características.

	COM USO DE ARADO	PREPARO MÍNIMO	SUPERFICIAL
Profundidade	*preparo primário: variável (0,2-0,3m) média (0,3-0,5m) alta *preparo secundário: solo é destorroado e nivelado	*corte e a ruptura do solo em torno de 0,2 a 0,4m	Sem movimentação
Implemento	discos	Hastes - posição a 20°	-
Movimentação do solo	*Intensa vertical e horizontal	*pouca movimentação, sem reduzir a profundidade de trabalho	ausente
Nº de operações	reduzidas	passada única	-
Controle de problemas de natureza física do solo	*eliminação de camadas adensadas em superfície	*Desagrega menos o solo	*temperatura varia menos; *os resíduos culturais reduzem processo erosivo; *manutenção da estrutura
Controle de problemas de natureza química do solo	*correção da acidez e da fertilidade	*deixa boa qualidade de resíduos (até 70%) sobre a superfície do solo	*ciclagem de nutrientes redução da perda da matéria orgânica
Controle de problemas de natureza biológica do solo	*redução das populações de pragas e nematóides e do potencial de inóculo de agentes fitopatogênicos	-	*melhores condições edáficas melhor desenvolvimento radicular das plantas
Características	*superfície rugosa, *restos culturais parcialmente visíveis	*afofamento do solo, quebra de adensamentos sem destruir os agregados da camada trabalhada *quebra compactações entre 0,1 e 0,25m, aumenta infiltração e capacidade de retenção de água, não movimentam o solo lateralmente	*deposição superficial sem mobilização do solo
Fonte	FRANCHINI et al., (2009) NOLLA et al., (2020) GIMENEZ, (2011) MILAN, (2002) NOLLA et al., (2020)	FRANCHINI et al., (2009) HOFMEIJER et al., (2020) GIMENEZ, (2011) HOFMEIJER et al., (2020)	FRANCHINI et al., (2009) GUARÇONI et al., (2019)

2.2 INFLUÊNCIA DOS CONDICIONADORES NA ESTRUTURA DO SOLO

O primeiro passo para a formação da estrutura do solo, ocorre com a flocculação e a dispersão dos colóides de solo, processos altamente influenciados pela pedogênese. A interação entre partículas coloidais depende da intensidade de força de atração e repulsão que atuam simultaneamente, e a máxima aglomeração de partículas ocorre em valores de pH onde o balanço de cargas é nulo (Ponto de carga zero líquida – PCZI) (PARKES; BRUYN, 1962).

Os minerais encontrados no solo apresentam valores de PCZ bastante variados, os óxidos puros apresentam altos valores de PCZ, enquanto a sílica e a matéria orgânica apresentam valores baixos. Por este motivo, a carga elétrica líquida do solo depende de sua composição, ou seja, das proporções em que ocorrem os diversos constituintes (MAURER et al., 2000).

A elevação de pH muito acima do PCZI pode causar a dispersão das partículas de argila dos microagregados. No entanto a calagem ou mesmo o biocarvão, ao estimular o aumento da produção de biomassa vegetal, melhora as condições biológicas que favorecem a agregação das partículas (MAURER et al., 2000).

O efeito químico da elevação do pH é baseado na maior capacidade dos cátions trivalentes, como o alumínio trocável, em diminuir a espessura da dupla camada difusa, comparativamente aos cátions bivalentes como o cálcio e o magnésio. Os cátions polivalentes são mais eficientes em formar pontes entre dois grupos funcionais carregados negativamente.

O alumínio propriamente dito é importante em minerais de argila como caulinita gibbsita e outros óxidos inclusive de ferro, os diferentes minerais e formas de alumínio presentes no solo, participam da retenção de ânions e cátions, causam a fitoxidez em solos ácidos, reduzem a CTC do solo, além de influenciar em alguns atributos físicos (PEDROTTI et al., 2003).

A flocculação, pré-requisito químico para a agregação (DEXTER, 1988), ocorre tanto pela presença das cargas provenientes da matéria orgânica, quanto cátions polivalentes, interagindo com as cargas de superfície mineral como quartzo, argila e óxidos. Para que estas estruturas aglomeradas permaneçam unidas há a necessidade de sua estabilização, e esta ocorrerá através dos agentes ligantes e cimentantes (HORN et al., 1994; HILLEL, 1980).

As forças de união prevalecem às forças que ocorrem entre os agrupamentos adjacentes (KEMPER; CHEPIL, 1965), e quanto maior a atividade, mais forte a ligação entre as partículas do solo, proporcionando agregados mais estáveis quando secos e menos estáveis quando úmido (CASTRO FILHO et al., 2002).

Nos agregados de primeira geração, o número de pontos de contato depende da faixa de pressão da água aplicada nos poros, da distribuição, do tamanho das partículas, e da mobilidade das partículas, influenciando o estado de dispersão, flocculação e cimentação (HORN et al., 1994; DEXTER, 1988; HILLEL, 1980). Desta forma, o calcário e o biocarvão podem atuar sobre a agregação, pelo seu efeito através do pH, ou mesmo facilitando as pontes catiônicas, através do fornecimento de cálcio e magnésio.

2.3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO (IQS)

A estrutura é frequentemente avaliada pelos atributos que lhe dão forma (densidade do solo; geometria, tamanho e continuidade de poros; infiltração; retenção de água e aeração; macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo) (BÜNEMANN et al., 2018), e uma boa estrutura de solo requer infiltração rápida com armazenamento de água adequado no solo, disponível às plantas, além de manter a temperatura, disponibilidade de nutrientes, aeração, entre outros (REICHARDT; TIMM, 2012).

A avaliação da qualidade estrutural do solo é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas inter-relações, uma vez que isolados eles não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo (RINOT et al., 2019).

A escolha dos indicadores de qualidade estrutural do solo é requerida para selecionar um conjunto mínimo de dados, com potencial valor sobre a interpretação dos índices obtidos, mediante a pesquisa realizada.

O conceito de qualidade do solo tem duas abordagens diferentes enfatizando aspectos inerentes as propriedades do solo ou aos efeitos do manejo. A menção mais velha na literatura científica é de Mausel, (1971), que definiu a qualidade do solo como “a capacidade dos solos em produzir milho, soja e trigo sob condições de gestão de alto nível”. A escolha dessas culturas para refletir a qualidade do solo em Illinois (USA) foi por sua esmagadora agricultura e domínio econômico.

O enfoque sobre a qualidade do solo despertou interesse na comunidade internacional, a partir do livro “Soil and water quality: an agenda for agriculture” em 1993, pelo Board on Agriculture of the National Research Council dos Estados Unidos da América.

A Soil Science Society of America (SSSA-1987) também fez menções conceituais; citado em Doran e Parkin (1994) como os “atributos inerentes aos solos que são inferidos a partir das características do solo ou por observações indiretas”. Esta definição é comparável ao

termo mais recente da capacidade do solo, definido como a capacidade intrínseca do solo para contribuir com os serviços do ecossistema, incluindo a produção de biomassa (BOUMA et al., 2017).

A definição e quantificação da qualidade do solo não é simples em decorrência da complexidade dos fatores envolvidos, e a escolha dos indicadores de qualidade do solo é discutida com relação à requisitos de indicadores e métodos para selecionar um conjunto de dados mínimo (NORFLEET et al., 2003).

A compilação dos indicadores mais frequentemente propostos é seguida de parágrafos sobre novos indicadores de qualidade do solo com potencial valor agregado e na interpretação dos valores dos indicadores, incluindo o potencial de agregação em um índice operacional de qualidade do solo e suas desvantagens (VALLE; CARRASCO, 2018).

Dos requisitos práticos, a facilidade de amostragem e medição é quase sempre mencionado, e confiabilidade e custo também são considerados. Por esses motivos, o número de indicadores de qualidade de solo que são realmente analisados em um determinado conjunto de amostras devem ser significativos para um conjunto mínimo de dados (O'SULLIVAN et al., 2017; VALLE; CARRASCO, 2018).

Através de levantamento em 62 periódicos, Bünemann et al. (2018) obtiveram que os indicadores da qualidade do solo mais frequentemente propostos abrangem categorias físicas, químicas e biológicas, nas quais se abrem várias possibilidades de exploração de dados. Dentre todos os indicadores levantados, a matéria orgânica, o carbono e o pH são os indicadores de qualidade mais propostos, seguidos de fósforo disponível, vários indicadores de armazenamento de água e densidade, todos mencionados em mais de 50% dos conjuntos de indicadores revisados.

Textura, potássio disponível e o nitrogênio total também foram usados com frequência em mais de 40% dos periódicos avaliados. Na maioria das publicações, pelo menos um indicador de cada categoria (física, química e biológica) está incluída (BÜNEMANN et al., 2018).

A seleção deve incluir indicadores sensíveis às mudanças induzidas pelo manejo nos processos do solo e nas suas funções (RAIESI, 2017), e a classificação dos indicadores representam atributos e processos inter-relacionados.

Desta forma, os indicadores selecionados para avaliar a qualidade estrutural do solo, descritos na Tabela 6, tem sua eficiência comprovada em estudos publicados, gerando dados passíveis de análise.

Tabela 6: Principais Indicadores da Qualidade do Solo, sua importância, interpretação, valores e referências (continua).

IQS	Importância	Interpretação	Valores de referência	Referências
Avaliação visual da estrutura do solo (técnica VESS)	indica a necessidade de adoção de alguma ação ou mudança no manejo para melhoras a curto prazo da qualidade do solo	*escores entre 1 e 2 indicaram boa qualidade estrutural, não havendo necessidade de mudanças no manejo, escores entre 2 e 3 indicaram qualidade estrutural moderada, havendo necessidade de mudanças no manejo para melhoras do solo a longo prazo, escores entre 3 e 5 indicaram qualidade estrutural pobre, havendo necessidade de mudanças no manejo para melhoras a curto prazo.	Escore entre 1 e 2,9 são aceitáveis, entre 3,0 e 3,9 requer acompanhamento cauteloso, entre 4 e 5 (ruins) requerem mudanças no manejo do solo.	BALL, MUNKHOLM, BATEY, (2013)
Porosidade total	responsável pela aeração do solo e fluxos mais rápidos de água, valor inferiores a referência interfere na taxa de fluxo de oxigênio em direção ao sistema radicular das plantas, afetando processos fisiológicos, metabólicos e o crescimento radicular.	A porosidade total deve variar de 0,30 a 0,70 m ³ m ⁻³ , condicionada pela estrutura do solo e matéria orgânica, influenciadas pelo uso e manejo do solo	índice não inferior a 0,10 m ³ m ⁻³	REICHARDT; TIMM, (2012) REICHERT; SUZUKI; REINERT, (2007) FERREIRA, (2010) RAMOS et al., (2019) LEÃO, (2002)
Densidade do solo	é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações influem em propriedades físico-hídricas tais como: a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração		Solos turfosos 0,2 a 0,4 g cm ⁻³ Humíferos 0,75 a 1,0 g cm ⁻³ Argilosos 1,00 a 1,25 g cm ⁻³ Arenosos 1,25 a 1,40 g cm ⁻³	TORMENA et al., (1998) KIEHL, (1979)

Tabela 6: Principais Indicadores da Qualidade do Solo, sua importância, interpretação, valores e referências (conclusão).

IQS	Importância	Interpretação	Valores de referência	Referências
Resistência tênsil de agregados	é um indicador robusto muito sensível na avaliação da condição estrutural do solo;	Valores elevados estão associados à maior demanda de energia pelos implementos agrícolas na sementeira,	Cambissolo Háplico 140 kPa para áreas com pasto 15 a 18 kPa para áreas sob mata	DEXTER, (1988) DEXTER; WATTS, (2000) TORMENA et al., (2008) FERREIRA et al., (2009)
	varia em função do teor de argila, teor de COT, formato do agregado, plantas de cobertura, manejo, umidade, etc.	indicam restrição na emergência das plântulas, redução no crescimento das raízes em camadas secas do solo e crescimento reduzido das plantas	Latossolo Vermelho distrófico 27 e 30 kPa na mata nativa 65 a 73 kPa para o pousio 75 a 77 kPa para o cultivo intensivo.	
Friabilidade	Sinônimo de qualidade física do solo, indicativa de sua condição estrutural.	não friável (<0,10) levemente friável (0,10-0,20) friável (0,20-0,50) muito friável (0,50-0,80) e mecanicamente instável (>0,80)	Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de uso 0,40 para áreas de mata 0,30 e 0,35 para áreas de pousio com braquiária por mais de 20 anos 0,30 a 0,34 para áreas sobre cultivo intensivo.	IMHOFF et al., (2002) UTOMO; DEXTER, (1981) WATTS; DEXTER, (1998) IMHOFF; SILVA; DEXTER, (2002) TORMENA et al., (2008)
	tendência de uma massa de solo em desfazer-se em agregados de menor tamanho sob aplicação de um estresse ou carga.			
Estabilidade de agregados	indica processos envolvidos na degradação do solo, pois influencia a infiltração, retenção de água, aeração e resistência à penetração de raízes, selamento e encrostamento superficial, erosão hídrica e eólica	Não se conhecem números absolutos para interpretar se um solo apresenta boas ou más propriedades físicas	Solos de baixa estabilidade apresentam índice de agregação (DMP) abaixo de 0,5mm, tais solos tornam-se impermeáveis quando irrigados, formando crostas a superfície Solos com DMP maiores que 0,5mm são considerados relativamente resistentes ao esboroamento e à dispersão.	COOPER, (2020) BERTOL et al., (2004) KATO et al., (2010)

2.3.2.5 Indicadores químicos

Os atributos químicos também exercem grande influência sobre os processos do solo, e a literatura, há muito tempo, evidencia que atributos como a matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca catiônica, entre outros, são indicadores efetivos da qualidade do solo (RAIJ, 1991). Merecem evidência o pH, teores de cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, saturação por bases, COT, CTC e fósforo.

Tabela 7: Principais Indicadores da Qualidade do Solo, sua importância, interpretação, valores e referências.

IQS	Importância	Interpretação	Referência
pH (acidez ativa)	concentração hidrogeniônica em solução	*entre 2 e 3 indicam presença de ácidos livres provenientes da pirita - quando oxidada, passa para H ₂ SO ₄ *entre 4 e 5, indica a presença de alumínio trocável *de 5,2 a 5,3 o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e não causa mais danos as raízes	CANTARUTTI et al., (2007)
Al ³⁺ (Acidez trocável ou alumínio trocável)	influencia o desenvolvimento das raízes	Representa danos com índices maiores que 5 mmol _c dm ⁻³	SOBRAL et al., (2015)
V% (saturação por bases)	é a proporção da capacidade de troca catiônica ocupada pelas bases	*Solos com V% maiores que 70% indicam que não há necessidade de calagem *Solos com V% menor que 50%, têm cargas ocupadas por H ou Al e necessitam correção	NOVAIS et al., (2007) RONQUIM, (2010)
K (potássio)		*Teores altos de K indicam presença de minerais primários e pouco intemperismo (solos de regiões mais secas) *Teores mais baixos de potássio indicam solos mais intemperizados	SOBRAL et al., (2015)
CTC (capacidade de troca catiônica)		*Valores maiores do que 150 mmol _c dm ⁻³ indicam presença de argila 2:1 na fração argila. *Valores menores que 50 mmol _c dm ⁻³ indicam baixo teor de argila ou predominância de argila 1:1 (caulinita)	SPOSITO, (2008) RONQUIN, (2010)
P (fósforo)	teores de fósforo no solo estimados por Mehlich-1 considera o teor de argila	* Em solos arenosos o nível crítico (valor acima do qual a probabilidade de resposta é baixa) é mais alto que em solos argilosos *Em solos argilosos, como o poder tampão é mais alto, o extrator é consumido e a capacidade de extrair fósforo diminui	CANTARUTTI et al., (2007)

Os indicadores químicos, relacionam-se com a disponibilidade dos nutrientes no solo, analisados através de métodos selecionados com base na correlação entre as quantidades do nutriente extraídas do solo e as quantidades do nutriente absorvidos por plantas indicadoras.

Os resultados da análise de solo, mesmo obtido por um método que se correlacione com o crescimento da planta, tem sua interpretação limitada caso não se disponha dos padrões de comparação, e este procedimento foi calibrado segundo a tabela 8, que mostra a relação entre os teores de argila e os níveis críticos de fósforo, e os valores utilizados para interpretar os resultados de análise de solo utilizados nesta tese.

Tabela 8: Indicadores de referência para a interpretação dos IQS-químicos.

Argila g kg ⁻¹	Classe textural	Teores de P no solo		
		Baixo	Médio mg dm ⁻³	Adequado
<150	Arensa	0-10,0	10,1-20	>20
150 - 350	Média	0-7,0	7,1-15	>15
>300 - < 600	Argilosa	0-4,0	4,1-8,0	>8
pH	adimensional	< 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Al ³⁺	mmol _c dm ⁻³	< 5,0	5 - 10	> 10
Ca	mmol _c dm ⁻³	< 16	16 -30	> 30
Mg	mmol _c dm ⁻³	< 4	4 – 10	> 10
K	mg dm ⁻³	< 30	30 - 60	> 60
CTC	mmol _c dm ⁻³	< 20	20 – 40	> 40
V%	mg dm ⁻³	< 50	50 - 70	> 70
M.O.	%	1 a 5 em solos minerais		

Fonte: Adaptado - Documento 206-EMBRAPA.

3 EFEITO DO BIOCARVÃO ASSOCIADO A DOSES DE FERTILIZANTES, NA QUALIDADE ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM PLANTIO DE EUCALIPTO.

RESUMO

O biocarvão em produção florestal é pouco explorado, e se combinado a níveis de fertilização, pode mostrar ganhos na qualidade do solo, além da vantagem econômica ao permitir possível redução no uso de fertilizantes. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos que uma baixa dose de biocarvão, associada a níveis de fertilização, pode causar na qualidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, em 0-0,1 e 0,1-0,2m, através de análise dos atributos físicos (avaliação visual da estrutura do solo, densidade e porosidade total, resistência tênsil e friabilidade de agregados e estabilidade de agregados por via seca e úmida), atributos químicos (pH, Ca, Mg, Al, P e K, V%, CTC, COT e EC) e biológico (CL) em produção florestal. O esquema experimental foi em faixas, com níveis de fertilização em FP=fertilização padrão comercial para eucalipto (100% de adubação), FR=fertilização reduzida (80% de fertilização padrão) e SF=sem adubação, combinados ou não a uma dose de biocarvão (3,23 Mg ha⁻¹), comparados a uma área de referência. Sendo a ANOVA significativa, as médias foram comparadas por Dunnett com a normalidade testada por Shapiro-Wilk ambos a 5%. Os resultados mostraram que para a maioria dos indicadores não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a qualidade do solo. Desta forma concluiu-se que o efeito do biocarvão sobre os indicadores de qualidade do Latossolo, sob sistema perene, em plantio de eucalipto, a curto prazo e em dose reduzida, foram mínimos.

Palavras chaves: Agregação. Biocarvão. Atributos físicos. Atributos Químicos. Estrutura do solo.

ABSTRACT

Biochar in forest production is little explored, and combined with fertilization levels can show gains in soil quality, as well as economic advantage by allowing possible reduction in fertilizer use. Thus, the aim of this study was to evaluate the effects of a low biochar dose, with fertilization levels, can cause the quality of a Red-Yellow dystrophic Latosol, in 0-0,1 and 0,1-0,2m, through analysis of physical attributes (visual assessment of soil structure, total density and porosity, tensile strength, friability of aggregates and aggregate stability by dry and wet), chemical attributes (pH, Ca, Mg, Al, P and K, V%, CTC, TOC and EC) and biological (CL) in

forest production. The experimental scheme was in bands, with fertilization levels in FP = standard commercial fertilization for eucalyptus (100% fertilization), FR = reduced fertilization (80% standard fertilization) and SF = without fertilization, combined or not with a biochar dose (3,23 Mg ha⁻¹), compared to a reference area. Since ANOVA was significant, the means were compared by Dunnett with the normality tested by Shapiro-Wilk, both at 5%. The results showed that for most indicators there was no significant effect of treatments on soil quality. Thus, it was concluded that biochar effect on Latosol quality indicators, under a perennial system, in eucalyptus plantation, in short term and in a reduced dose, were minimal.

Key words: Aggregation. Biochar. Physical attributes. Chemical Attributes. Soil structure.

3.1 INTRODUÇÃO

O potencial de indução na melhora da qualidade do solo, o processo de produção relativamente simples e pouco poluente, e a facilidade de obtenção de biomassa (CARVALHO et al., 2018), associados a níveis de fertilização que não causem perdas na produção, são pontos fortes que sustentam a utilização do biocarvão na cadeia produtiva florestal.

O biocarvão, quando aplicado ao solo, reage com a matéria orgânica e com as partículas de solo, melhorando os atributos físico-químicos e biológicos (DOWNIE; CROSKY; MUNROE, 2009), influenciando diretamente na qualidade do solo (ŠIMANSKÝ, 2016; TRAZZI et al., 2018), com melhor desenvolvimento e maior produtividade das plantas.

As aplicações combinadas de biocarvão e fertilizantes podem ser promissoras, melhorando não apenas os atributos físico-químicos e biológicos do solo, ou seja, a qualidade do solo, bem como reduzindo custos econômicos, pois este custo é um dos principais gargalos na produção florestal, tendo este aumento de preços dos fertilizantes em 2020, alcançado mais de 35% de aumento em relação a 2018 (BRASIL, 2020).

A literatura não preconiza uma única dose (BRASIL, 2020), visto a necessidade de considerar fatores como o tipo de biomassa utilizada, a qualidade da biomassa, qual produto final desejado (em função da temperatura e tempo de pirólise), até o tipo de solo em que o biocarvão será aplicado e qual a finalidade principal da aplicação.

Entretanto, a literatura consultada relata que os maiores ganhos de produtividade descritos, apontam para a aplicação de 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão (JEFFREY et al., 2011), porém, Joseph et al. (2013) contestam a utilização de altas doses pela inviabilidade econômica (US\$300-700 por Mg). Ao analisar o custo de aplicação e incorporação do biocarvão no solo,

Blackwell et al. (2010), concluíram que a utilização será interessante quando o custo for próximo de U\$170 ha⁻¹, alavancado pelo aumento de produtividade em 10%, durante 12 anos.

Desta forma, a possibilidade de redução no uso de fertilizantes, sem que ocorra a perda de produtividade da floresta, pode se tornar um ponto forte da utilização do biocarvão em produção florestal.

Frente ao exposto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos que uma baixa dose de biocarvão, associada ou não a níveis de fertilização, podem causar na qualidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, através de análise de atributos físico-químicos e biológico, em produção florestal, baseado nas hipóteses de que a qualidade do solo pode melhorar com a aplicação de biocarvão; os níveis de fertilização poderão apresentar respostas distintas na qualidade do solo, e, os atributos químicos serão capazes de mostrar a influência do biocarvão no solo.

Para tal, buscou-se distinguir os efeitos da combinação do biocarvão aos níveis de fertilização na qualidade do solo, através dos (i) atributos físicos (análise visual da estrutura do solo, densidade do solo e porosidade total, resistência tênsil de agregados e friabilidade); (ii) atributos químicos (teores de matéria orgânica, carbono orgânico total, carbono lábil e estoque de carbono, estabilidade de agregados e análise química dos principais indicadores); e (iii) atributo biológico (determinação do CL).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto ocorreu em São Jerônimo da Serra (PR), em área pertencente a Urophylla Agroflorestal Ltda associada à SLB do Brasil, em parceria com Embrapa Florestas e o Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A pesquisa fundamentou-se na obtenção de dados referentes a aplicação de biocarvão em Latossolo sob plantio de eucalipto, visando aspectos econômico-ambientais, desenvolvimento e produtividade da floresta, como também, verificar o efeito do biocarvão associado a níveis de fertilização na qualidade do solo, através da análise de atributos físico-químicos e biológicos.

3.2.1 Caracterização da Área Experimental

Em janeiro de 2017, os responsáveis pelo projeto, funcionários da empresa, pesquisadores da Embrapa Florestas e professores da UEPG, delimitaram uma área de pastagem

com *Brachiaria sp.*, na Fazenda Esperança, em aproximados 1,06 ha, em altitude média de 1.114 m, sob coordenadas 50°39'14,022" O e 23°47'32,295" S (Fig. 1).

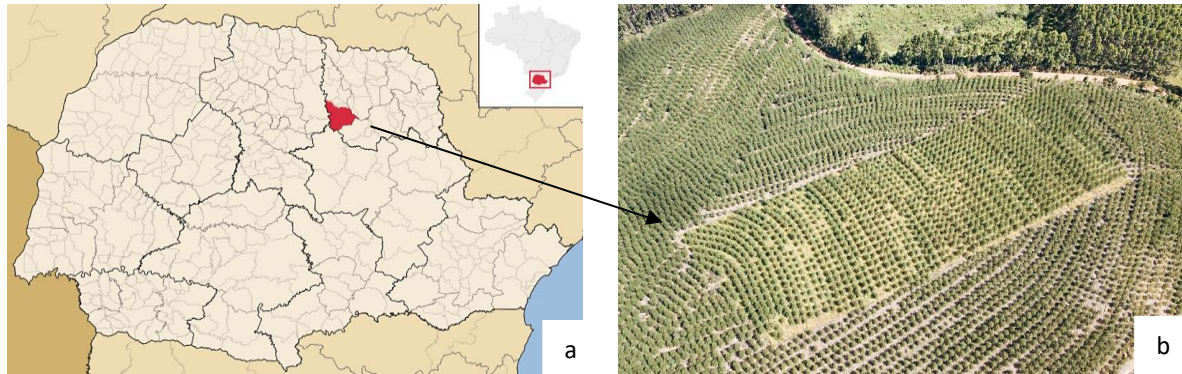


Figura 1: (a) Localização de São Jerônimo da Serra – PR. (b) Área do experimento em São Jerônimo da Serra.

A classificação pedológica foi LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (SANTOS et al., 2018), sob clima predominante Cfa (Köppen), subtropical úmido, mesotérmico (ALVARES et al., 2013) e temperatura média anual em 22°C, com precipitação pluviométrica anual de 1510mm (Fig. 2).

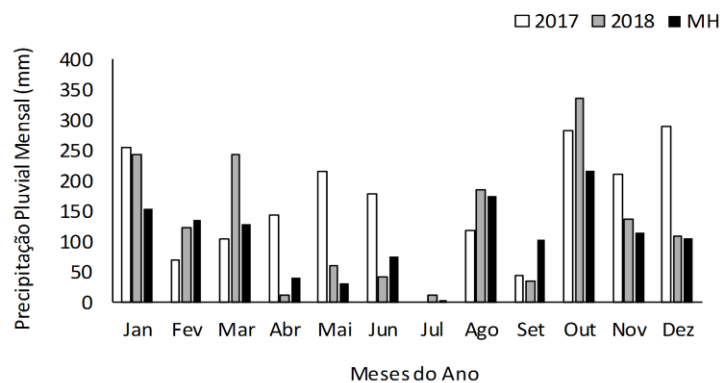


Figura 2: Precipitação pluvial para os anos 2017 e 2018 e média histórica (MH). São Jerônimo da Serra (PR).
Fonte: Instituto das Águas do Paraná: www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br.

O relevo da área experimental foi caracterizado em classes de declividade: plano (0-3%), suave (3-6%), suave ondulado a ondulado (6-10%), acompanhando o relevo da região, bastante acidentado, com cotas variando de 1.170m na borda das escarpas até 500m nas margens do rio Tibagi. São comuns desníveis com mais de 200m (SPOLADORE; COTTAS, 2019). A declividade foi considerada em função da possível movimentação do biocarvão, visando a interpretação dos resultados.

A caracterização química inicial foi realizada mediante coleta de amostras de solo indeformadas (n=48), ao longo da declividade, em profundidade de 0-0,2m. A média das observações, fornecidas por Embrapa Florestas encontra-se na Tabela 9. Pelas análises químicas definiu-se a dose de calcário (1250 kg ha⁻¹ visando o eucalipto), aplicado a lanço (em área total) em 8 de julho de 2017.

Tabela 9: Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO Amarelo (0-0,2m). Instalação do experimento em 2017- São Jerônimo da Serra (PR).

pH	CTC	H+Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	P	CO	V	m
	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----%	-----
4,16	123,5	107,2	16,8	9,6	4,7	1,7	16,0	3,23	3,14	12,88	53,40

pH = potencial hidrogeniônico em CaCl₂; H+Al = acidez potencial; Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ = alumínio, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, respectivamente; CTC_(pH 7,0) = capacidade de troca de cátions potencial; P= fósforo disponível (Melich-1); CO= carbono orgânico (Walkley-Black); V e m= saturação por bases e saturação por alumínio, respectivamente.

Fonte: Embrapa Florestas, 2017.

A caracterização da qualidade estrutural inicial foi realizada através de análise visual da estrutura do solo (técnica VESS), com escores entre 1,5 e 1,9 para os blocos.

3.2.2 Manejo da Área

O preparo da área foi realizado com a utilização de grade, em duas passadas, com faixa de trabalho em 1m de largura. Os tratamentos com biocarvão receberam a aplicação de 3,23Mg ha⁻¹ na linha de transplântio, equivalendo a 1kg de biocarvão por planta, incorporado a 0,15m de profundidade. A dose foi determinada conforme a biomassa disponível, proveniente da própria floresta, basicamente produto de podas e desbastes dos eucaliptos da propriedade. Após realização de sulcos, na linha de plantio, foi realizado o transplântio dos clones (clone 144) de *Eucalyptus urograndis*, no dia 7 de novembro de 2017, em espaçamento de 3m entre linhas e 1,5m entre plantas. Pela declividade do terreno e curvas em nível, o espaçamento sofreu alterações para mais ou para menos. Após três meses houve a retirada de metade das mudas para análises realizadas por Embrapa Florestas, resultando em uma população de 36 plantas distribuídas em 4 linhas para cada parcela.

O biocarvão aplicado ao solo foi obtido de cavacos de eucalipto pirolisados a 450° C por 8 horas, a classificação das dimensões foi pela análise granulométrica, realizada a cargo dos pesquisadores da Embrapa Florestas (Fig. 3). A composição do biocarvão foi caracterizada com 8,34% de cinzas; 3,63% de umidade, 27,75% de voláteis, 0,16 Mg m³ de densidade e 1,57

Mg m³ de densidade de partículas, sendo classificado como Classe I (boa qualidade) pelo padrão alemão.

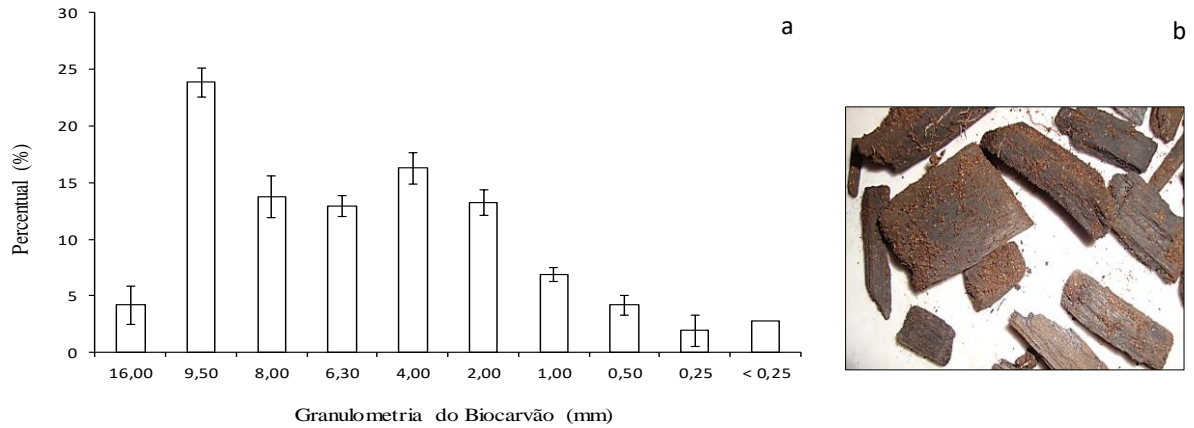


Figura 3: (a) Distribuição percentual granulométrica das partículas de biocarvão. (b) Biocarvão aplicado. Fonte: Embrapa Florestas, 2018.

A aplicação de fertilizantes foi realizada após transplântio das mudas, aos 15 dias, 90 dias e 9 meses. Após o delineamento experimental com quatro blocos ter sido definido para as primeiras avaliações fisiológicas e de produtividade das plantas, optou-se por realizar análise textural da área, em função da declividade presente. Foram coletadas amostras indeformadas em 0-0,2m (n=384), analisadas no Laboratório de Física de Solos na ESALQ. As médias para argila, areia e silte encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10: Análise textural do LATOSSOLO VERMELHO Amarelo (0-0,2m).

Bloco	ARGILA			AREIA			SILTE		
	CB	SB	Média blocos	CB	SB	Média blocos	CB	SB	Média blocos
B1	465	461	463	409	452	430	126	87	106
B2	457	395	426	448	477	462	95	128	111
B3	346	310	328	550	564	557	103	126	114
B4	315	282	298	572	633	602	113	85	99
Média	396	362	-	495	531	-	109	106	-

Fonte: Resultados gerados pela equipe UEPG de pesquisa do projeto.

Para maior confiabilidade nos resultados referentes as análises e diretamente relacionados a qualidade estrutural, considerou-se os teores de argila presentes nos blocos, agrupando-os conforme a similaridade. Desta forma, os quatro blocos iniciais, passaram a ser três (Fig. 4), ou seja, os blocos 1 e 2 passaram a constituir apenas um bloco pela similaridade dos teores de argila.

3.2.3 Delineamento Experimental e Amostragens

O esquema experimental foi conduzido em faixas (CB= com biocarvão e SB= sem biocarvão) com três tratamentos: FP= fertilização padrão comercial (100% de adubação-150g planta⁻¹ de NPK 04 42 06 aos 15 dias, 200g planta⁻¹ de 15 05 30 + 1% de boro e zinco aos 90 dias e 110g planta⁻¹ de KCl aos 9 meses); FR= fertilização reduzida (80% de fertilização ou 20% de redução da adubação padrão, dose que não causaria perda na produção) e SF= sem fertilizante (0% de adubação), combinados ou não ao biocarvão (dose de 3,23Mg ha⁻¹) na linha de transplanteio (Fig. 4), em duas profundidades e duas repetições por parcela. A dose de biocarvão foi determinada em função do material disponível e produzido pela empresa.

As parcelas apresentaram aproximadamente 13,5mx12m, com área aproximada de 162m². Utilizou-se uma área de referência (AR) que correspondeu ao tempo zero (condição do solo sob pastagem, antes da instalação do experimento).

As amostras foram coletadas em setembro e outubro de 2018, tempo em que as plantas de eucalipto estavam com 11 meses e o biocarvão apresentava o mesmo tempo de incorporação ao solo. As oito plantas centrais das parcelas foram marcadas para avaliações de parâmetros fisiológicos, descartando o efeito de bordadura.

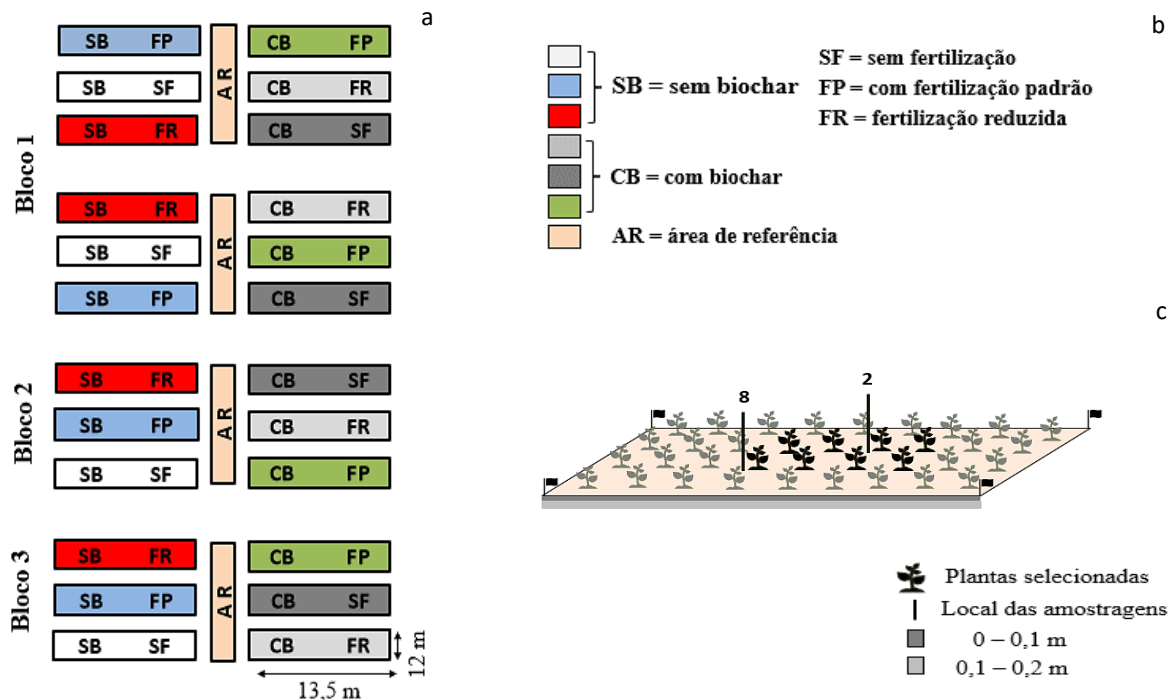


Figura 4: Disposição das unidades experimentais.

a) Faixas CB (com biocarvão) localizadas a direita e faixas SB (sem biocarvão) localizadas a esquerda. b) Legenda. c) Local das amostragens, tendo como referência as plantas centrais sorteadas.

Após numeradas e sorteadas, as plantas 2 e 8 forneceram referência do local das amostragens do solo. Blocos indeformados (n=2) foram retirados de minitrincheiras localizadas a esquerda destas plantas (Fig. 4c).

O primeiro bloco forneceu material para avaliar a qualidade visual da estrutura do solo. Os agregados nele contidos serviram para a determinar a resistência tênsil dos agregados e friabilidade (Fig. 5a).

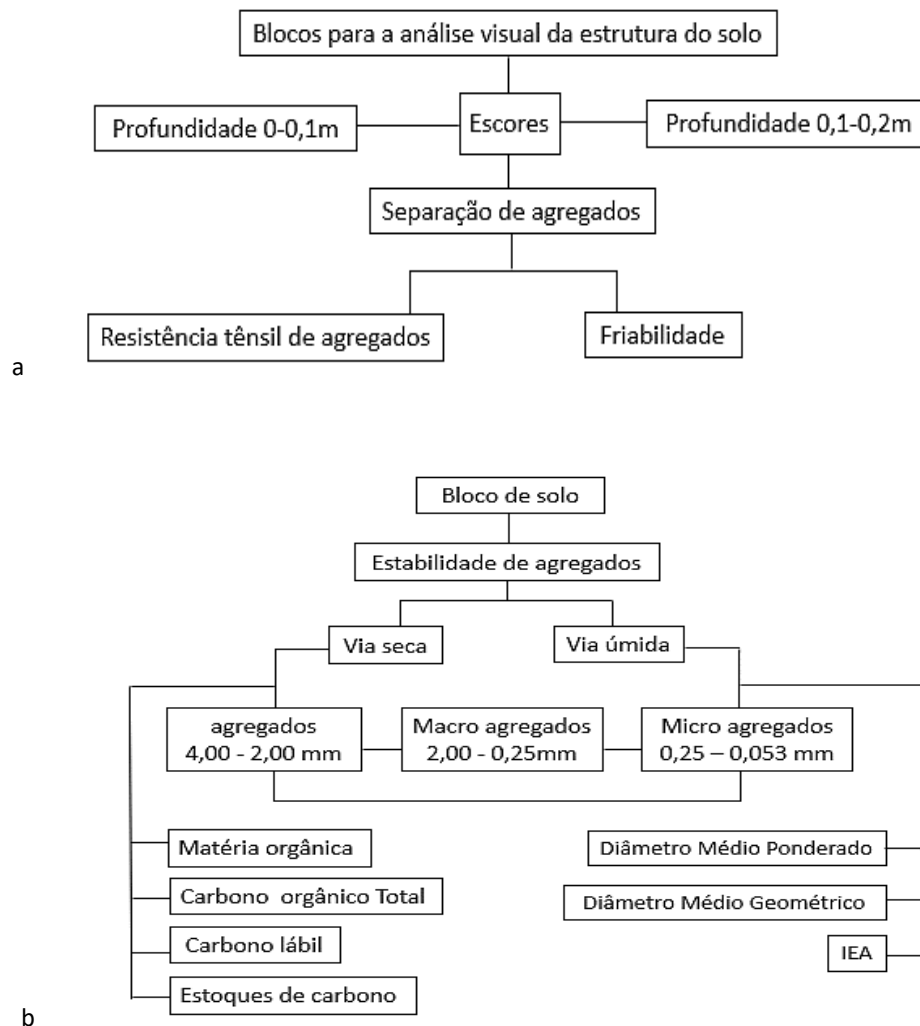


Figura 5: Diagrama de atividades realizadas com os blocos de solo coletados. (a) Avaliações a partir da análise visual da estrutura do solo. (b) Avaliações realizadas para determinar a qualidade estrutural do solo.

O segundo bloco foi utilizado para determinar os índices de estabilidade de agregados, teores carbono orgânico total e a caracterização química (Fig. 5b). Ao total foram coletados 112 blocos (16 blocos da AR= área correspondente ao tempo zero do experimento e 96 blocos das parcelas).

3.2.4 Análises Realizadas

3.2.4.1 Análise visual da estrutura do solo

A remoção de blocos indeformados de solo seguiu a técnica VESS proposta por Ball; Batey; Munkholm, (2007), utilizando a chave classificatória para a Avaliação Visual da Estrutura do solo como fonte de interpretação. Foram abertas minitrincheiras (0,3x0,4x0,3m) com pá reta de onde foram removidos os blocos (0,15m de largura x 0,25m de profundidade x 0,10m de espessura) em cada parcela.

A altura de cada camada foi determinada nos blocos (C_1 e C_2), perceptíveis pela estrutura distinta. O esboroamento do bloco ocorreu nas linhas de fraqueza, e posteriormente realizou-se o mesmo procedimento com os agregados em suas linhas de fraqueza naturais. Os escores (1 a 5) para as camadas foram multiplicados pela espessura e o produto final foi dividido pela profundidade total, fornecendo o escore da camada. Havendo a soma dos escores das camadas, pode-se obter o escore do bloco (Fig. 6).

A observação das camadas permitiu a comparação com a chave classificatória fornecendo os escores. O escore 1 (friável): definido por agregados que quebram facilmente com os dedos; escore 2 (intacto): agregados facilmente rompidos com a mão; escore 3 (firme): representou o rompimento da maioria dos agregados com a mão; escore 4 (compactado): representou agregados que exigem esforço considerável para serem rompidos com a mão e o escore 5 (muito compactado) indicou agregados muito difíceis de serem quebrados com a mão.

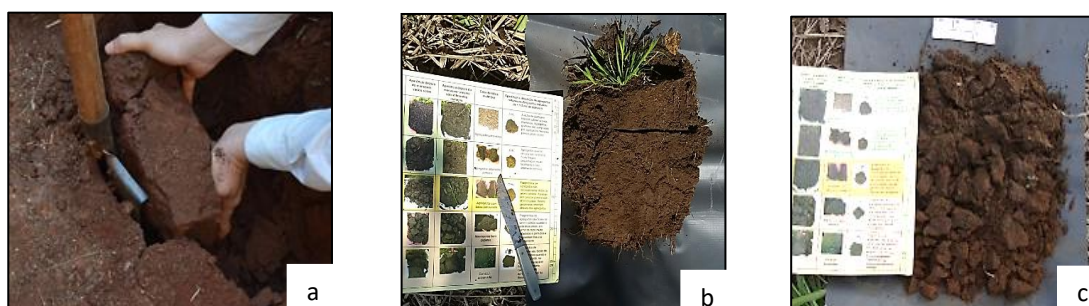


Figura 6: Avaliação visual da estrutura do solo pelo método VESS. Remoção do bloco (a). Preparo do bloco e determinação das camadas e dos escores (b) e (c).

Após obter o escore do bloco foi possível identificar a necessidade ou não de adoção de alguma ação, conforme os indicativos a seguir: (1) escores entre 1 e 2 indicaram boa qualidade estrutural, não havendo necessidade de mudanças no manejo, (2) escores entre 2 e 3 indicaram qualidade estrutural moderada, havendo necessidade de mudanças no manejo para

melhoras do solo a longo prazo, (3) escores entre 3 e 5 indicaram qualidade estrutural pobre, havendo necessidade de mudanças no manejo para melhoras a curto prazo (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007). De modo geral, os escores entre 1-3 são geralmente aceitáveis (bons) enquanto notas de 4 a 5 (ruins) requerem mudanças no manejo do solo.

3.2.4.2 Resistência tênsil e friabilidade de agregados do solo

Do bloco utilizado para análise visual da estrutura do solo, foram separados 10 agregados em cada camada, os quais foram classificados utilizando-se peneiras de malha 19 e 12,5mm, com diâmetro médio de 15,75mm, para as duas profundidades (IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002). Os agregados foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 40°C por 24 h para homogeneização da umidade. A seguir cada agregado foi pesado em balança digital de precisão, e submetido a teste de tensão indireta para determinação da resistência tênsil dos agregados através de um dinamômetro eletrônico linear (Lutron FG) com célula de carga nominal para 20kgf. As leituras das medidas foram determinadas com os agregados sendo posicionados de forma mais estável possível, entre duas placas metálicas; sendo a inferior fixa e a superior móvel.

A placa móvel foi responsável pela aplicação progressiva da força sobre cada agregado até a ruptura, ou seja, até a formação de uma fissura contínua ao longo do diâmetro polar do agregado, determinada em pico máximo pelo aparelho. A haste em movimento descendente apresentou velocidade constante de 0,03mm s⁻¹ até a ruptura.

Após a determinação da força necessária para a ruptura dos agregados, a massa dos dez agregados componentes de cada amostra foi levada à estufa com circulação forçada de ar a 105°C por 24 h para determinação da umidade. Após este período as amostras foram novamente pesadas e a umidade foi determinada pelo método gravimétrico conforme equação:

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms}$$

U = umidade (g g⁻¹), Mu = massa úmida (g), Ms = massa seca (g).

A força necessária para fraturar cada agregado registrada pelo equipamento foi utilizada para o cálculo da resistência tênsil de agregados, conforme descrito por Dexter e Kroesbergen (1985):

$$RT = 0,576 \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

RT = resistência tênsil (kPa); 0,576 = coeficiente de proporcionalidade resultante da relação entre a carga compressiva aplicada e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P = força necessária para a quebra tênsil do agregado (N); D = diâmetro efetivo (mm).

O diâmetro efetivo (D) foi calculado de acordo com Watts e Dexter (1998):

$$D = DM \left(\frac{M}{M_o} \right)^{1/2}$$

D= diâmetro efetivo (mm); DM = diâmetro médio do agregado (mm), igual à média dos tamanhos das peneiras utilizadas para obter os agregados; M = massa do agregado individual (g); M_o = média dos agregados na população (g). O diâmetro médio dos agregados foi considerado igual à média dos tamanhos das peneiras [(19+12,5) /2] utilizadas para selecionar os agregados.

A friabilidade do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação de acordo com Watts e Dexter (1998):

$$F = \frac{\sigma Y}{Y} \pm \frac{\sigma Y}{Y\sqrt{2n}}$$

F = friabilidade do solo; σY = desvio-padrão dos valores medidos de resistência tênsil; Y = média dos valores de resistência tênsil; n = número de repetições.

O segundo termo da equação se refere ao erro-padrão do coeficiente de variação. As classes de friabilidade utilizadas foram adotadas conforme Imhoff; Silva; Dexter (2002): não friável (F<0,10), ligeiramente friável (F= 0,10 a 0,20), friável (F= 0,20 a 0,50), muito friável (F= 0,50 a 0,80) e mecanicamente instável (F>0,80).

3.2.4.3 Estabilidade de agregados

O segundo bloco de solo coletado em campo, foi seco a sombra por 48 h, com posterior segmentação vertical, em sua metade (Fig. 7a) e horizontal conforme a profundidade determinada pela avaliação visual da estrutura do solo, com a finalidade de otimizar as análises realizadas.

Cada quarto do bloco foi submetido a procedimento de queda (SHEPHERD, 2000), em 1 metro de altura, em até duas repetições, a fim de padronizar a obtenção das amostras utilizadas na estabilidade de agregados (Fig. 7b).

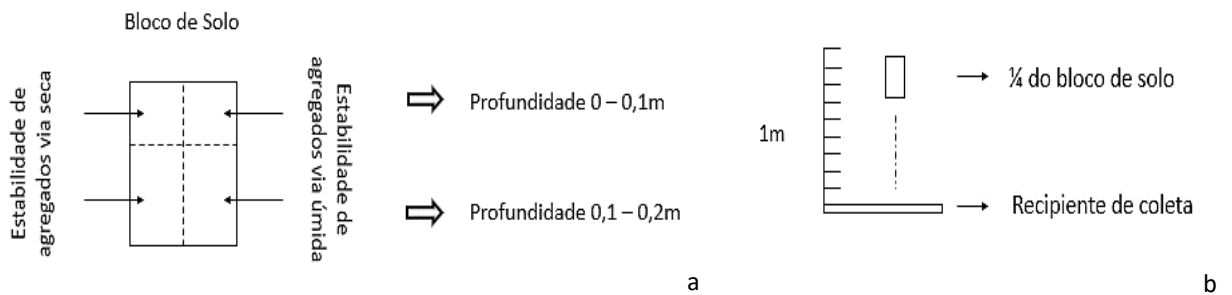


Figura 7: Preparo do bloco para realizar a estabilidade de agregados. (a) Fragmentação dos blocos. (b) Fragmentação dos quartos do bloco.

Cada quarto forneceu amostras para a realização da estabilidade de agregados por via seca e por via úmida (Fig. 8).

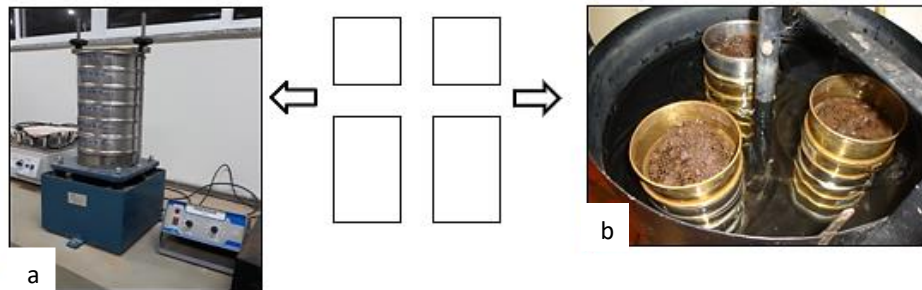


Figura 8: Análises dos quartos de cada bloco via seca (a) e via úmida (b).

Após fragmentação, 400g de solo para cada profundidade foram passadas em peneira de 9,52mm de abertura de malha visando selecionar agregados maiores, excluindo-se extremidades do bloco, fragmentos de plantas, pedras, cascalhos e/ou resíduos retidos na peneira (SALTON et al., 2017).

3.2.4.4 Estabilidade de agregados - via úmida

A estabilidade de agregados em água seguiu o método descrito por Kiehl (1979) com modificações na malha das peneiras. O tamisamento foi realizado em um recipiente cilíndrico capaz de receber três jogos de peneiras, realizando análises em triplicata.

Cada conjunto de peneiras apresentou abertura de malha em 4,00mm, 2,00mm, 1,00mm, 0,5mm, 0,25mm e 0,053mm. O solo retido em cada peneira foi quantificado e classificado conforme o tamanho dos agregados. O processo de tamisagem de cada amostra seguiu rotina de separação de 4 subamostras (100g cada), uma para cada jogo de peneiras ou repetições e a última para determinação da umidade gravimétrica.

A saturação prévia, por capilaridade ocorreu com a elevação do nível de água em recipiente contendo as amostras, até completo umedecimento do papel filtro e das amostras. Em cada jogo de peneiras, as amostras foram colocadas na maior malha, sobre um papel filtro, com acoplamento das peneiras ao suporte oscilatório do tamisador. Com auxílio de pinça, houve a remoção do papel filtro e jatos de água de baixa pressão, removeram todo e qualquer resíduo de solo. O tamisador foi acionado e os movimentos ocorreram por 15min, em movimento vertical de aproximadamente 42 oscilações minuto⁻¹.

O solo retido em cada peneira foi transferido para recipientes de peso conhecido e identificado. Posteriormente foram levados a estufa para secagem, com pesagem após resfriamento. Calculou-se a média entre as triplicatas de cada classe e os valores obtidos foram utilizados para cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA).

O DMP e DMG seguiu metodologia descrita por Castro Filho; Muzilli; Podanoschi (1998), calculado segundo as equações:

$$DMP = \sum(x_i \cdot y_i)$$

$$DMG = \exp\left\{ \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i} \right\}$$

x_i = tamanho médio das classes de agregados (mm); y_i = proporção de cada uma das classes de tamanhos de agregados (g) em relação a amostra total; w_i = peso dos agregados de cada classe (g); w_{25} = peso dos agregados da classe menor que 0,25 mm (g).

O IEA seguiu metodologia descrita por Castro Filho; Muzilli; Podanoschi (1998) segundo cálculo a seguir:

$$IEA(\%) = \left(\frac{\text{peso dos agregados secos} - w_{25} - \text{areia}}{\text{peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) * 100$$

O valor da areia, utilizado no cálculo do IEA, foi obtido pelas frações granulométricas (argila, silte e areia) determinadas pelo método do densímetro.

3.2.4.5 Estabilidade de agregados - via seca

Amostras de 100 g (secas ao ar, passadas em peneira de 9,52mm) foram colocadas em jogo de peneiras, com as mesmas malhas utilizadas na estabilidade via úmida acopladas a um fundo metálico de aproximadamente 0,2m de diâmetro. A classificação dos agregados foi

realizada através de agitador mecânico vibratório (Contenco, modelo I-1016-A), em tempo de 15min, e oscilação minuto^{-1} correspondendo a 30% (SALTON et al., 2017).

O agitador caracteriza-se como Rotap, com velocidade controlada e movimento rotatório com vibração. Após término da operação, o conjunto foi retirado do aparelho e os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para recipientes de alumínio com peso conhecido e identificado. As amostras em triplicata, forneceram a média para as classes de agregados retidos nas peneiras (Fig. 9).

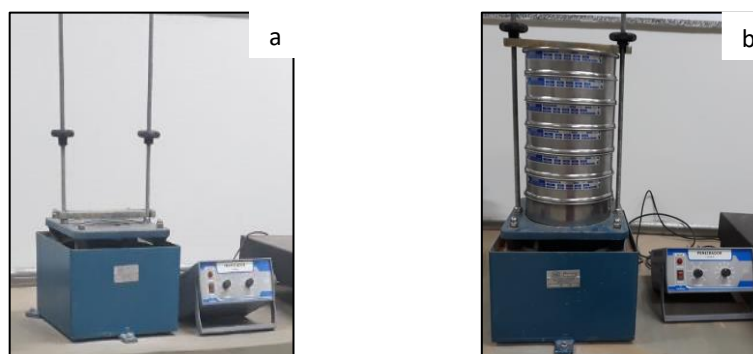


Figura 9: Agitador vertical. (a) Agitador sem as peneiras. (b) Agitador com as peneiras.

A porcentagem de agregados retidos por classe, foi registrada, e posteriormente foram calculados o DMP_s, DMG_s e IEA_s.

3.2.4.6 Carbono orgânico total

Determinação pelo Método da Mufla

A determinação de matéria orgânica seguiu o método de Goldin (1987) com modificações: secagem prévia das amostras em estufa a 105° por 24 h, para eliminar a água presente nos resíduos, com resfriamento em dessecador e pesagem. Após este período os cadinhos com as amostras foram acondicionados em mufla em temperatura de 500° por 5 h. O conjunto cadinho+cinzas foi acondicionado em dessecador e em seguida pesado. O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura da mufla de 105° a 500° graus conforme equação:

$$\text{MO (\%)} = (P - (T - C)) * 100 / P$$

P = peso da amostra após aquecida (105°C) (g); T = peso: cinza+cadinho (g); C = tara do cadinho (g).

A conversão em teor de carbono, utilizou o fator 1,724 proposto por Van Bemmelen, pois se admite que o carbono orgânico participa com 58% na composição da matéria orgânica (TEIXEIRA et al., 2017). Esta metodologia foi eleita após teste, em função dos resultados observados para o carbono orgânico total, em que ocorreu pouca variação na massa final das amostras, para as repetições, em outras metodologias testadas.

A metodologia de Goldin (1987) preconiza a secagem prévia para retirada da água higroscópica, logo após, sendo a amostra submetida a queima por ignição para perda de massa, resultando em uma determinação mais acurada com relação aos teores de carbono presentes na amostra.

3.2.4.7 Carbono lábil

Obtenção pela oxidação com Permanganato de Potássio (KMnO_4 - 60mM)

Culmann et al. (2012) estudando o método de extração de carbono por permanganato de potássio proposto por Weil et al. (2003), observou que o carbono extraído estaria estreitamente relacionado com frações menores ($<0,053\text{mm}$) e mais grosseiras ($>1,7\text{ g cm}^{-3}$) de carbono orgânico particulado indicando um grau de decomposição de carbono lábil mais evoluído, sendo um bom indicador por estar estreitamente relacionado com as demais frações lábeis de carbono e também com o conteúdo de biomassa microbiana.

Inicialmente pesou-se 9,48g de KMnO_4 , dissolvido em 600ml de água ultra pura através de agitador (15min). Após completa dissolução, acrescentou-se o restante de água ultra pura para completar 1 L de solução, tomando-se o cuidado de proteger a solução da luz, para não ocorrerem alterações que pudessem interferir em posterior leitura (BLAIR; ROD, 1995).

Pesou-se 3g de solo, de cada tratamento, acondicionando em tubos plásticos de centrífuga com tampa e capacidade para 15ml, e acréscimo de 10ml da solução de permanganato de potássio previamente preparada. As amostras identificadas, foram agitadas em mesa horizontal (15min a 200rpm), com posterior centrifugação (20min a 4000rpm).

Decorrido o processo, pipetou-se uma alíquota de sobrenadante (2ml) de cada tubo, que foram transferidos para um Erlenmeyer com capacidade de 125ml, completando o mesmo com água ultra pura. A leitura em espectrofotômetro ocorreu após determinação da curva padrão, com as calibrações: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; e 2,2 g de solução colocadas em Erlenmeyer (125ml), completados com água ultra pura (Fig. 10).

A prova em branco foi realizada em triplicata com 2ml de permanganato de potássio em água ultrapura, para fornecer quanto temos de absorvância em 565nm para o permanganato de potássio, sem a presença de solo. Em cálculos finais, esta média é subtraída da quantidade de permanganato e carbono, obtendo então o resultado final através da equação:

$$C \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = ((\text{leitura PB} - \text{leitura KMnO}_4) \times (100/3) \times 10 \times 9) / 1000$$

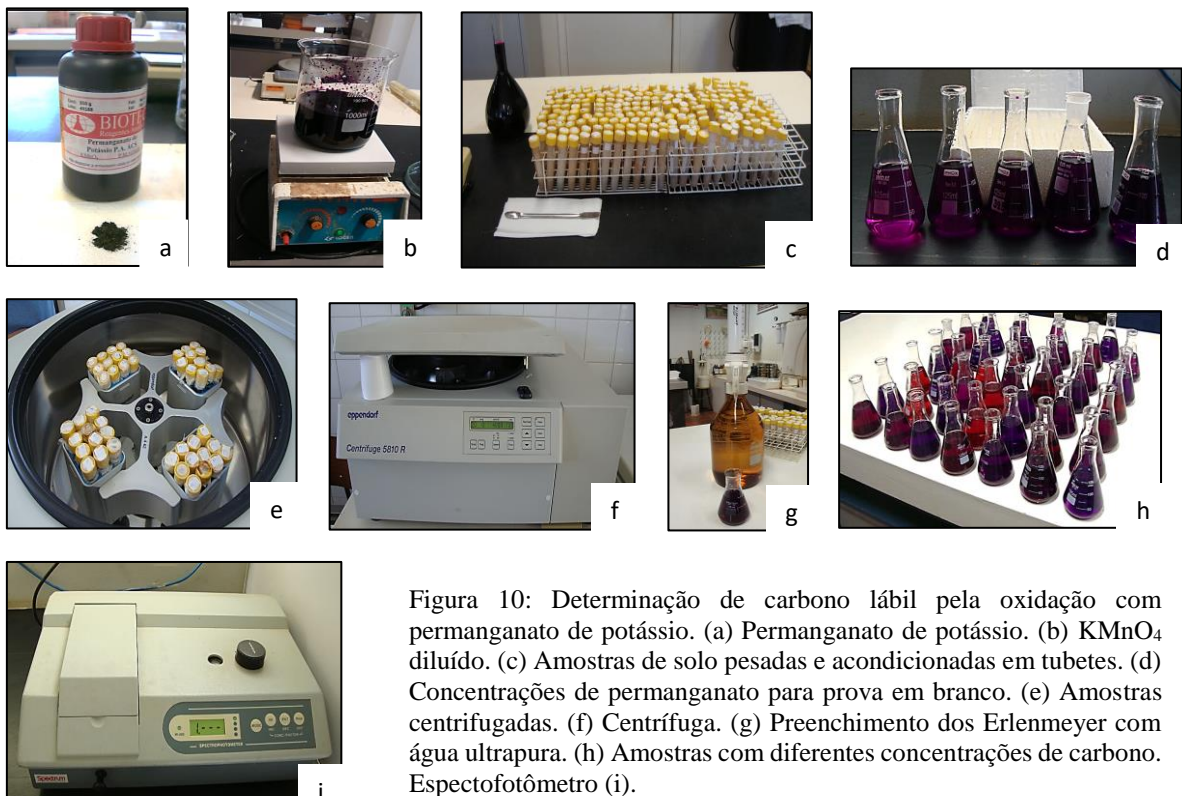


Figura 10: Determinação de carbono lábil pela oxidação com permanganato de potássio. (a) Permanganato de potássio. (b) KMnO_4 diluído. (c) Amostras de solo pesadas e acondicionadas em tubetes. (d) Concentrações de permanganato para prova em branco. (e) Amostras centrifugadas. (f) Centrífuga. (g) Preenchimento dos Erlenmeyer com água ultrapura. (h) Amostras com diferentes concentrações de carbono. (i) Espectrofotômetro.

O estoque de carbono do solo foi determinado pelo método proposto por Carvalho et al. (2009). O cálculo do estoque da camada amostrada foi realizado pela equação:

$$EC = \frac{\text{COS} \cdot D_s \cdot \left(\frac{D_{\text{ref}}}{D_s} \cdot e \right)}{10}$$

Onde EC = estoque de carbono (Mg ha^{-1}); COS = teor de carbono orgânico do solo (g kg^{-1}); D_s = densidade do solo (kg dm^{-3}); D_{ref} = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg dm^{-3}); e = espessura da camada amostrada (cm).

3.2.4.8 Densidade do solo

Determinação pelo Anel Volumétrico

Foram coletadas amostras utilizando cilindros metálicos com volume e massa conhecida. O solo nos anéis foi, levado a estufa e seco a 105° por 48 horas, com pesagem após resfriamento (TEIXEIRA et al., 2017). O cálculo foi realizado segundo equação:

$$D_s = \frac{m_a}{V}$$

Em que, D_s (densidade do solo, em kg dm^{-3} e equivalente a g cm^{-3}); m_a (massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g) e V (volume do cilindro, em cm^3).

3.2.4.9 Porosidade total

A porosidade total foi estimada pela equação que considera a relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas:

$$P_t = 1 - \frac{D_s}{D_p}$$

Em que: P_t (porosidade total, em m^3m^{-3}), D_p (densidade de partículas sólidas do solo, em kg dm^{-3}) seguiu metodologia de Smith (1996) e D_s (densidade do solo, em kg dm^{-3}).

3.2.4.10 Textura

Os agregados maiores foram destorroados, homogeneizados e secos ao ar, passando em peneiras com malha de 2mm (TFSA- terra fina seca ao ar). A secagem foi feita em estufa de circulação forçada de ar (48 horas a 40°C). A determinação textural, seguiu metodologia utilizada pelo laboratório de Física de Solos da ESALQ, utilizando o método do densímetro.

Separou-se e colocou-se em recipiente de vidro, 40g de solo seco de cada amostra, passado em peneira de malha de 2mm, com adição de 250ml de solução dispersante, formada por hidróxido de sódio (NaOH) e hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)₆ na quantidade de 4 e 10 g L^{-1} , respectivamente. Os frascos foram colocados em agitador horizontal com velocidade de agitação lenta (120 oscilações minuto^{-1} por 16 h). O conteúdo foi lavado em peneira com 53 μm de malha, separando a fração areia, recolhida em proveta após lavagem. A suspensão na

proveta aferida para 1000mL foi agitada por 20segundos, com o auxílio de bastão metálico. As provetas foram colocadas em repouso por 24h, para ser realizada a leitura com o densímetro (Fig. 11).

A proveta da prova em branco recebeu 250mL da solução dispersante, com complementação por água destilada. Foi realizada a agitação e posterior repouso por 24h para leitura com o densímetro de Bouyoucos. Este período de repouso foi realizado para ambas as provetas, submetendo-as as mesmas condições de variação de temperatura, por considerar a influência que a temperatura exerce sobre a viscosidade do líquido.

A areia retida nas peneiras foi colocada em cápsulas de porcelana e levadas a estufa à 105°C até a secagem, com posterior registro de massa.

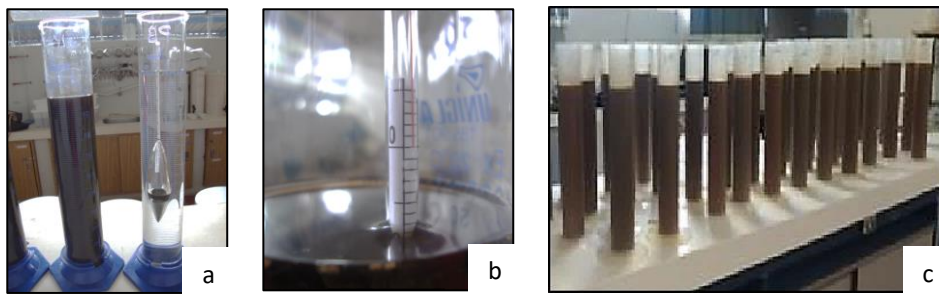


Figura 11: Análise textural pelo método do densímetro. (a) Prova em branco. (b) Leitura do densímetro nas amostras. (c) Amostras preparadas para leitura.

Determinou-se o fator de correção para umidade do solo (F_c), obtido pela razão entre TFSA (terra fina seca ao ar) e TFSE (terra fina seca em estufa). A metodologia utiliza ainda a fórmula para terra seca, que se obtém pela razão entre 40g (TFSA) e o fator de correção (F_c).

A determinação da partição de areia, silte e argila seguiu as equações:

$$\text{Areia} = 1000 \times \left(\frac{\text{peso de areia seca}}{\text{terra seca utilizada na análise}} \right)$$

$$\text{Argila} = 1000 \times \left(\frac{\text{leitura do densímetro-amostra-leitura do densímetro-prova em branco}}{\text{terra seca utilizada na análise}} \right)$$

$$\text{Silte} = 1000 - (\text{total de areia em gramas por 1000 g} + \text{total de argila em gramas por 1000 g})$$

O resultado representou o total da fração areia, silte e argila em gramas por 1000 gramas. As frações silte e argila foram separadas pela Lei de Stokes com tempo de sedimentação de 24h, e leitura pelo densímetro de Bouyoucos (DANE; TOPP; CAMPBELL, 2002).

Com os resultados para areia, silte e argila, a classificação textural foi realizada através da utilização do triângulo textural usado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, no qual o cruzamento das porcentagens de areia, silte e argila forneceu a respectiva classe.

3.2.4.11 Análise química

Amostras deformadas retiradas do segundo bloco de solo, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, destorroadas, moídas e peneiradas em malha de 2mm para obtenção da fração terra fina seca em estufa (TFSE).

Os atributos químicos foram obtidos da seguinte forma: acidez ativa (pH) determinado por potenciometria por solução extratora de cloreto de cálcio (CaCl_2), a 0,01 mol L⁻¹; acidez potencial (H+Al, mmolc dm⁻³) por potenciometria em solução tampão SMP; acidez trocável (Al³⁺, mmolc dm⁻³) extraído por titulometria com solução de cloreto de potássio (KCl) 1,0 mol L⁻¹, por titulação com solução padronizada de NaOH 0,025 mol L⁻¹ (PAVAN et al., 1992).

O potássio (K) e o fósforo (P) foram determinados em solução de Mehlich-1 e leitura por espectrofotometria de emissão em chama. O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) foram extraídos por titulometria em solução de cloreto de potássio (KCl) 1,0 mol L⁻¹, e a determinação por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) (PAVAN et al., 1992).

3.2.4.12 Análise estatística

A Anova foi realizada seguindo esquema em faixas, para verificar o efeito do biocarvão e doses de fertilizantes na qualidade do solo. Com a Anova significativa, aplicou-se Dunnett a 5%, comparando as médias da AR com as áreas plantadas com eucalipto (CB e SB) e as áreas plantadas com eucalipto com os níveis de fertilização (FP, FR e SF). A normalidade dos dados foi testada por Shapiro-Wilk a 5% de significância. Para as análises utilizou-se o software R (R Core Team, 2018).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que não ocorreu interação entre o biocarvão e níveis de fertilização nas profundidades avaliadas; na tabela 11 encontra-se os resultados para o teste F, o nível de significância e o coeficiente de variação dos atributos analisados.

O escore da análise visual da estrutura do solo (0-0,1m) nas áreas com eucalipto diferiu da AR (Fig. 12A), o que está relacionado a mobilização inicial do solo, antes do transplante das mudas de eucalipto, provocando a quebra dos agregados em tamanhos menores, pelos implementos usados no preparo do solo, preparo que não ocorreu na AR.

Entretanto, destaca-se no processo, o sistema radicular do eucalipto, como constatado por Martins (2004), que observou densidade média de raízes finas variando de $6,58 \text{ cm cm}^{-3}$ (0-0,1m) e $1,83 \text{ cm cm}^{-3}$ (0,1-0,3m) em resposta a aplicação crescente de biossólidos e fertilizantes. Laclau et al. (2001); Martins et al. (2002) e Salton; Tomazi (2014) estudando espécies florestais, chegaram a estas variações na distribuição de raízes no perfil do solo, com maior acúmulo de raízes na camada superficial.

Após a quebra dos agregados com arado, o período de recuperação dos mesmos pode ocorrer entre 3 e 5 anos, e as raízes da cultura instalada acabam auxiliando na manutenção dos agregados. A comparação dos escores nos níveis de fertilização, quando na presença da FP mostrou diferença com relação a AR (Fig. 12B).

Tabela 11: Nível de significância dos atributos analisados: escore visual de camadas (EVC), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), resistência tênsil de agregados (RT), friabilidade (F), carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL), estoque de carbono (EC), potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), diâmetro médio ponderado via úmida (DMP), diâmetro médio geométrico via úmida (DMG), índice de estabilidade de agregados via úmida (IEA), diâmetro médio ponderado via seca (DMP_s), diâmetro médio geométrico via seca (DMG_s), índice de estabilidade de agregados via seca (IEA_s), fósforo (P), potássio (K), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), umidade (U) em 0-0,1 e 0,1-0,2m.

Pr (> Fc) 0-0,1m												
Fontes de variação	EVC	Ds	Pt	RT	F	COT	CL	EC	pH	Ca	Mg	Al
Biocarvão	ns	0,098*	0,027*	ns	ns	ns	ns	ns	0,014*	ns	ns	0,005**
Níveis de fertilização	0,008**	ns	ns	0,0001***	2e-16***	ns	ns	0,007**	ns	0,034**	0,011*	ns
Interação entre fatores	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cv (%)	20,5	10,8	7,06	51,5	10,8	11,2	24,8	13,2	6,1	73,8	68,6	39,8
Pr (> Fc) 0,1-0,2m												
Fontes de variação	Ev camada	Ds	Pt	RT	F	COT	CL		pH	Ca	Mg	Al
Biocarvão	ns	0,091*	0,034*	ns	ns	ns	ns		0,021*	ns	ns	ns
Níveis de fertilização	ns	ns	ns	ns	2e-15***	0,005*	ns		ns	0,015*	0,005*	0,014*
Interação entre fatores	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns
Cv (%)	8,8	5,3	3,3	39,0	5,3	13,7	25,3		6,2	91,2	72,7	36,9
Pr (> Fc) 0-0,1m												
Fontes de variação	DMP	DMG	IEA	DMP_s	DMG_s	IEA_s	P	K	V %	CTC	U	
Biocarvão	ns	ns	ns	ns	ns	0,030*	0,004**	ns	ns	ns	ns	
Níveis de fertilização	0,001**	0,0001***	ns	0,031*	0,001**	ns	ns	0,06*	ns	ns	0,012**	
Interação entre fatores	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Cv (%)	13,1	26,1	11,0	11,6	15,8	6,3	95,2	48,1	73,76	7,89	47,0	
Pr (> Fc) 0,1-0,2m												
Fontes de variação	DMP	DMG	IEA	DMP_s	DMG_s	IEA_s	P	K	V %	CTC	U	
Biocarvão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Níveis de fertilização	2,8e-05***	1,1e-05***	ns	0,013*	0,002**	ns	0,025*	ns	0,001*	ns	0,011*	
Interação entre fatores	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Cv (%)	14,2	28,0	12,9	8,8	14,6	3,2	86,9	45,7	80,0	7,32	41,2	

ns – não significativo. significativo aos níveis de *** 0,001 ** 0,01 * 0,05 respectivamente.

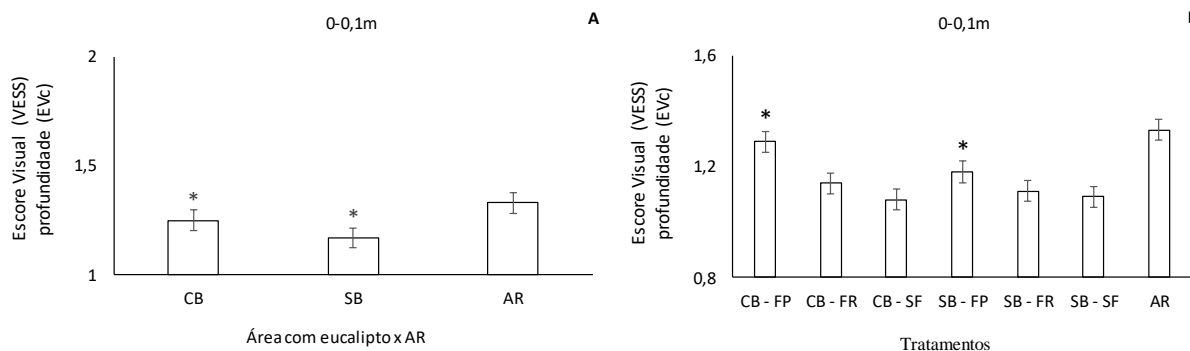


Figura 12: Escore da avaliação visual da estrutura do solo (0-0,1m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

Downie; Crosky; Munroe (2009) constataram que o biocarvão atua sobre os atributos físicos do solo, fornecendo melhores condições ao desenvolvimento das raízes, que por sua vez melhoram a qualidade estrutural do solo. Entretanto, a dose de biocarvão utilizada para expressar diferenças estruturais, é tão importante quanto a própria presença do biocarvão (JOSEPH et al., 2010; VERHEIJEN, et al., 2010; TRAZZI et al., 2018), e no quesito dose, neste experimento, houve pouca influência do biocarvão.

A densidade do solo e a porosidade total, na área com eucalipto não diferiram da AR (Fig. 13A e B), entretanto, variações na densidade superficial do solo em sistemas florestais, podem estar relacionados ao tempo de utilização da área, arquitetura do sistema radicular da cultura implantada, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas, trânsito de máquinas e implementos agrícolas, e condições de umidade do solo, no preparo e plantio das mudas (COSTA et al., 2003).

O biocarvão, pelo grande volume de poros, é capaz de reduzir a densidade do solo, entretanto a quantidade aplicada faz o diferencial, como observado na redução da densidade após três anos com a aplicação de 90 Mg ha⁻¹ de biocarvão (LIANG et al., 2014), redução da densidade e aumento da porosidade total em 30 meses com aplicação de 47 Mg ha⁻¹ de biocarvão (HARDIE et al., 2014), redução da densidade com aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de biocarvão (ZHANG et al., 2010) e redução da densidade com aplicação de 20 Mg ha⁻¹ de biocarvão em solo argiloso (0-0,1m), mas não em maiores profundidades.

Neste estudo, observações semelhantes não foram possíveis quer pela baixa dose de biocarvão aplicada, curto período de avaliação ou mesmo diferentes granulometrias do material.

Nos níveis de fertilização, a FP diferiu da AR para a densidade do solo (0-0,1m) e a FR diferiu da AR para a porosidade total. Em 0,1-0,2m não houveram diferenças tanto para densidade do solo quanto para a porosidade total, quando comparadas a AR (Fig. 13A e B).

A RT de agregados na área com eucalipto diferiu da AR (0-0,1m), com índices variando entre 16 e 20 kPa, índices considerados baixos que podem ter ocorrido em função das atividades de preparo do solo, as quais induziram perdas da RT, além da grande quantidade de raízes presentes na mesma profundidade, formando linhas de fraqueza que colaboraram para os baixos índices (Fig. 13C). A redução da RT é causada pela redução/destruição das ligações químicas entre as partículas, tanto de natureza orgânica quanto inorgânica (IMHOFF et al., 2002).

O coeficiente de variação para a RT de agregados (Tabela 11) foi de 42% (0-0,1m) e 41% (0,1-0,2m), inferior aos 43% encontrado por Imhoff et al. (2002) ao avaliar a RT em três Latossolos Vermelhos, nos quais, a variabilidade dos resultados para a RT foi atribuída à forma dos agregados, composição dos solos e friabilidade.

O formato dos agregados também influencia nos índices da RT, pois segundo Seben Junior (2010) é um fator tão importante quanto os teores de argila, teores de matéria orgânica e a cultura instalada, havendo predomínio de agregados com base plana neste experimento.

Os níveis de fertilização das áreas com FR e SF diferiram da AR, índices da RT, entre 23 e 30 kPa, foram observados para Latossolo Vermelho distrófico típico, em função dos teores de argila e do COT como já constatado por Ferreira et al. (2011).

Šimanský (2016) observou aumento de 19% da RT quando 20 Mg ha⁻¹ de biocarvão foram combinados a 80 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado; Arthur et al. (2019) ao aplicar três doses de biocarvão (0, 15 e 30 Mg ha⁻¹) obteve decréscimos na RT à medida que os agregados aumentaram de tamanho, entretanto, índices de referência para a RT, relacionados a aplicação de biocarvão em baixa dose em área florestal, não foram encontrados na literatura consultada.

A diferença entre as áreas com eucalipto e AR, para a RT (Fig. 13C), e para a friabilidade (Fig. 14), estão relacionadas com os teores de COT nos tratamentos, sendo frequente a correlação negativa entre COT e RT e positiva do COT e a friabilidade (MUNKHOLM, 2011; WANG et al., 2017; AHMED; RAGHAVAN, 2018).

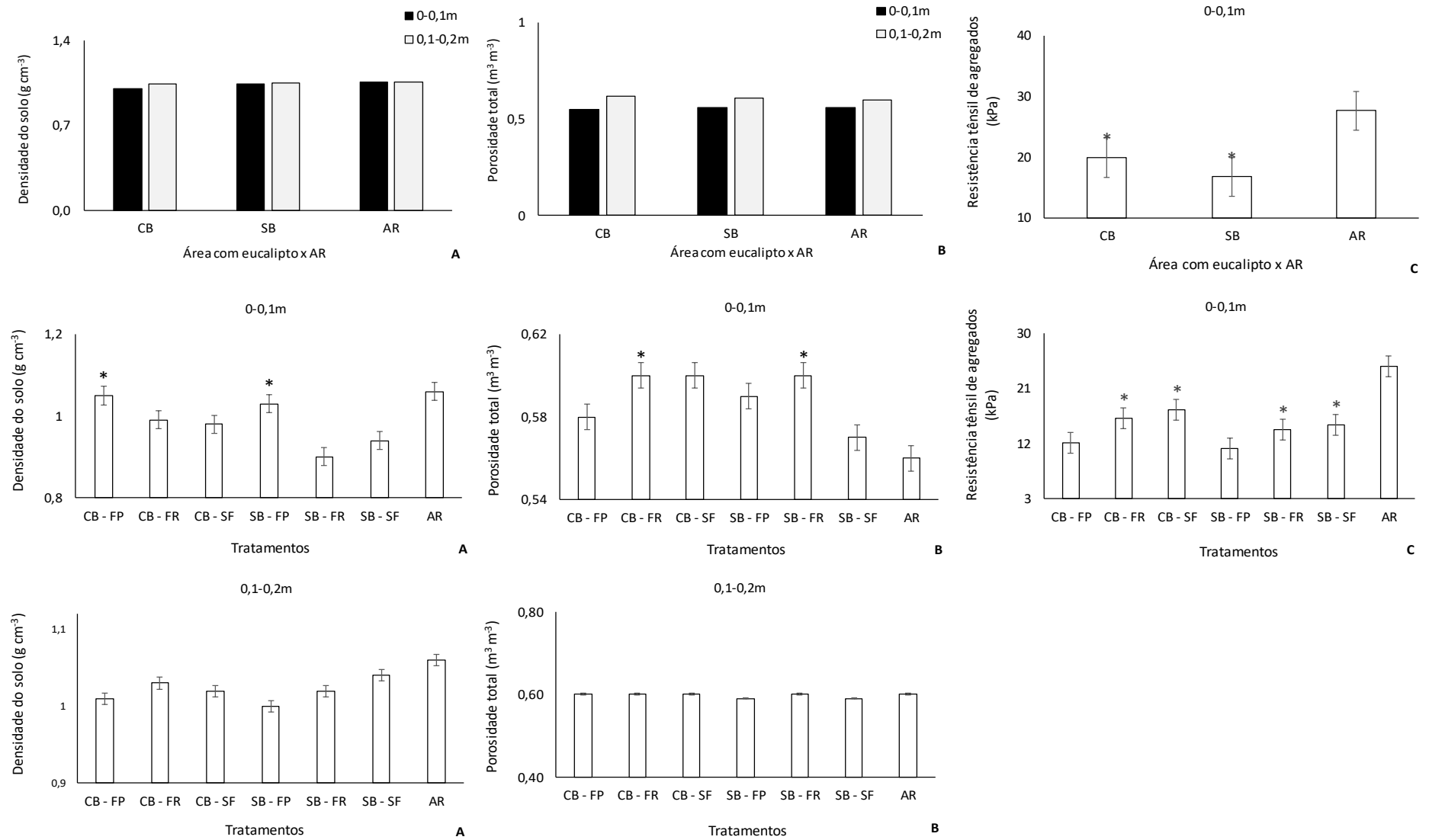


Figura 13: (A) Densidade do solo. (B) Porosidade total. (C) Resistência tênsil de agregados. CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

A friabilidade é influenciada pela variabilidade da RT; a maior variabilidade resulta em maior valor de friabilidade e a menor variabilidade implica em menores valores.

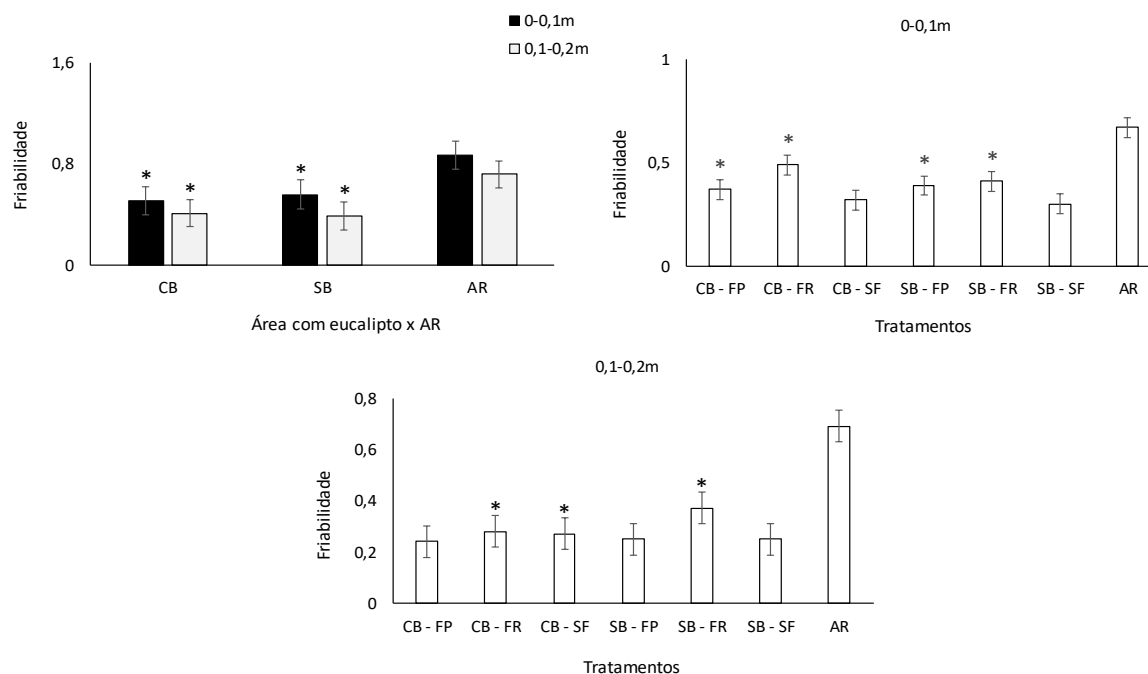


Figura 14: Friabilidade. CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

Entretanto, o efeito do biocarvão sobre a RT e a friabilidade depende da textura do solo e do tipo de biocarvão aplicado. Amoakwah; Frimpong; Arthur (2017) relataram aumento na friabilidade, em solo argilo-arenoso, após aplicação 20 Mg ha⁻¹ de biocarvão.

A aplicação de 10% de biocarvão derivado de madeira, em solo argiloso, reduziu pela metade a friabilidade, e em solo argilo-arenoso aumentou em 33% a friabilidade (AHMED; RAGHAVAN, 2018).

Os solos de mata nativa são mais friáveis do que os solos cultivados (CHAN, 1989; WATTS; DEXTER, 1998), pelo não efeito de preparo, ou umidade associada ao tráfego de máquinas (DEXTER; WATTS, 2000). Os solos sob preparo têm redução da friabilidade pela energia mecânica aplicada, a qual quebra as ligações entre as partículas e aumenta a quantidade de argila mecanicamente dispersa (UTOMO; DEXTER, 1981; DEXTER; WATTS, 2000). A classe friável (0,2-0,5) ocorreu em 0,1-0,2m nas áreas com eucalipto, muito friável (0,5-0,8) em 0-0,1m nas áreas com eucalipto e mecanicamente instável (>0,8) em 0-0,1m na AR.

O COT na área com eucalipto não diferiu da AR (0,1-0,2m), indicando um comportamento semelhante deste elemento, quanto aos teores presentes no solo, em curto período de tempo (11 meses). A mobilização da área com arado, proporcionou a inversão das

camadas, e as gramíneas, que estavam em cobertura no início do experimento, passaram a fazer parte do COT, em 0,1-0,2m, não diferindo entre as áreas.

O EC diferiu entre a área com eucalipto e a AR. Os níveis de fertilização mostraram diferença comparados à AR, quando na presença de FR e SF, tanto para o COT como para o EC (Fig. 15).

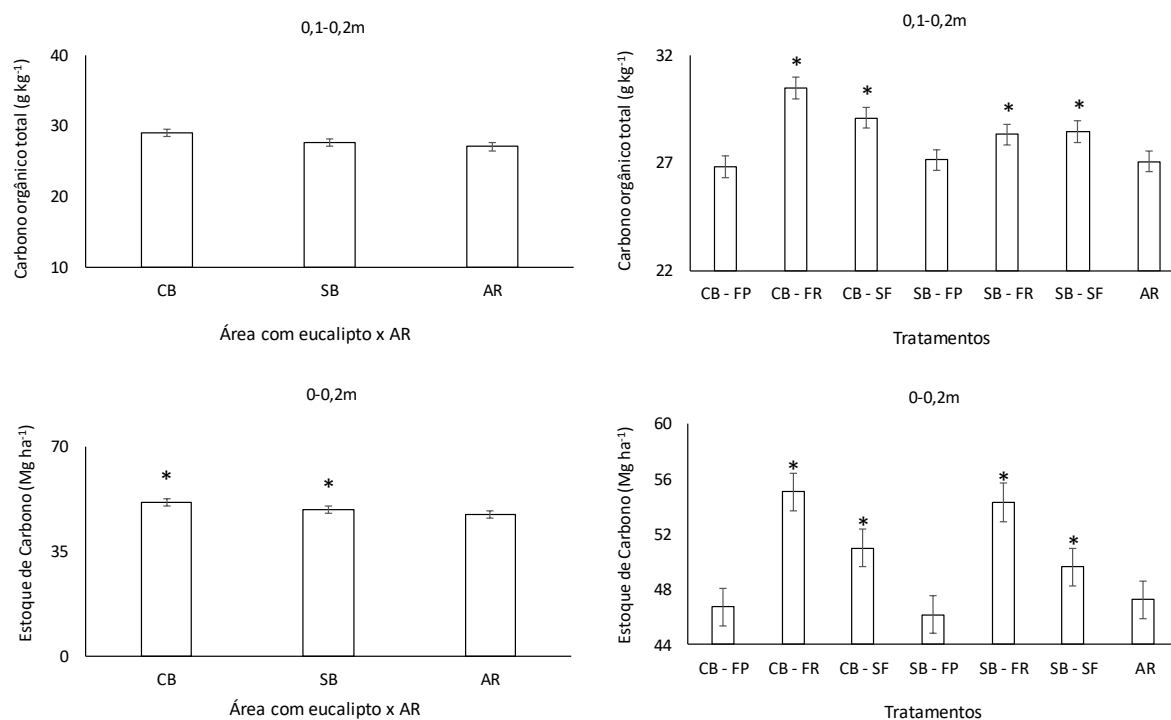


Figura 15: Carbono orgânico total (0,1-0,2m) e estoque de carbono (0-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

Silva et al. (2009) observaram reduções nos teores de COT em plantio de eucalipto e resultados semelhantes foram relatados por Fonseca et al. (1993), Behera; Sahani (2003) e Zinn et al. (2011) que constataram ocorrer oxidação biológica da matéria orgânica original do solo, decorrente do preparo e cultivo, da baixa produção inicial de serapilheira e das mudanças na composição qualitativa da serapilheira que ocorrem nos plantios florestais.

O biocarvão deveria incrementar o COT, porém Woiciechowski et al. (2018) testando *Eucalyptus benthamii* em diferentes doses de biocarvão (0, 10, 20, 40 Mg ha⁻¹), com e sem adubação mineral (340 Kg ha⁻¹ de NPK com 14 Kg de N, 48 Kg de P₂O₅, 28 Kg de K₂O, 4 14 8), obteve como resposta menores teores de COT nos tratamentos com biocarvão comparados a testemunha. O biocarvão adicionado apresentava cerca de 48% de carbono fixo e os teores de carbono calculados deveriam aumentar cerca de 5, 10 e 20 g kg⁻¹ com a adição de 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Porém, o maior aumento observado foi de 1,8 g kg⁻¹

em relação à testemunha. Petter et al. (2012) aplicando biocarvão de eucalipto (em 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹ em campo), elevou a disponibilidade de cálcio e fósforo, bem como o pH e o COT. Neste estudo, estes resultados não foram observados pela baixa dose de biocarvão aplicada.

Segundo Trazzi et al. (2014) o EC deveria aumentar com a aplicação de biocarvão, pois a maior retenção de água, favorece a produtividade de biomassa das plantas, com a melhoria dos atributos do solo, ou, com um possível efeito eletrofisiológico (LEHMANN; JOSEPH, 2009), pelo aumento na disponibilidade de nutrientes, causado pela alteração da biota do solo, diminuindo as perdas de nutrientes por lixiviação (OMIL; PIÑEIRO; MERINO, 2013).

A vantagem do biocarvão, estaria em segurar o carbono em estruturas aromáticas, por longos anos, retendo o carbono ao solo, em função da alta superfície específica, com grande quantidade de sítios quimicamente reativos e elevada porosidade (PETTER; MADARI, 2012; SIX et al., 2002; GAO et al., 2016). O EC e a população microbiana segundo Six et al (2004); Xavier et al. (2006); Shi et al. (2016); Wang et al. (2017) apresenta relação direta com o tamanho de partículas e a quantidade de biocarvão aplicada ao solo. Entretanto, esse efeito não foi percebido neste experimento, pela baixa dose de biocarvão aplicada e pelo curto período de observação.

Os valores de DMP diferiram entre a área com eucalipto e a AR, o que não ocorreu no DMG, não havendo diferença entre as médias. Os tratamentos no DMP (CB e SB associados aos níveis de fertilização) diferiram nas médias comparados a AR nas duas profundidades. O DMG apresentou diferença nos tratamentos (CB associado a FR e SF e SB associado a FP e FR) em 0-0,1m e para todos os tratamentos em 0,1-0,2m (Fig. 16).

O DMP na área com eucalipto, diferiu nas duas profundidades, da AR. Nos níveis de fertilização a diferença ocorreu na presença de FP nas áreas CB e SB e FR somente na área SB (0-0,1m). Em 0,1-0,2m a diferença ocorreu na presença de FP e FR.

O DMP é tanto maior quanto maior for a quantidade de agregados estáveis retidos nas peneiras com maior abertura de malha, formando agregados estáveis de maior diâmetro (maior DMP), enquanto que os menores agregados mostram-se menos estáveis em água (menor IEA). O IEA neste estudo não foi significativo, e os agregados maiores que 2mm representaram a classe mais abundante em ambas profundidades neste experimento (dados não demonstrados), concordando com os resultados observados por Nunes et al. (2019).

Alguns autores relataram maior formação e estabilidade de agregados em solos cultivados com gramíneas, pela alta densidade de raízes, as periódicas renovações do sistema radicular e a uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados

(CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; SILVA; MIELNICZUK, 1997; WOHLLENBERG et al., 2004). Este efeito supracitado pode ter relação com as raízes do eucalipto, embora não tenha sido confirmado na literatura consultada.

Tisdall; Oades (1982) defendem a matéria orgânica como um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados, porém, a oxidação da matéria orgânica promovida pela mobilização do solo na implantação do experimento e a dose de biocarvão aplicada, podem não ter favorecido o DMP, bem como o curto período de tempo não ter sido suficiente para reverter em relação a AR.

O DMG não diferiu entre a área com eucalipto e a AR, indicando um padrão presente para a classe mais frequente, o que segundo Flores (2008) em estudo de coberturas vegetais, está relacionado ao sistema radicular da maioria dos vegetais, que auxiliam no incremento dos teores de matéria orgânica do solo, influenciando diretamente no tamanho dos agregados. Em 0-0,1m os níveis de fertilização mostraram diferença na presença de SF e CB, e FR e SB. Em 0,1-0,2m a diferença ocorreu na FR e SF quando comparados a AR.

A substituição de parte do volume de solo por partículas inicialmente menores que 2mm, por volume de biocarvão (partículas com tamanhos variados), podem reduzir os valores de DMG e DMP (SANTOS, 2014). Por outro lado, as diferenças entre DMP e DMG são atribuídas às características intrínsecas de cada índice, influenciado pela distribuição dos agregados entre as classes, com maior predomínio dos agregados acima de 2mm (NUNES et al., 2019).

A importância em considerar a interferência do tamanho das partículas do biocarvão na estabilidade de agregados baseia-se no acúmulo de massa de partículas com determinado tamanho, mascarando a ausência de efeitos reais em termos de agregação, quando aplicadas em elevadas doses. A massa de partículas de biocarvão que não interage com os sólidos do solo para a formação de agregados, poderia contribuir equivocadamente para o incremento da proporção de agregados de determinada classe (WOICIECHOWSKI et al., 2018). Neste experimento, a baixa dose aplicada, não mostrou esse efeito.

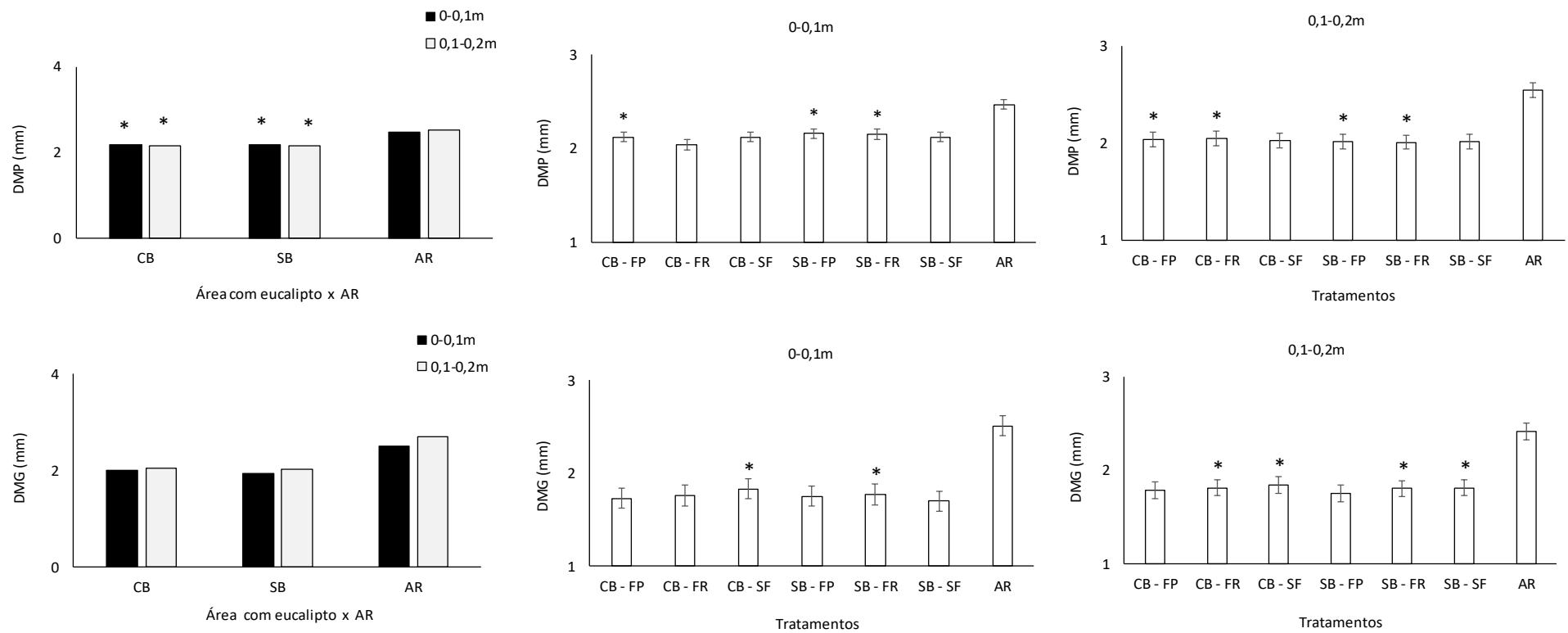


Figura 16: DMP e DMG (0-0,1 e 0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

O DMP_s nas duas profundidades e o IEA_s em 0-0,1m, das áreas com eucalipto, não diferiram da AR. Os níveis de fertilização para o DMP_s diferiram da AR na presença de FP e SF (0-0,1m) e somente na presença de FP (0,1-0,2m). Para o IEA_s a diferença ocorreu na presença de FP (0-0,1m). O DMG_s, das áreas com eucalipto, diferiu da AR, e os níveis de fertilização diferiram na presença de FP nas duas profundidades, porém em 0,1-0,2m somente na presença de FR e CB houve diferença (Fig.17).

Os maiores índices para o tamisamento a seco, primeiro relacionam-se a fatores intrínsecos da técnica, em um segundo momento, o cálcio não sofrendo hidratação, como no método via úmida, não causa repelência dos agregados à água (BADÍA-VILLAS et al., 2014), tornando-os menos suscetíveis à desagregação, mostrando maior estabilidade. Entretanto, os maiores índices obtidos via seca podem estar relacionados à maior dureza dos agregados quando secos, sendo mais resistentes à abrasão na malha das peneiras superiores, contribuindo com o incremento das classes de agregados de maior tamanho e, conseqüentemente, no aumento dos valores de DMP_s e IEA_s, sendo as classes de menor diâmetro menos expressivas (PERUSI; CARVALHO, 2008).

Bastos et al. (2005) pesquisando a formação e estabilização do solo com adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas para Latossolo Vermelho-amarelo, concluiu que compostos orgânicos com caráter hidrofílico tem influência na formação e estabilização de agregados com doses até 9,9 g kg⁻¹. Os ácidos húmicos com forte influência tanto hidrofóbica quanto hidrofílica em sua estrutura, são capazes de melhorar a agregação do solo com grau de intemperismo avançado.

Perusi; Carvalho (2008) esclarecem que a matéria orgânica é responsável pela estabilidade dos agregados submetidos ao tamisamento em meio aquoso, enquanto o teor argila ao tamisamento a seco. Os teores de argila apresentaram média de 396 g kg⁻¹ nas áreas CB e 362 g kg⁻¹ nas áreas SB. Não foram encontrados parâmetros de referências para DMP_s, DMG_s e IEA_s, na literatura consultada, em floresta de eucalipto, associando baixa dose de biocarvão aplicada em associação a níveis de fertilização.

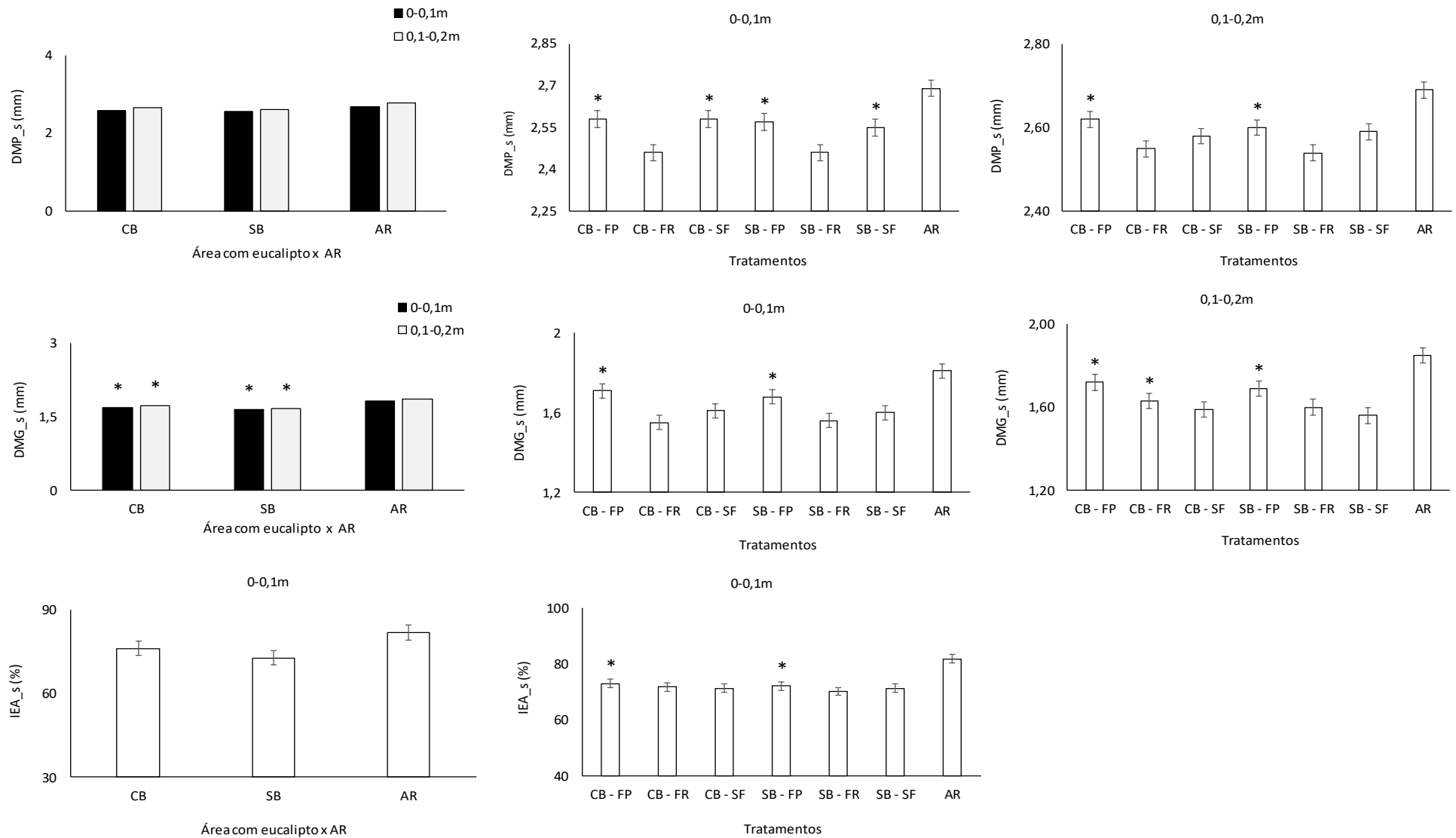


Figura 17: DMP_s, DMG_s e IEA_s (0-0,1 e 0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

O pH, cálcio, alumínio e potássio nas áreas com eucalipto não diferiram da AR. Os níveis de fertilização diferiram na presença de FR e CB (0-0,1m) e em presença de FP e SF (0,1-0,2m) para o pH. O cálcio diferiu na presença de FR em ambas as profundidades, o alumínio diferiu em presença da FP e SF (0-0,1m) e FP (0,1-0,2m), e o potássio não diferiu da AR nos níveis de fertilização (Fig. 18 e 19). O magnésio e o fósforo nas áreas com eucalipto diferiram da AR, os níveis de fertilização diferiram em presença de FR e SF para as duas profundidades para o magnésio, e a diferença ocorreu em presença de FP e FR, para o fósforo, nas duas profundidades (Fig. 18 e 19).

Decréscimos no pH e nas concentrações de alumínio, comparando pastagens a áreas florestais, foram relatados em estudos da Nova Zelândia e Austrália (SILVA et al., 2009), e a possível causa da acidificação dos solos sob algumas espécies florestais, é a liberação de ácidos orgânicos pela decomposição da biomassa, e a maior absorção de cátions do que de ânions (GIDDENS et al., 1997).

A aposta no biocarvão com relação a alcalinidade, segundo Van Zwieten et al. (2010), está na presença de altos níveis de carbonato de cálcio e magnésio. Os prováveis grupos funcionais formados com a oxidação são carboxílicos, lactônicos, fenólicos, carbonílicos entre outros, e os três primeiros apresentam propriedades ácidas de Brønsted, provendo a capacidade de trocas catiônicas dependentes de pH para as partículas de biocarvão (TENÓRIO et al., 2018).

Si et al. (2018) obteve aumento de pH em média de 0,1 unidade quando o biocarvão derivado de palha de arroz foi aplicado, Dai et al. (2014) obtiveram aumento de 15 vezes no pH com a adição de biocarvão, aumentando a proteção na estrutura do solo, Castro et al. (2018) conseguiram elevar o pH do solo para 5,9, estatisticamente superior ao controle com 4,8 e Castellini et al. (2015) apontaram que estes benefícios dependem do tipo de solo e do biocarvão empregado, bem como a sua taxa de aplicação. Este efeito não foi observado neste trabalho.

Áreas com eucalipto tendem a promover acréscimo no teor de potássio (FONSECA et al., 1993; GAMA-RODRIGUES et al., 2008b), e a aplicação de biocarvão tende a aumentar os níveis de potássio no solo (YAO et al., 2010; MADARI et al., 2006). Steiner et al. (2008) e Guarnieri (2016) afirmaram que grande parte das cinzas do biocarvão é rica em potássio na sua constituição, dependendo de qual parte da planta o material foi carbonizado, entretanto, neste experimento a área com eucalipto não diferiu da AR.

Os teores de Ca e Mg e a saturação por bases, no solo com eucalipto, podem ser superiores a plantios de pínus, uma vez que a absorção de nutrientes pelo eucalipto, em camadas mais profundas do solo, e seu retorno via decomposição da serapilheira favorecem este aumento.

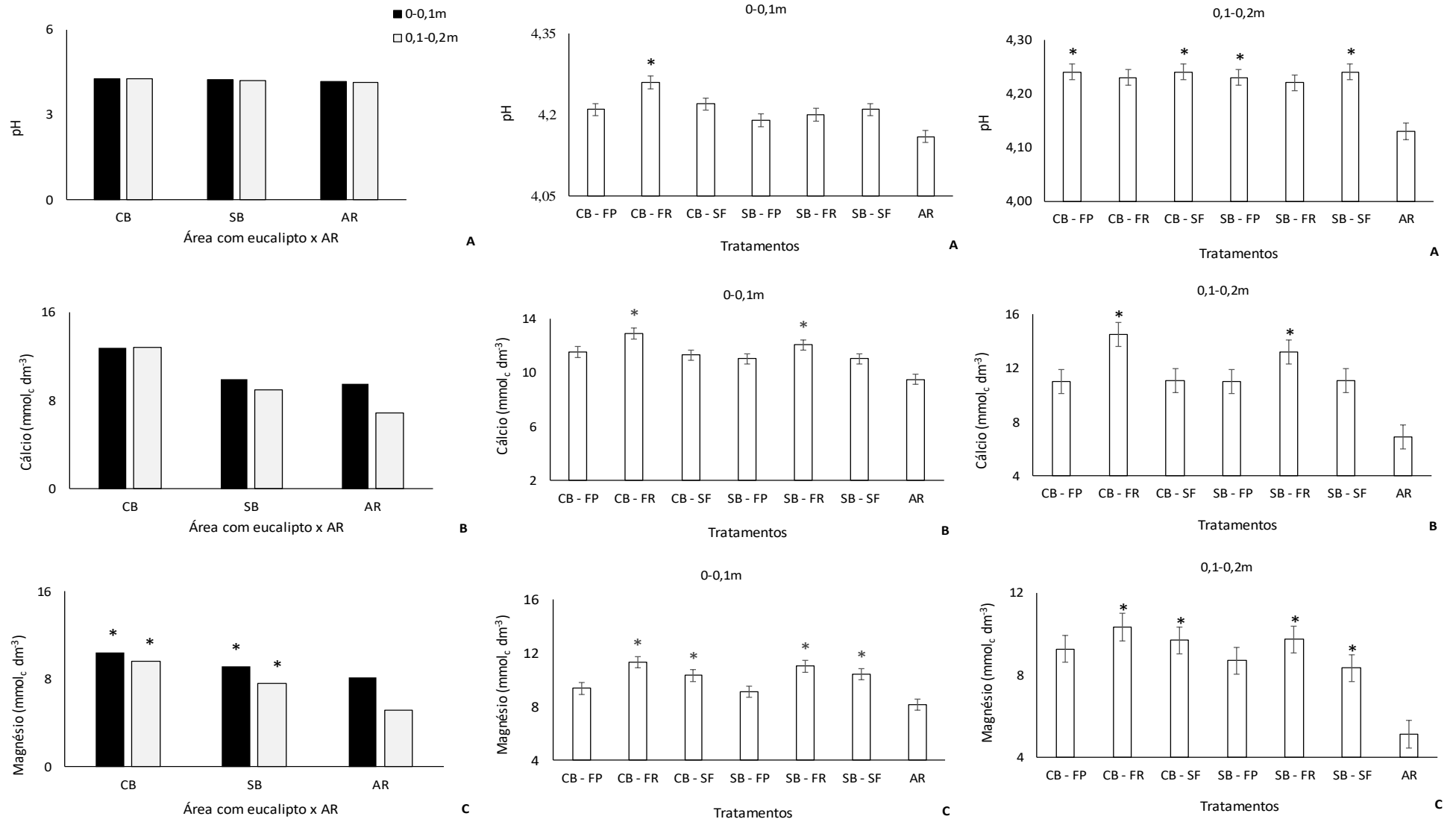


Figura 18: pH, cálcio e magnésio (0-0,1 e 0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

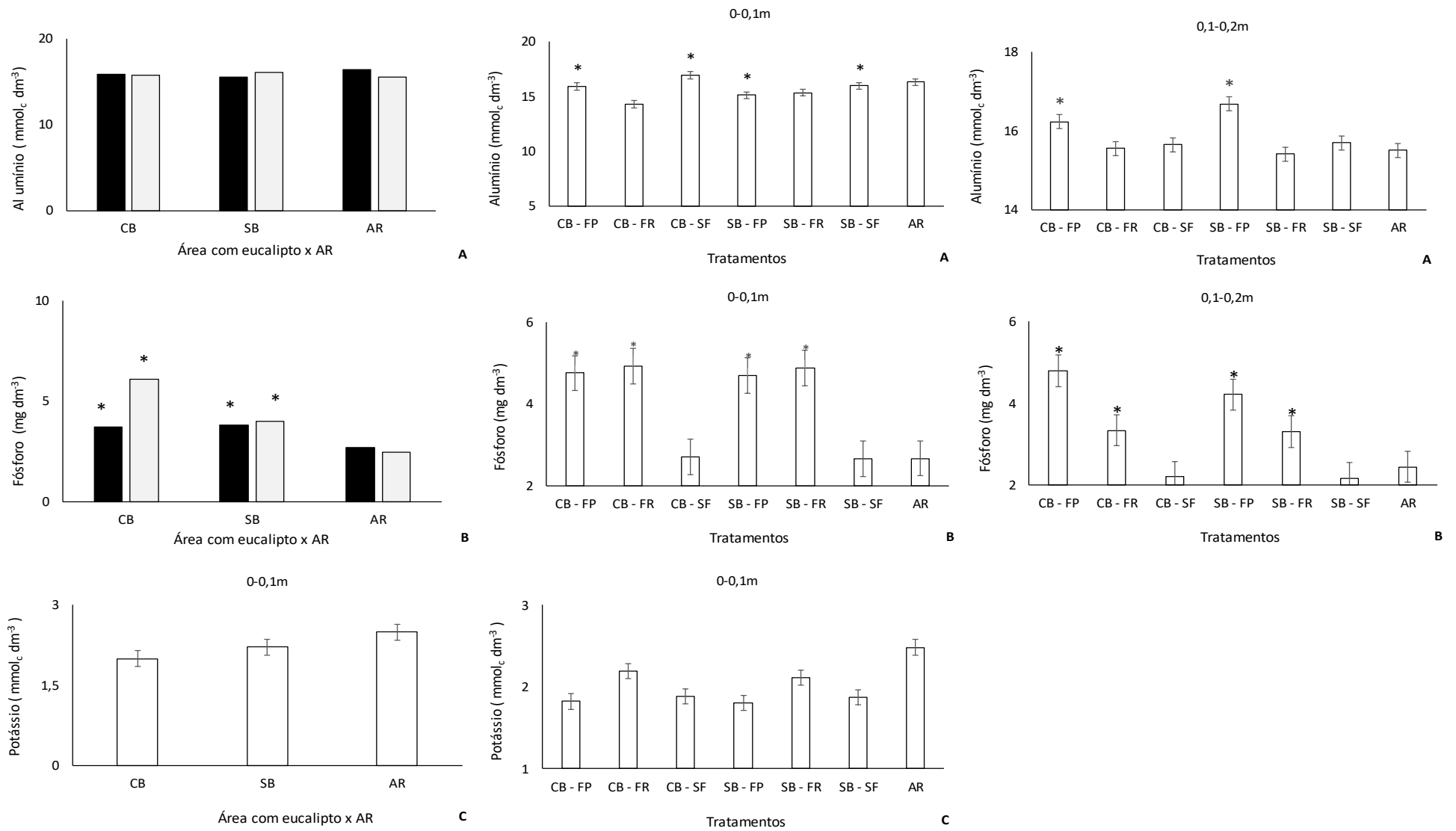


Figura 19: Alumínio, fósforo (0-0,1 e 0,1-0,2m) e potássio (0-0,1m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

Na Austrália, Noble; Randall (2005) verificaram que o retorno de nutrientes de *Eucalyptus cloeziana*, na forma de serapilheira, aumentou os teores de cálcio, magnésio e potássio no solo. Zaia; Gama-Rodrigues (2004) verificaram, em estudos conduzidos no norte fluminense, que o *E. grandis*, em razão dos seus menores teores de lignina, apresentou taxas mais elevadas de decomposição de serapilheira e possibilitou maior taxa de ciclagem de nutrientes.

Os teores de magnésio, neste experimento, diferiram da AR, entretanto, Chan et al. (2007) e Carvalho et al. (2013) observaram que a aplicação de doses elevadas de biocarvão proporcionam aumento nos teores de magnésio no solo. Petter; Madari (2012) não verificaram efeito da adição de biocarvão sobre o teor de magnésio no primeiro ano do experimento e Melo (2016) atribui a diminuição nos teores de cálcio e magnésio do solo, aos deslocamentos dos mesmos dos sítios de troca para a solução do solo.

Os teores de fósforo não diferiram entre a área com eucalipto e a AR; Fonseca et al. (1993), em solos com eucalipto, também não encontraram variação para os teores de fósforo (Fig. 19).

A saturação por bases na área com eucalipto diferiu da AR (Fig. 20). A aplicação do biocarvão segundo Guimarães (2017) deveria causar aumento progressivo com aumento de doses de biocarvão em duas profundidades (0-0,2 e 0,2-0,3m), com a dose de 120 Mg ha⁻¹. A soma de bases apresentaria então diferença de mais de 80% da dose 0 para a dose 120 Mg ha⁻¹, nas duas profundidades mostrando que o biocarvão seria efetivo na geração de cargas no solo, e melhoraria os atributos químicos do solo, como Trazzi (2014) constatou após 30 meses da aplicação, com redução da acidez do solo e aumento da saturação por bases, duas vezes mais que no tratamento com omissão de biocarvão, potássio e fósforo. Neste estudo, isso não foi verificado quer pela utilização de uma dose baixa, quer pelo curto tempo de avaliação.

A umidade do solo verificada por Woiciechowski et al. (2018) constatou que apenas o tratamento com a maior dose de biocarvão aplicada, 40 Mg ha⁻¹, associado a 340 kg ha⁻¹ de NPK (4 14 8) diferiu da testemunha. Na avaliação realizada aos 180 dias após semeadura, o tratamento com 40 Mg ha⁻¹ de carvão e fertilizante apresentou pequeno aumento na umidade gravimétrica (2,3%) com relação a testemunha. Santos et al. (2016) em Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, aplicando 2,5 kg cova⁻¹ e 0,6 kg planta⁻¹ de biocarvão não encontraram resposta significativa na umidade avaliada.

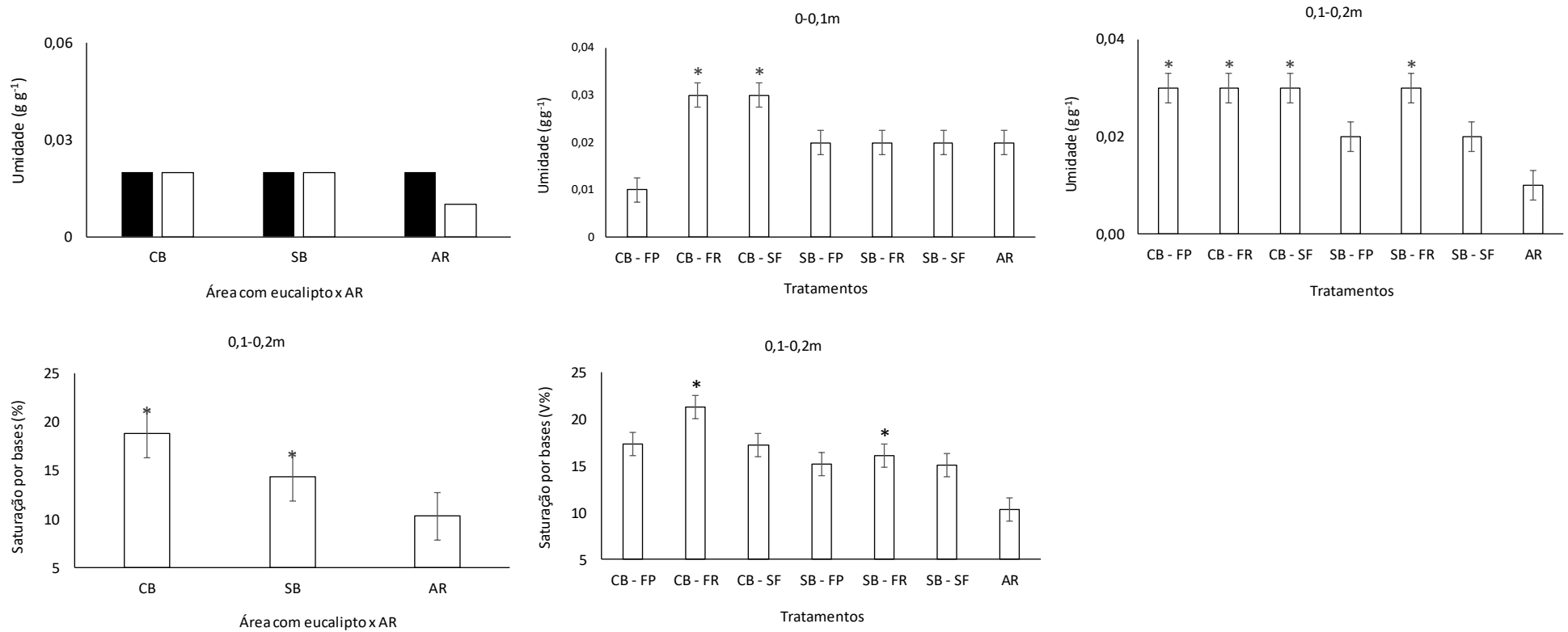


Figura 20: Umidade (0-0,1 e 0,1-0,2m) e Saturação por bases (0,1-0,2m). CB-com biocarvão, SB-sem biocarvão e AR-área de referência. FP-fertilização padrão, FR-fertilização reduzida e SF-sem fertilização. * as médias diferem pelo teste Dunnett a 5%.

A literatura mostra grande variação de resultados quanto aos efeitos do eucalipto sobre os atributos químicos do solo (CHAER; TÓTOLA, 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2008a), e as diferenças de clima, solo, espécies plantadas, ecossistema nativo usado como referência e manejo das áreas reflorestadas torna imprópria a generalização desses efeitos.

3.5 CONCLUSÕES

O efeito do biocarvão sobre os indicadores de qualidade do Latossolo, sob sistema perene, em plantio de eucalipto, a curto prazo e em dose reduzida, são mínimos.

O efeito dos níveis de fertilização sobre a maioria dos indicadores de qualidade do Latossolo, não diferiram.

A FP se destacou isoladamente em alguns indicadores de qualidade do solo.

4 EFEITO DE FORMAS DE INCORPORAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO NA QUALIDADE DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALUMÍNICO NA REGIÃO CENTRO SUL DO PARANÁ

RESUMO

Cambissolos Háplicos Alumínicos são solos frágeis em seu aspecto morfogenético, a presença de acidez e de alumínio trocável os tornam ainda mais susceptíveis em sua qualidade, e a falta de calagem em pequenas propriedades de agricultura familiar, na Região Centro Sul do Paraná, agrava ainda mais a situação. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos que formas de incorporação e doses de calcário podem causar sobre a qualidade deste Cambissolo, sob semeadura direta, em 0-0,1 e 0,1-0,2m, através de análise dos atributos físicos (avaliação visual da estrutura do solo, densidade e porosidade total, resistência tênsil e friabilidade de agregados e estabilidade de agregados por via seca e úmida), atributos químicos (pH, Ca, Mg, Al, P e K, V%, CTC, COT e EC) e biológico (CL). O experimento foi em parcelas subdivididas e os tratamentos constituíram-se de formas de incorporação de calcário: CIAG (calcário incorporado com arado e grade), CIEG (calcário incorporado com escarificador e grade) e CSI (calcário sem incorporação) associadas a doses de calcário para elevar a saturação por bases a 50, 70 e 90%, comparados a uma área que não recebeu o calcário. As médias foram comparadas por Tukey a 5% e a normalidade testada por Shapiro-Wilk a 5%. Como resultado no Cambissolo, observou-se que as maiores doses de calcário nem sempre favoreceram os atributos avaliados. Desta forma concluiu-se que para este solo, o CIAG, previne uma superdosagem em superfície, evitando a estratificação química, conseqüentemente estratificação das raízes, estratificação biológica e por fim estratificação física do perfil do solo.

Palavras-chave: Agregação. Doses de calcário. Estrutura. Formas de incorporação do calcário. Qualidade estrutural.

ABSTRACT

Cambisols Haplic aluminic are fragile soils in their morphogenetic aspect, the presence of acidity and exchangeable aluminum make them even more likely in their quality, and the lack of liming on small farms of family agriculture in Paraná Southern center Region, further aggravates the situation. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects that forms of incorporation and doses of limestone can have on quality of this Cambisol, under no-till, at 0-0,1 and 0,1-0,2m, through the physical attributes (visual assessment of soil structure, density

and total porosity, tensile strength and friability of aggregates and aggregate stability by dry and wet), chemical attributes (pH, Ca, Mg, Al, P and K, V%, CTC, COT and EC) and biological attributes analysis (CL). The experiment was in subdivided plots and the treatments consisted in limestone incorporation forms: CIAG (limestone incorporated with plow and harrow), CIEG (limestone incorporated with chisel and harrow) and CSI (limestone without incorporation) associated with limestone doses. to raise base saturation to 50, 70 and 90%, compared to an area that did not receive limestone. The averages were compared by Tukey at 5% and the normality tested was by Shapiro-Wilk at 5%. As a result in the Cambisol, it was observed that the highest rates of lime not always favored the attributes evaluated. Thus it was concluded that for this soil, the CIAG, prevents overdosing on the surface, avoiding chemical stratification, consequently root stratification, biological stratification and finally physical stratification of the soil profile.

Keyword: Aggregation. Lime rates. Structure. Lime incorporation forms. Structural quality.

4.1 INTRODUÇÃO

A calagem é empregada na correção da acidez do solo e sua reação depende do modo de aplicação, desta forma, a incorporação com o revolvimento aumenta a reação, mas, a mobilização altera a estrutura do solo e os processos que nele ocorrem (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2008; AULER, 2014).

A região Centro-Sul do Paraná, mais precisamente o município de Irati, basicamente tem seu sistema de produção em agricultura familiar, sob CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico. Esta região é dividida geograficamente pela Serra da Esperança que delimita o segundo planalto, sentido leste, do terceiro planalto, sentido oeste. Apresenta-se formada por 20 municípios, e 14 estão localizados em sentido leste da Serra da Esperança (ASSIS; ROMEIRO, 2005), situado sobre rochas sedimentares da Bacia do Paraná pertencentes às formações Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rastro, Botucatu e Serra Geral, além de intrusões basálticas (MINEROPAR, 2005).

Os solos são derivados principalmente de rochas sedimentares pelíticas, e secundariamente de rochas ígneas intrusivas (MARTINS, 2010). As primeiras (argilitos, siltitos, folhelhos), tendem a formar solos pobres em macronutrientes de maior interesse agrícola (cálcio, magnésio e fósforo, exceto potássio), ricos em alumínio trocável (>50%), o que dificulta o crescimento radicular das plantas e seu desenvolvimento, além de contribuir com

a imobilização do fósforo no solo (BENASSI, 2008; BENASSI et al., 2009; PETERSEN, 1998).

Os solos predominantes são pouco desenvolvidos, em torno de 70% de sua área recoberta por Neossolos e Cambissolos, rasos e pouco profundos, e ocorrem muitas vezes associados em relevo que varia de ondulado a montanhoso (CURCIO, 1994).

As classes de aptidão agrícola e o grau de desenvolvimento variam com a posição na paisagem, estando a textura dos solos entre franco-argilo-arenosa, franco-arenosa a siltosa, não raro com pedregosidade e baixa fertilidade natural, sendo a topografia da região caracterizada como ondulada a fortemente ondulada (ASSIS; ROMEIRO, 2005). Esse conjunto de atributos possibilita enquadrar em classes de aptidão agrícola III, IV e V, caracterizando solos de baixa aptidão (CANALLI, 2004).

Pela gênese, esses solos apresentam acidez elevada e a calagem não é uma prática constante. Os agricultores afirmam que o solo sofre "empedramento" quando calcareados, dificultando o preparo para a semeadura, sendo o preparo convencional predominante, com intenso revolvimento, tornando o solo suscetível a processos de degradação (BENASSI, 2008; BENASSI et al., 2009).

A indicação da forma de incorporação do calcário, mais eficaz para esse solo, em uma dose do corretivo "visivelmente aceita" pelos agricultores, poderia tornar a prática corriqueira, melhorando os impactos sobre a estrutura do solo, o rendimento da produção e a conservação do ambiente.

As práticas de plantio direto se realizam com implementos a tração animal, havendo queima dos resíduos vegetais das safras de verão, e preparo do solo com arado e grade (sistema de preparo convencional). O pousio que em outros tempos era uma prática comum dos agricultores para recuperar a fertilidade, passou a ser pouco eficiente, uma vez que a rotação de culturas ocorre em função da comercialização de grãos (BENASSI, 2008; BENASSI et al., 2009).

A precariedade do sistema viário, a falta de orientação técnica e os custos, acabam limitando a utilização de corretivos de solo, como o calcário, fertilizantes, inseticidas, fungicidas e herbicidas. Consequentemente, as práticas conservacionistas acabam sendo pouco aplicadas, por não terem uma devida adaptação as condições locais (AHRENS, 2006; AULER, 2014).

Embora ocorram restrições químicas e físicas, os solos desta região, vêm sendo cultivados de forma intensiva com fumo, milho, feijão, soja, arroz e mandioca, representando 80% do valor bruto de produção da região (TORRES, 2011).

A correção da acidez visando manter níveis adequados de rendimento é defendida (GUERREIRO, 1994; CASÃO JR., 2012), mas, a correção da acidez com calcário é contestada pelos agricultores, os quais afirmam que o uso frequente do corretivo promove o endurecimento do solo, dificultando as operações de preparo e semeadura e restrição ao desenvolvimento radicular e vegetativo das plantas (BENASSI et al., 2009). Esta alegação se tornou uma das barreiras para a difusão da prática da calagem dos solos pela assistência técnica na região.

O forte da produção familiar está na produção de alimentos para consumo direto, além de gerar empregos no campo contribuindo na diminuição dos índices de êxodo rural (TRICHES; SCHNEIDER, 2010). Sabendo-se que os sistemas de produção, nas propriedades agrícolas de menor porte, dependem de recursos próprios (BENASSI et al., 2008; GUANZIROLI et al., 2012), a realidade do menor poder aquisitivo, fica atrelada ao nível tecnológico condizente com a situação.

Partindo da referência empírica dos agricultores sobre o efeito do calcário nestes solos, em que eles acreditam ser a calagem a causa do “encrostamento superficial”, decidiu-se realizar um estudo sobre a qualidade do solo em função das formas de incorporação e doses de calcário para elevar a saturação por bases, reunindo informações que possam auxiliar na manutenção e conservação da qualidade deste Cambissolo.

Frente ao exposto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos que formas de incorporação e doses de calcário, podem causar sobre a qualidade e sobre os atributos físico-químicos e biológicos do CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico, em sistema de semeadura direta, baseado nas hipóteses de que: (i) as formas de incorporação de calcário diferem entre si na qualidade do solo e a aplicação de calcário sem incorporação apresentará as melhores respostas; b) os atributos físico-químico e biológicos poderão sofrer alterações com as maiores doses de calcário, confirmando as percepções empíricas dos agricultores.

Para tal, buscou-se distinguir os efeitos da associação das formas de incorporação e das doses de calcário na qualidade do solo, através dos (i) atributos físicos (análise visual da estrutura do solo, densidade do solo e porosidade total, resistência tênsil e friabilidade de agregados e estabilidade de agregados); (ii) atributos químicos (teores de carbono orgânico total e estoque de carbono, e análise química dos principais indicadores); e (iii) atributo biológico (determinação do carbono lábil).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização e Descrição da Área

O estudo ocorreu em área localizada no distrito Cerro da Ponte Alta, município de Irati, região centro sul do estado do Paraná, em propriedade rural familiar, sob coordenadas 25°28'0,66" S e 50°54'14,13" O, com altitude aproximada de 821 metros. O clima da região é Cfb, subtropical úmido (Köppen), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, ocorrência de geadas frequentes (mesotérmico), verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2009). A precipitação pluvial média anual é de aproximadamente 1.601 mm, sendo o mês de agosto o mais seco e o de janeiro o mais chuvoso (Fig. 21).

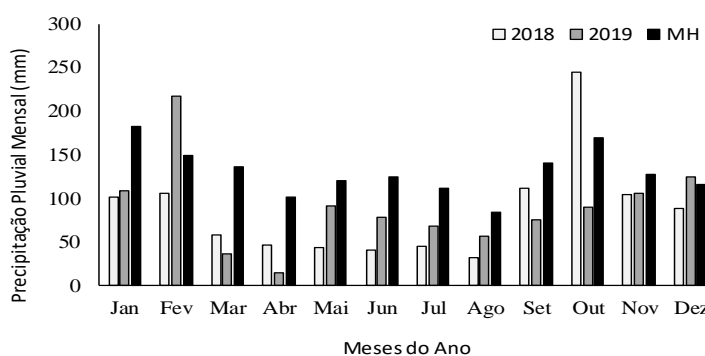


Figura 21: Precipitação pluvial para os anos de 2018 e 2019 e média histórica (MH). Irati (PR).

* Adaptado de IAPAR (2019).

O experimento foi realizado em área de 0,2ha (2.000m²) em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico (EMBRAPA, 2018), textura argilo-siltosa, com gênese em rochas sedimentares pelíticas (argilitos, siltitos e folhelhos) da Formação Teresina (MINEROPAR, 2005). A mineralogia dos solos da região basicamente é composta por muscovita, quartzo e feldspato dos minerais primários e caulinita, illita, óxidos de ferro e de alumínio (gibbsita) dos minerais secundários (MARTINS, 2010; AULER, 2014).

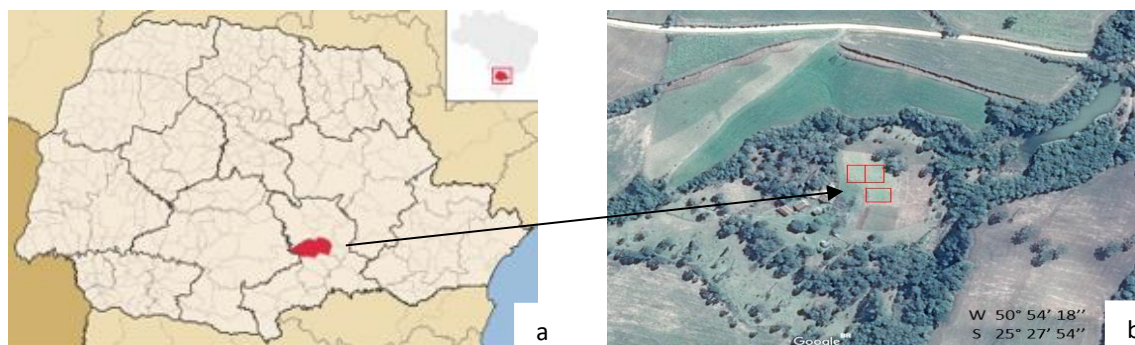


Figura 22: Localização do experimento. Localização no estado do Paraná (a) e na propriedade rural em Irati (b).

4.2.2 Histórico da Área (2012-2015)

Houve conversão de mata nativa (floresta ombrófila mista) em pastagem com grama missioneira gigante (*Axonopus catharinensis*), para poucos animais (equinos e bovinos), e por mais de quarenta anos não houve uso de corretivos ou fertilizantes inorgânicos na área, não sendo confirmada a pressão de pastejo pela análise visual da estrutura do solo inicial (método VESS). Esta análise preliminar (dados não demonstrados), foi relatada por Santos (2015), que forneceu classificação boa (Ev bloco = 1,5) para a qualidade da estrutura do solo (0-0,2m), segundo guia de classificação proposto por Ball; Batey; Munkholm (2007).

Todavia, pelas restrições químicas presentes no solo por ocasião da implantação do experimento (Tabela 12), observou-se que a pastagem se encontrava em estágio avançado de degradação.

Tabela 12: Caracterização química e granulométrica em 0-0,2m do CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico antes do experimento. Maio de 2012.

pH	CTC	H+Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	CO	V	m	areia	silte	argila
		----- mmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	%		----- g kg ⁻¹ -----		
3,7	196,6	176	53	10	6	4,6	2,7	28,3	10	72	40	467	493

pH = potencial hidrogeniônico em CaCl₂; H+Al = acidez potencial; Al³⁺; Ca²⁺; Mg²⁺ e K⁺ = alumínio, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, respectivamente; CTC_(pH 7,0) = capacidade de troca de cátions potencial; P = fósforo disponível (Melich -1); CO = carbono orgânico (Walkley-Black); V e m = saturação por bases e saturação por alumínio, respectivamente.

Fonte: Santos, 2015.

A área experimental reduzida e pouco uniforme não permitiu um delineamento clássico, constituindo um experimento em parcelas subdivididas, área total=600m² (30m x 20m), cada parcela com área=150m² (30m x 5m). Os tratamentos na implantação do experimento constituíram-se da combinação de 4 doses de calcário dolomítico, PRNT de 77%: a) zero calcário (testemunha); b) 10 Mg ha⁻¹; c) 15 Mg ha⁻¹; d) 20 Mg ha⁻¹, calculadas para elevar a saturação por bases da camada de 0-0,2m de profundidade, para 50, 70 e 90%

respectivamente. A incorporação ocorreu de três formas, selecionadas pela maior utilização na região: CSI = calcário sem incorporação; CIAG = calcário incorporado com arado e grade niveladora e CIEG = calcário incorporado com escarificador e grade niveladora (Fig. 23).

Nos tratamentos com incorporação, o corretivo foi aplicado em duas etapas: 50% da dose antes da primeira operação de preparo (uso de arado ou escarificador) e 50% da dose depois da operação, com utilização de grade de niveladora do solo, que foi igual para ambos os modos de incorporação, conforme recomendado por Van Raij et al. (1985). Nos tratamentos sem incorporação (CSI), o corretivo foi aplicado superficialmente em dose única.

A operação com arado utilizou arado de disco reversível, modelo AR-3x28" TM (Lavrale®) com 3 discos de 28". A operação com escarificador utilizou escarificador modelo JMHS-5(Jan®) com cinco hastes, espaçadas a 0,4m. Ambas as operações foram realizadas à 0,25m de profundidade.

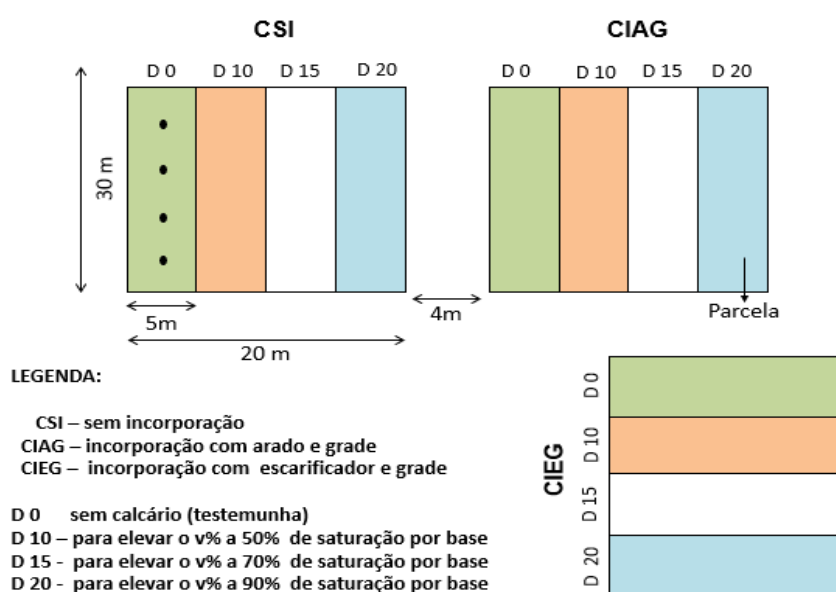


Figura 23: Croqui da área experimental. Serro da Ponte Alta, Irati-PR.

Após as operações, a complementação da incorporação utilizou grade niveladora, modelo NV (Baldan®), 32 discos de 20", espaçados em 0,175m, à 0,1m de profundidade.

4.2.3 Culturas Utilizadas

Após a instalação do experimento e aplicação do calcário, com as operações mecânicas distintas, foram semeados adubos verdes (de inverno) consorciados a aveia preta (*Avena strigosa*) cv. Iapar 61 (50 kg ha⁻¹) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) (50 kg ha⁻¹) para cobertura.

A semeadura foi manual, a lanço, sem adubação. As plantas daninhas foram erradicadas manualmente.

Em estágio de florescimento pleno a grãos leitosos, realizou-se a dessecação da cobertura com herbicida sistêmico de amplo espectro (Glyphosate-1,2 kg ha⁻¹), aplicado com pulverizador de barras acoplado a engate de três pontos do trator, com pontas 110.03 e vazão de calda de 250 L ha⁻¹.

Aos 30 dias após a dessecação, a cultura de primavera/verão foi semeada, milho (*Zea mays*) variedade IPR 164, em espaçamento de 0,9m entre linhas e densidade aproximada de 7 sementes por metro em sistema de semeadura direta. A adubação de base utilizou fertilizante da formulação 08 28 16 (N-P₂O₅-K₂O), na dose de 300 kg ha⁻¹.

As doses de nitrogênio, na semeadura e como adubação complementar em cobertura (estádio V₄), foram realizadas em conformidade com análises químicas de rotina realizadas antes da implantação da cultura, considerando-se as exigências nutricionais das espécies cultivadas. As colheitas se realizaram manualmente em maio, a cada ano, e esta prática se repetiu até 2015. De 2015 a 2018 ocorreu apenas o sistema de semeadura direta, sem a mobilização do solo.

4.2.4 Calagem Realizada em 2018

Após 6 anos da primeira calagem, em maio de 2018, foi realizada a coleta de amostras de solo dos tratamentos, para verificar a necessidade de calagem.

Com estas informações, o calcário dolomítico, PRNT de 92,8%, foi aplicado manualmente em outubro/2018, após período chuvoso, seguindo os mesmos passos realizados na implantação do experimento para elevar a saturação por bases a 50, 70 e 90% (Tabela 13).

Tabela 13: Aplicação de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 50, 70 e 90%.

Doses para elevar a saturação por bases (V%)		CSI	CIAG	CIEG
		Mg ha ⁻¹		
D0	Testemunha	0	0	0
D1	Saturação 50%	5,55	4,32	2,52
D2	Saturação 70%	7,10	3,55	7,01
D3	Saturação 90%	10,37	8,80	9,96

CSI= calcário sem incorporação. CIAG= calcário incorporado com arado e grade. CIEG= calcário incorporado com escarificador e grade.

Fonte: A autora.

As doses em Mg ha^{-1} foram convertidas para kg m^{-2} , respeitando a proporção de aplicação para a área de cada parcela, com a aplicação de metade da dose e posterior uso de arado ou escarificador, conforme a forma de incorporação. Aplicou-se então a outra metade, com posterior uso de grade niveladora. No preparo sem incorporação, foi realizada a aplicação superficial das doses em uma única vez, sem mobilização, seguindo o mesmo planejamento da instalação do experimento.

O experimento continuou sendo conduzido normalmente, e decorridos 7 meses da aplicação do calcário (maio de 2019), após colheita manual do milho, foram realizadas as amostragens para as análises físico-químicas e biológica.

4.2.5 Delineamento Experimental

Respeitou o primeiro delineamento proposto, em parcelas subdivididas, totalizando 48 unidades experimentais (4 parcelas por forma de incorporação x 3 formas de incorporação x 4 pontos por parcela, em duas profundidades 0-0,1 e 0,1-0,2m), mantendo as dimensões iniciais das parcelas. Os fatores corresponderam as doses de calcário (D0=sem aplicação, D1=doses para elevar a saturação por bases a 50%, D2=doses para elevar a saturação por bases a 70%, e D3=doses para elevar a saturação por bases a 90%) e os métodos de incorporação (CSI=calcário sem incorporação; CIAG=calcário incorporado com arado e grade niveladora e CIEG=calcário incorporado com escarificador e grade niveladora).

4.2.6 Avaliações

A observação inicial da qualidade do solo, foi realizada pela avaliação visual da estrutura (técnica VESS - Visual Evaluation of Soil Structure), determinando as camadas presentes e sua espessura e os escores para as mesmas. Dos blocos utilizados para a análise visual, foram retirados 10 agregados de cada camada, com a respectiva classificação por tamanho e submissão ao teste de resistência tênsil de agregados e friabilidade. Em cada parcela 4 blocos indeformado forneceram material para as avaliações que seguiram: estabilidade de agregados (via seca e via úmida), determinação de matéria orgânica, carbono orgânico total, carbono lábil, estoque de carbono e a caracterização química. A densidade do solo e porosidade total foram determinadas através de anéis volumétricos.

4.2.7 Material e Métodos

A metodologia utilizada nas análises foi a mesma utilizada e descrita no item 3.4.4. Análises realizadas.

4.2.8 Análise Estatística

A Anova seguiu delineamento em parcelas subdivididas para verificar o efeito das formas de incorporação e doses de calcário na qualidade físico-química e biológica do Cambissolo em 0-0,1 e 0,1-0,2m. A normalidade dos dados foi testada por Shapiro-Wilk a 5% de significância e as médias foram comparadas por Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas através do software R (R Core Team, 2018).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância todos os atributos foram significativos em pelo menos uma fonte de variação, e os atributos que apresentaram menor variação experimental foram o DMP_s e IEA_s (0,1-0,2m), observado nos menores coeficientes de variação. A variável com maior variação experimental foi o alumínio, uma vez que apresentou o maior coeficiente de variação.

O coeficiente de variação (Cv) indicou a variabilidade dos dados, e adotou-se como base os critérios propostos por Wilding; Drees, (1983) que consideram os valores entre 15 e 35% como moderada variabilidade e os valores abaixo e acima deste intervalo como de baixa e alta variabilidade, respectivamente. Na tabela 14 encontra-se o teste F, o nível de significância e o coeficiente de variação para os atributos analisados.

A avaliação visual da estrutura do solo (VESS), mostrou que aproximadamente 60% da área, de acordo com a técnica proposta por Ball et al. (2017), recebeu escores que variaram entre 1 e 2,0; 37% receberam escores que variam entre 2,1 e 2,4 e 3% receberam escores entre 2,5 e 3,0, apresentando uma boa qualidade estrutural, sem necessitar da interferências de manejo para a recuperação da área (dados não demonstrados).

A forma de incorporação CIAG, formou agregados maiores com o aumento das doses aplicadas, e este comportamento ocorreu em função da mobilização do solo, que permitiu um maior contato entre as partículas do solo e do calcário.

O comportamento dos atributos físicos no Cambissolo até 0,4m podem ter similaridade aos Latossolos, quando houver revolvimento efetivo proporcionado pelo equipamento, nesta

profundidade, aliviando a estrutura pelo rompimento dos agregados maiores. O efeito agregante posterior ocorre pela constante manutenção de resíduos vegetais em diferentes níveis de decomposição, associado ao efeito do cálcio proveniente do calcário, como observado em experimento realizado por Silva et al. (2016).

Tabela 14: Nível de significância das variáveis analisadas: escore visual de camadas (EVC), densidade do solo (ds), porosidade total (Pt), resistência tênsil de agregados (RT), friabilidade (F), carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL), estoque de carbono (EC), potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), diâmetro médio ponderado via úmida (DMP), diâmetro médio geométrico via úmida (DMG), índice de estabilidade de agregados via úmida (IEA), diâmetro médio ponderado via seca (DMP_s), diâmetro médio geométrico via seca (DMG_s), índice de estabilidade de agregados via seca (IEA_s), fósforo (P), potássio (K), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), umidade (U) em 0-0,1 e 0,1-0,2m.

Pr (> Fc) 0-0,1m											
Fontes de variação	EVC	Ds	Pt	RT	F	COT	CL	EC	pH	Ca	Mg
Formas de incorporação	ns	0,010*	ns	ns	0,022*	ns	1,1e-05***	ns	2e-16***	2e-16***	2e-16***
Doses de calcário	ns	ns	ns	0,089*	ns	ns	ns	ns	2e-16***	2e-16***	2e-16***
Interação entre fatores	0,0009***	0,002**	0,047**	ns	ns	2 e-16***	ns	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***
Cv (%)	27,14	6,32	5,07	18,7	38,7	14,6	25,19	22,53	18,5	53,7	59,5
Pr (> Fc) 0,1-0,2m											
Fontes de variação	EVC	Ds	Pt	RT	F	COT	CL		pH	Ca	Mg
Formas de incorporação	ns	0,0001*	0,521**	ns	0,020*	ns	ns		2,4e-05***	2e-16***	2e-16***
Doses de calcário	0,040*	ns	0,0725**	ns	ns	ns	ns		2e-16***	2e-16***	2e-16***
Interação entre fatores	ns	0,015**	ns	0,015*	ns	2e-16***	0,048*		2e-16***	2e-16***	2e-16***
Cv (%)	16,4	6,6	4,6	14,8	34,2	15,25	28,4		18,1	68,4	75,5
Pr (> Fc) 0-0,1m											
Fontes de variação	DMP	DMG	IEA	DMP_s	DMG_s	IEA_s	Al	P	K	V %	
Formas de incorporação	0,003**	0,001**	0,0003***	ns	1,7e-05***	ns	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	
Doses de calcário	0,002***	0,0003***	9,4e-05***	0,0703*	2e-16***	0,041*	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	
Interação entre fatores	ns	ns	4,2e-05***	ns	7,0e-06***	ns	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	
Cv (%)	23,5	19,8	8,04	7,41	15,6	5,6	83,6	49,6	24,8	51,5	
Pr (> Fc) 0,1-0,2m											
Fontes de variação	DMP	DMG	IEA	DMP_s	DMG_s	IEA_s	Al	P	K	V %	
Formas de incorporação	ns	0,010*	1,7e-05***	ns	0,0001***	0,0002***	2e-16***	2e-06***	8,3e-0,5***	2e-06***	
Doses de calcário	ns	2e-16***	0,0021**	0,007**	2e-16***	9,9e-05***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	
Interação entre fatores	2,2e-16***	2e-16***	3,4e-05***	0,002**	2e-16***	2,0e-06***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	2e-16***	
Cv (%)	26,8	20,58	5,79	3,66	9,8	2,96	96,8	53,7	27,2	66,6	

ns: não significativo. * ** *** significativo a 0,05, 0,01 e 0,001 respectivamente.

Fonte: a autora.

Desta forma, Müller et al. (2012) observaram escores de 2,04 em 0-0,15m para áreas de semeadura direta no Paraná, e Müller et al. (2009) obtiveram médias de 1,71 para áreas sem revolvimento do solo, em experimentos com mais de 10 anos de acompanhamento.

Silva (2020) avaliando a estrutura do solo pela análise visual (0-0,1m), em Latossolo, sob manejos distintos, com e sem aplicação de calcário, encontrou diferenças para os escores, com índices menores em semeadura direta, comparado ao preparo convencional. Este comportamento também foi observado no Cambissolo na associação das formas de incorporação e doses.

A densidade do solo no CIAG, decresceu com o aumento das doses (0-0,1m), fato proporcionado pela quebra da estrutura pela ação do implemento. No CIEG a densidade aumentou em (0-0,1 e 0,1-0,2m), fato que pode ter ocorrido pelo adensamento provocado pela mecânica de movimento do escarificador, aumentando então a densidade do solo. Auler; Pires; Caires (2017a) avaliando a relação entre densidade do solo e calcário aplicado em superfície, sem incorporação e incorporado, neste mesmo Cambissolo, concluíram que a aplicação de calcário sem incorporação resultou em reduções significativas na densidade do solo na camada de 0-0,1m, o que não se confirmou nesta pesquisa para o CSI (Tabela 15).

A maior mobilização do solo reduz inicialmente a densidade pelo corte e a inversão das camadas, o que reduz a macroporosidade, dificultando trocas gasosas com a atmosfera (MAZURANA et al., 2011). Entretanto permite maior movimentação da umidade, o que favorece a solubilização e a reação do calcário, com reflexo direto sobre a densidade do solo (ANDRADE et al., 2012; AULER, 2014).

Nos Cambissolos originados de rochas pelíticas é comum o adensamento, que afeta atributos morfológicos (PEREIRA et al., 2010), a exemplo da consistência dura quando o solo está seco; e atributos físicos, a exemplo da baixa infiltração à água e baixa condutividade hidráulica (ALMEIDA; RESENDE, 1985).

Considerando a ocorrência da porosidade total, entre e dentro dos macroagregados do solo, e a densidade como inversamente proporcional a porosidade, o aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação ao Al^{3+} , a elevação do pH e a precipitação de hidróxidos amorfos de alumínio, podem ter auxiliado no aumento da porosidade em 0-0,1m (AULER; PIRES; CAIRES, 2017a), uma vez que a densidade não foi significativa no CSI, mas a porosidade foi.

Os cátions polivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), atuando como pontes catiônicas, ligam carbono orgânico e fração argila, formando microagregados pelo acúmulo de resíduos culturais em superfície.

Tabela 15: Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas.

IQS	Profundidade	Incorporação	Dose de calcário				Unidade	Equação	R ²	Comportamento nas doses
			D0	D1	D2	D3				
VESS	0-0,1m	CIAG	1,00	1,12	1,75	1,75	adimensional	$y = 0,0012x^2 + 0,02x + 0,97$	0,82	aumentou
	0,1-0,2m	CIAG	1,96							
		CIEG	1,78	1,75 a	2,00 a	1,75 a	1,91 a	adimensional		
		CSI	1,81							
Ds	0-0,1m	CIAG	1,27	1,29	1,17	1,15	g cm ⁻³	$y = -0,0005x^2 + 0,004x + 1,27$	0,80	decreceu
		CIEG	1,06	1,15	1,18	1,20		$y = -0,0002x^2 + 0,01x + 1,06$	0,99	aumentou
	0,1-0,2m	CIEG	1,11	1,16	1,22	1,25	$y = 0,0001x^2 + 0,0047x + 1,11$	0,98	aumentou	
Pt	0-0,1m	CSI	0,50	0,56	0,54	0,64	m ³ m ⁻³	$y = 0,0003x^2 - 2E-05x + 0,50$	0,81	aumentou
	0,1-0,2m	CIAG	0,56				m ³ m ⁻³			
		CIEG	0,55	0,56	0,57	0,55		0,53		
		CSI	0,56							
RT	0-0,1m	CIAG	53,23				kPa			
		CIEG	59,28	52,34	53,91	60,21		61,54		
		CSI	58,49							
	0,1-0,2m	CIAG	44,97	49,19	60,84	65,34	kPa	$y = 0,0412x^2 + 0,27x + 44,60$	0,94	aumentou
F	0-0,1m	CIAG	0,32 b				adimensional			-
		CIEG	0,44 a	0,33	0,36	0,32		0,44		
		CSI	0,32 b							-
	0,1-0,2m	CIAG	0,32 b				adimensional			-
		CIEG	0,42 a	0,38	0,29	0,33		0,42		
		CSI	0,32 b							-
COT	0-0,1m	CIAG	21,82	27,63	25,71	22,56	g kg ⁻¹	$y = -0,0517x^2 + 1,06x + 21,87$	0,98	decreceu
		CIEG	33,06	23,37	27,25	29,98		$y = 0,072x^2 - 1,56x + 32,87$	0,92	aumentou
		CSI	29,59	34,64	27,64	33,85		$y = -0,0022x^2 + 0,15x + 30,13$	0,07	decreceu
	0,1-0,2m	CIAG	22,56	24,51	21,00	23,36	g kg ⁻¹	$y = -0,0035x^2 + 0,06x + 22,80$	0,01	decreceu
		CIEG	31,54	19,86	28,03	26,09		$y = 0,063x^2 - 1,43x + 31,01$	0,56	aumentou
		CSI	21,41	24,13	17,48	22,17		$y = -0,0007x^2 - 0,04x + 21,86$	0,02	decreceu

Fonte: a autora.

Considerando a ausência de revolvimento, os compostos orgânicos podem complexar parte do alumínio tóxico reduzindo efeitos da acidez superficial, favorecendo o crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, aumentando então a porosidade total (BLANCHART et al., 2004; AULER; PIRES; CAIRES, 2017a).

Sendo assim, a porosidade contínua e a abertura de canais pela macrofauna do solo são favorecidas pela melhora do ambiente físico (ROWLEY; GRAND; VERRECCHIA, 2018), reforçando o resultado encontrado no CSI, concordando com Corrêa et al. (2009), em que superficialmente o cálcio provindo do calcário aumentou a porosidade total, associado a ausência de revolvimento, preservando a qualidade do solo.

Em 0,1-0,2m a porosidade não diferiu entre as formas de incorporação e as doses (Tabela 15). Os resultados se assemelharam aos encontrados por Tormena et al. (2002), em Latossolo Vermelho distrófico, franco-argilo-arenoso, através da avaliação de propriedades físicas nos métodos de preparo com e sem revolvimento, utilizando escarificador e arado, no qual não houve diferenças para porosidade total, na mesma profundidade.

Santos (2015) e Auler; Pires; Caires (2017a), neste mesmo Cambissolo Háplico Alumínico, verificaram que a porosidade total não foi afetada pela calagem e pelas formas de incorporação em 0,1-0,2m. Estes resultados concordam com os resultados encontrados neste estudo, e os mesmos estão se mantendo com o decorrer do tempo.

A RT de agregados não diferiu entre as formas de incorporação e as doses de calcário aplicadas (Tabela 15). Sabe-se que os teores de argila influenciam a RT de agregados, como já observado por Kemper; Rosenau; Dexter (1987) e Bartoli; Burtin; Guérif (1992) que confirmaram o efeito dos conteúdos de argila na RT, mas, não encontraram o mesmo efeito nos teores de silte, assim como os teores de COT também interferem nos resultados da resistência tênsil.

Em 0,1-0,2m a RT aumentou com o aumento das doses no CIAG, pois o calcário pelas pontes catiônicas, tornaram os agregados mais estáveis, pelo maior contato entre as partículas de argila e a matéria orgânica. Por outro lado, a friabilidade entre as formas de incorporação, se destacou no CIEG para as duas profundidades, e, segundo Dexter (2004) a resistência tênsil de agregados e a friabilidade são controladas pela distribuição das microfissuras e pontos de fraqueza no interior dos agregados, que podem ser causadas pela relação entre a friabilidade e o carbono orgânico do solo, estabelecendo uma hierarquia bem desenvolvida da estrutura e da qualidade do solo (DEXTER, 2004; GUIMARÃES et al., 2009). Neste estudo, a resposta para os tratamentos enquadra-se na classe friável, evidenciando a existência de condições físicas adequadas para o bom contato solo-semente por ocasião da semeadura.

O comportamento do COT (Tabela 15) confirmou maiores teores em superfície (0-0,1m) e decréscimo em subsuperfície, concordando com Vasconcelos et al. (2010), Calonego et al. (2012) e Freitas et al. (2018), apontando para a relação de equilíbrio entre inputs de matéria orgânica e ação microbiana na decomposição (WANG et al., 2017; NARESH et al., 2018). O aumento dos teores de COT no CIEG nas duas profundidades, se deu pelo menor revolvimento, menor oxidação, mantendo o carbono protegido no interior dos agregados, fato que não ocorreu no CIAG, pela mobilização e no CSI, onde o carbono sofreu decréscimo em função dos resíduos superficiais não terem sido suficientes para repor o carbono, pois as doses aplicadas, pela lenta movimentação, não favoreceram o crescimento radicular, o que não incrementou os teores de carbono.

A neutralização do alumínio trocável (Al^{3+}), a maior disponibilidade de fósforo (P) o aumento de bases trocáveis proporcionados pela calagem, além de reduzir a acidez e aumentar a saturação por bases, favorecem o crescimento e desenvolvimento das plantas (PAUSTIAN et al., 1997), principalmente o crescimento radicular, beneficiando o acúmulo de carbono (BRIEDIS et al., 2012b, CAIRES et al., 2008; WANG et al., 2017), justificado pelo aporte contínuo de biomassa vegetal (CASTRO; CRUSCIOL, 2013; MI et al., 2016).

O CL em 0-0,1m, teve seus maiores teores no CIAG, não diferindo nas formas de incorporação e doses (Tabela 16), fato justificado pelo revolvimento que aumentou a microbiota de solo, aumentando a atividade da biomassa, que pode ter utilizado o CL acumulado em sistema de semeadura direta, incrementando assim os seus teores, além de contabilizar os corpos mortos associados a biomassa microbiana que também somam teores de CL.

Em 0,1-0,2m, os restos culturais incorporados com a mobilização do solo, no CIAG, também incrementaram o CL e a incorporação do calcário associado ao aumento da dose, favoreceu o ambiente propício aos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, aumentando os teores. No CSI apenas as entradas de matéria orgânica poderiam computar aumentos no CL, e isso para 0,1-0,2m, pode ser explicado pelo crescimento do sistema radicular do milho, que incrementou em profundidade o CL (LOSS et al., 2015). No CIEG, a matéria orgânica acabou sendo preservada no interior dos agregados, decrescendo o teor de CL.

A literatura registra estudos em que não houve efeito do preparo do solo e da fertilização nas frações de CL (LADONI et al., 2015; MARGENOT et al., 2017), mostrando efeito das propriedades do solo pela não homogeneidade na distribuição de resíduos vegetais e microbianos, tipo de matéria orgânica e quantidade de entrada, condições ambientais e tempo de amostragem (FREITAS et al., 2018).

Tabela 16: Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas (continua).

IQS	Profundidade	Incorporação	Dose de calcário				Unidade	Equação	R ²	Comportamento nas doses
			D0	D1	D2	D3				
CL	0-0,1m	CIAG	3,09 a	2,40	2,51	2,51	2,63	g kg ⁻¹		não diferiu
		CIEG	2,63 b							-
		CSI	1,82 c							-
	0,1-0,2m	CIAG	2,6	2,79	2,41	2,91	g kg ⁻¹	$y = 0,0013x^2 - 0,017x + 2,63$	0,18	aumentou
		CIEG	3,3	2,76	2,85	2,71		$y = 0,0018x^2 - 0,063x + 3,29$	0,91	decreceu
		CSI	1,24	1,84	1,66	2,03		$y = -0,0009x^2 + 0,052x + 1,26$	0,81	aumentou
EC	0-0,2m	CIAG	28,31	35,36	36,08	33,36	Mg ha ⁻¹	$y = -0,0474x^2 + 1,209x + 28,27$	0,99	decreceu
		CIEG	28,74	43,74	38,21	37,27		$y = -0,0892x^2 + 2,139x + 29,10$	0,87	decreceu
		CSI	30,45	41,32	35,67	36,82		$y = -0,0575x^2 + 1,391x + 30,84$	0,72	decreceu
DMP	0-0,1m	CIAG	2,03 a	2,03 a	2,15 a	1,95 a	1,55 b	mm		decreceu em D3
		CIEG	1,98 b							-
		CSI	1,73 b							-
	0,1-0,2m	CIAG	2,34	2,20	1,93	2,20	mm	$y = 0,0016x^2 - 0,043x + 2,36$	0,57	manteve
		CIEG	2,15	1,89	2,38	1,46		$y = -0,0033x^2 + 0,042x + 2,10$	0,41	decreceu
		CSI	2,17	2,65	2,16	1,20		$y = -0,0096x^2 + 0,144x + 2,17$	0,99	decreceu
DMG	0-0,1m	CIAG	1,97 a	1,97 a	2,04 a	1,90 a	1,42 b	mm		não diferiu até D2
		CIEG	1,83 a							não diferiu até D2
		CSI	1,72 b							-
	0,1-0,2m	CIEG	2,00	1,86	2,23	1,10	mm	$y = -0,0055x^2 + 0,076x + 1,95$	0,63	decreceu
		CSI	2,11	2,36	2,09	1,72		$y = -0,0106x^2 + 0,147x + 2,09$	0,96	decreceu
		CIAG	70,88	61,25	64,8	60,37		%	$y = 0,0253x^2 - 0,957x + 70,51$	0,77
CIEG	54,7	57,14	60,64	59,77	$y = -0,0071x^2 + 0,427x + 54,54$	0,86	aumentou			
CSI	65,22	56,38	59,61	57,02	$y = 0,0325x^2 - 1,001x + 64,92$	0,79	aumentou			
IEA	0-0,1m	CIAG	66,82	68,96	66,83	63,98	%	$y = -0,0337x^2 + 0,524x + 66,86$	0,98	decreceu
		CIEG	57,91	58,52	64,34	61,50		$y = -0,005x^2 + 0,346x + 57,57$	0,52	aumentou
		CSI	9,43	9,78	24,78	6,44		mmol _c dm ⁻³	$y = -0,0774x^2 + 1,6341x + 8,25$	0,25
	CIEG	36,89	10,05	14,43	23,28	$y = 0,1903x^2 - 4,4454x + 36,69$	0,98		aumentou	
	CSI	21,04	18,04	25,72	11,17	$y = -0,058x^2 + 0,8213x + 20,27$	0,41		decreceu	
	P	0-0,1m	CIAG	8,09	3,87	5,42	6,57	mmol _c dm ⁻³	$y = 0,0307x^2 - 0,6751x + 8,01$	0,93
CIEG			20,52	5,41	10,54	18,49	$y = 0,1333x^2 - 2,736x + 20,37$		0,98	aumentou
CSI			13,05	7,08	6,63	8,41	$y = 0,0372x^2 - 0,9797x + 13,06$		0,99	aumentou

Tabela 16: Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas (conclusão).

IQS	Profundidade	Incorporação	Dose de calcário				Unidade	Equação	R ²	Comportamento nas doses	
			D0	D1	D2	D3					
DMP_s	0-0,1m	CIAG	2,74				mm			não diferiu	
		CIEG	2,59	2,53	2,62	2,71					2,70
		CSI	2,59								
	0,1-0,2m	CIAG	2,85	2,75	2,66	2,79	mm	$y = 0,001x^2 - 0,025x + 2,86$	0,73	aumentou	
CSI		2,83	2,80	2,77	2,88	$y = 0,0008x^2 - 0,013x + 2,83$		0,72	aumentou		
DMG_s	0-0,1m	CIAG	1,90	2,69	2,82	2,70	mm	$y = -0,004x^2 + 0,120x + 1,90$	0,99	aumentou	
		CIEG	1,87	2,31	2,17	2,37		$y = -0,0011x^2 + 0,044x + 1,88$	0,81	aumentou	
		CSI	1,81	2,08	2,06	1,97		$y = -0,0019x^2 + 0,045x + 1,81$	0,99	decreceu	
	0,1-0,2m	CIAG	2,37	2,85	2,70	2,84	mm	$y = -0,0017x^2 + 0,054x + 2,38$	0,83	decreceu	
IEA_s	0-0,1m	CIAG	86,68				%			não diferiu	
		CIEG	84,55	88,75	83,68	86,38					86,99
		CSI	88,12	a	b	ab					ab
	0,1-0,2m	CIAG	87,61	81,95	82,60	83,90	%	$y = 0,0358x^2 - 0,892x + 87,56$	0,98	aumentou	
CSI		88,05	87,52	88,38	90,45	$y = 0,0179x^2 - 0,241x + 88,06$		0,99	aumentou		
pH	0-0,1m	CIAG	3,8	4,92	5,46	5,63	adimensional	$y = -0,0025x^2 + 0,144x + 3,79$	0,99	aumentou	
		CIEG	3,5	4,59	5,85	6,05		$y = -0,0002x^2 + 0,141x + 3,46$	0,95	aumentou	
		CSI	3,8	6,02	6,05	6,05		$y = -0,01x^2 + 0,309x + 3,82$	0,98	manteve	
	0,1-0,2m	CIAG	3,82	5,33	4,64	5,78	adimensional	$y = -0,0015x^2 + 0,113x + 3,89$	0,70	aumentou	
		CIEG	3,53	3,91	6,06	5,43		$y = 0,0001x^2 + 0,115x + 3,42$	0,68	aumentou	
		CSI	3,8	4,31	4,04	4,65		$y = 0,0008x^2 + 0,019x + 3,83$	0,69	aumentou	
V	0-0,1m	CIAG	10,8	68,75	83,54	91,67	%	$y = -0,1713x^2 + 7,455x + 10,88$	0,99	aumentou	
		CIEG	6,75	55,91	89,84	90,98		$y = -0,1237x^2 + 6,898x + 5,69$	0,97	aumentou	
		CSI	13,88	89,44	89,86	90,81		$y = -0,3363x^2 + 10,433x + 14,57$	0,98	aumentou	
	0,1-0,2m	CIAG	13,23	78,11	60,3	83,08	%	$y = -0,1985x^2 + 7,059x + 15,25$	0,85	aumentou	
		CIEG	4,91	18,53	89,92	75,95		$y = -0,0693x^2 + 3,044x + 1,52$	0,76	aumentou	
		CSI	12,52	44,6	17,08	54,43		$y = -0,0168x^2 + 1,247x + 15,08$	0,42	aumentou	

Soma-se a isto, o tipo de solo associado ao manejo, pois solos com textura leve e altas adições de matéria orgânica tem efeito benéfico sobre o COT e o CL, semelhante ou até superior aos resultados encontrados em lavoura conservacionista (CHIVENGE et al., 2007; FREITAS et al., 2018).

Pezzolla et al. (2015) e Li et al. (2018) encontraram aumento e concentração de CL no solo, com efeito direto das entradas de matéria orgânica no CL pela adição de substratos que estimulam a biomassa microbiana e efeitos indiretos através da provisão de um ambiente físico adequado. A adição da matéria orgânica introduz populações microbianas externas, que contribuem para o aumento dos pools de CL (BASTIDA et al., 2008).

O EC com relação as doses de calcário, decresceu para todas as formas de incorporação (Tabela 16); e isso explica-se pelo aumento da respiração basal do solo e da biomassa microbiana, em função das aplicações de calcário, que aumentam a decomposição da matéria orgânica e aporte de carbono (FUENTES et al., 2006; YAGI et al., 2014; WANG et al., 2017). Entretanto se a análise for realizada em função da ausência de calcário para as doses de calcário, percebe-se o aumento do EC relacionado ao aumento de fertilidade do solo com acréscimo do pH e maior CTC. A calagem com incorporação agiliza o processo de dissociação do calcário em profundidade, aumentando os EC, pois o Ca^{2+} pode atuar como ponte catiônica entre moléculas orgânicas e argilo-minerais aumentando os EC (BRIEDIS et al., 2012a; WANG et al., 2017).

Em superfície, esta resposta nos primeiros centímetros do perfil é rápida (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2008) mas em profundidade depende da melhora de características físico-químicas e biológicas do solo, em decorrência da manutenção superficial dos resíduos culturais.

O maior índice para o DMP (0-0,1m) foi no CIAG, o DMG não diferiu os índices entre CIAG e CIEG (0-0,1m). O tamanho dos agregados é influenciado pela forma de incorporação, e a relação entre preparo do solo e estabilidade de agregados mostra forte interação entre manejo, estabilidade e tamanho dos agregados (BONO; MACEDO; TORMENA, 2013). Em cultivos intensivos o solo pode perder sua estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, reduzindo macroporos, aumentando microporos e densidade. A intensidade com que estas alterações ocorrem dependem do tipo de solo e dos sistemas de manejo utilizados (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Em 0,1-0,2m tanto para DMP quanto DMG houve decréscimo nos índices no CIEG e os decréscimos nos índices resultam da ruptura dos agregados por meio das operações mecânicas, acelerando a decomposição da matéria orgânica e promovendo menores teores de

COT, principalmente diminuindo a matéria orgânica particulada que forma pontes de nucleação contribuindo para a formação de microagregados no interior dos macroagregados (SAINÉPO; GACHENE; KARUMA, 2018). Com a exposição da matéria orgânica particulada, fisicamente protegida no interior dos agregados, ocorre rápida decomposição, e posterior decréscimo da atividade microbiana, liberação de mucilagens, acarretando perda de estabilidade dos macroagregados e, conseqüentemente, aumento dos microagregados (OADES, 1984) com redução dos índices DMP e DMG. As forças mecânicas que estabilizam os agregados ocorrem com maior intensidade com o uso de plantas de cobertura em comparação a culturas comerciais como soja e milho (BONO; MACEDO; TORMENA, 2013), além do calcário que auxilia na estabilização através das pontes catiônicas.

O IEA, decresceu no CIAG nas duas profundidades e aumentou no CIEG nas duas profundidades e no CSI em 0-0,1m. A maior dose de calcário, pode ter influenciado negativamente sobre as partículas de argila, provocando menores índices de DMP e DMG. A redução do IEA pode ter ocorrido pelo decréscimo nos teores de COT, reduzindo, então, a estabilidade. Segundo Campos et al. (2013) há uma correlação altamente significativa entre o aumento no teor de matéria orgânica e o aumento da estabilidade de agregados, comprovada por Calonego; Rosolem (2008) que ao avaliar a estabilidade do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação, observaram maior ruptura da estrutura em subsuperfície que em superfície, pelo menor teor de matéria orgânica presente, promovendo menor estabilidade.

O fósforo (0-0,1m) aumentou no CIEG (Tabela 16) e em 0,1-0,2m aumentou nas três formas de incorporação. Segundo Bernardi et al. (2002) os principais fatores que afetam a disponibilidade do fósforo relacionam-se as quantidades adicionadas, o tempo e o volume de contato com o solo, o tipo e a quantidade de minerais presentes e o pH do solo. Kiehl; Lambais (1994), afirmam que o teor do elemento é maior em superfície e decresce em profundidade, sendo que a adsorção de fósforo ocorre através de complexos de esfera interna em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. A atuação do fósforo é semelhante à calagem, aumentando as cargas negativas na superfície das partículas, o que incrementaria o potencial elétrico negativo superficial.

A fração argila das regiões tropicais é constituída predominantemente por caulinita e óxidos de ferro e de alumínio, minerais de carga variável, que possuem alto poder de fixação de fosfato. Como consequência, grande parte do fósforo aplicado em solos argilosos é adsorvida na forma não trocável, com poucas chances de retornar à solução do solo e ser aproveitada pelas plantas (BERNARDI et al., 2002).

Os fosfatos diferentemente da calagem, não interferem sobre o grau de flocculação da argila, por outro lado, estudos com solos de regiões tropicais têm evidenciado efeito negativo da adição de fósforo sobre atributos físicos de solos ou horizontes com baixos teores de carbono orgânico (ROTH; PAVAN, 1991). Silva; Lima; Dias Junior (1999) verificaram, em dois solos de Minas Gerais, teores de COT entre 12 e 22 g kg⁻¹, e uma dispersão de argila com a aplicação de fosfato, tornando-os sujeitos à compactação. A aplicação de fósforo nesses solos alterou também os limites de consistência, reduzindo a amplitude da zona de friabilidade e a capacidade de trabalho dos solos.

O aumento na dispersão das argilas pela adição de fósforo foi também relatado por Lima; Anderson; Curi (2000) em solos intemperizados de Minas Gerais, onde a adsorção de fósforo aumentou as cargas negativas na superfície das partículas e favoreceu a dispersão dos colóides, o que foi mais evidente no horizonte B em relação ao A, pela menor influência da matéria orgânica como agregante em subsuperfície.

O DMP_s não diferiu em 0-0,1m e em 0,1-0,2m aumentou no CIAG e CSI. O DMG_s aumentou no CIAG e CIEG em 0-0,1m, e decresceu no CIAG em 0,1-0,2m. O IEA_s não diferiu em 0-0,1m, mas aumentou no CIAG e CSI em 0,1-0,2m (Tabela 16).

A agregação depende do uso e manejo do solo, os quais têm relação direta com a cobertura vegetal e com o aporte e manutenção da matéria orgânica. A estruturação do solo depende de características intrínsecas (textura, mineralogia) e extrínsecas, que se referem aos agentes condicionadores (material orgânico e microrganismos) (TISDALL, 1994), embora possa ser degradada, dependendo do uso, manejo, intensidade e do tempo de utilização (WENDLING et al., 2005). Em semeadura direta, o calcário aplicado em superfície, sem revolvimento, mantém a integridade dos agregados evitando a exposição da matéria orgânica (CAIRES et al., 2006). Segundo Ridley et al. (1990) em longo prazo, a dinâmica da matéria orgânica em relação à calagem pode ser diferente, em razão dos efeitos indiretos relacionados à maior produção de fitomassa por área, atribuídos a melhorias nas condições edáficas e, principalmente, em razão da neutralização do alumínio trocável, favorecendo a estabilidade dos agregados.

O pH e a saturação por bases aumentaram em ambas profundidades e em todas as formas de incorporação (Tabela 16). A eficiência da aplicação de calcário na correção da acidez em camadas superficiais do solo é muito observada no sistema de semeadura direta (KAMINSKI et al., 2005; CAIRES et al., 2006; PAULETTI et al., 2014), considerando que a baixa solubilidade do calcário e o efeito da calagem superficial nos atributos químicos do solo,

podem variar de acordo com a acidez na camada superficial, a dose utilizada, o tempo de reação e a disponibilidade de água.

O comportamento do cálcio, magnésio e alumínio foi o mesmo para as duas profundidades e para todas as formas de incorporação, ou seja, com a aplicação do calcário, houve aumento dos teores de cálcio e magnésio e decréscimo do alumínio (Tabela 17). Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável do solo, e a alteração da carga do Ca^{2+} facilita sua mobilidade no solo, na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo alumínio trocável do solo, pois os íons Al^{3+} formam complexos mais estáveis que o Ca^{2+} , diminuindo a acidez trocável e aumentando o cálcio trocável. Reações semelhantes também ocorrem para o magnésio.

O comportamento semelhante entre magnésio e cálcio, ocorre em função destes íons bivalentes competirem pelas mesmas bases, sendo o cálcio preferencial ao magnésio pela série liotrópica (FASSBENDER, 1978).

O potássio aumentou em 0-0,1m e decresceu em 0,1-0,2m nas três formas de incorporação (Tabela 17). Os teores de potássio disponível e a densidade de raízes se concentram na camada superficial e diminuem em profundidade. No entanto, a distribuição de potássio no perfil do solo, especialmente na camada de 0-0,05m, não tem relação com a distribuição de raízes. Embora as raízes se acumulem nessa camada, o que tem sido verificado é que a distribuição de raízes no solo é mais influenciada pela distribuição de fósforo do que potássio (MOLLIER; PELLERIN, 1999). Em semeadura direta, em longo prazo, há aumento na ciclagem de potássio pela mineralização da matéria orgânica, advindo do acúmulo de resíduos no solo (MIELNICZUK, 2005), e a maior atividade microbiana.

Tabela 17: Principais resultados significativos observados para as variáveis analisadas.

IQS	Profundidade	Incorporação	Dose de calcário				Unidade	Equação	R ²	Comportamento nas doses
			D0	D1	D2	D3				
Ca	0-0,1m	CIAG	14,12	73,12	101,78	123,55	mmol _c dm ⁻³	$y = -0,0515x^2 + 6,536x + 13,95$	0,99	aumentou
Mg			7,72	55,20	71,40	96,55		$y = -0,0116x^2 + 4,597x + 8,10$	0,99	aumentou
Al			55,19	1,87	0	0		$y = 0,2373x^2 - 7,425x + 54,79$	0,99	decreceu
Ca	0,1-0,2m		16,31	86,65	67,45	102,13	mmol _c dm ⁻³	$y = -0,1514x^2 + 6,827x + 18,77$	0,84	aumentou
Mg			9,13	76,30	48,86	86,59		$y = -0,1401x^2 + 6,097x + 12,02$	0,74	aumentou
Al			53,60	0	0,37	0		$y = 0,2423x^2 - 7,423x + 53,09$	0,98	decreceu
Ca	0-0,1m	CIEG	9,66	64,06	110,68	114,37	mmol _c dm ⁻³	$y = -0,0966x^2 + 7,473x + 8,14$	0,96	aumentou
Mg			4,86	45,37	95,38	98,77		$y = -0,027x^2 + 5,606x + 2,87$	0,94	aumentou
Al			55,75	6,95	0	0		$y = 0,2029x^2 - 6,819x + 55,62$	0,99	decreceu
Ca	0,1-0,2m		8,50	21,18	109,28	93,87	mmol _c dm ⁻³	$y = 0,0846x^2 + 3,439x + 4,19$	0,73	aumentou
Mg			2,78	18,58	96,37	85,99		$y = 0,0737x^2 + 3,417x - 0,90$	0,77	aumentou
Al			60,86	49,93	0	0		$y = -0,0865x^2 - 1,747x + 63,03$	0,83	decreceu
Ca	0-0,1m	CSI	17,68	114,57	130,79	122,76	mmol _c dm ⁻³	$y = -0,4473x^2 + 14,215x + 17,60$	0,99	aumentou
Mg			9,01	110,76	97,12	107,14		$y = -0,4359x^2 + 13,262x + 10,83$	0,94	aumentou
Al			47,25	0	0	0		$y = 0,2148x^2 - 6,572x + 46,82$	0,98	decreceu
Ca	0,1-0,2m		16,57	45,41	20,56	46,85	mmol _c dm ⁻³	$y = -0,0316x^2 + 1,724x + 18,68$	0,36	aumentou
Mg			8,87	35,12	16,05	44,74		$y = 0,0112x^2 + 1,191x + 10,76$	0,52	aumentou
Al			49,89	11,80	47,77	8,18		$y = 0,0193x^2 - 1,859x + 46,83$	0,32	decreceu
K	0-0,1m	CIAG	4,78	3,12	6,32	4,57	mmol _c dm ⁻³	$y = 0,0052x^2 - 0,073x + 4,57$	0,07	aumentou
		CIEG	4,04	3,27	7,18	5,86		$y = 0,0058x^2 + 0,020x + 3,82$	0,42	aumentou
		CSI	4,78	5,05	6,84	6,01		$y = -0,0016x^2 + 0,114x + 4,68$	0,57	aumentou
	0,1-0,2m	CIAG	4,82	3,6	2,1	3,67	mmol _c dm ⁻³	$y = 0,0114x^2 - 0,3064x + 4,92$	0,70	decreceu
		CIEG	4,05	2,29	5,78	3,28		$y = 0,0016x^2 - 0,0221x + 3,8072$	0,05	decreceu
		CSI	4,18	3,35	2,66	4,01		$y = 0,0105x^2 - 0,2303x + 4,24$	0,71	decreceu

- Considerações Finais

É importante salientar que os resultados das análises dos atributos químicos do solo apresentados, não são situações isoladas. O alumínio é menos tóxico em solos sob sistema de semeadura direta (SPERA, 2009), em função da complexação deste elemento por ligantes aniônicos orgânicos e inorgânicos e pela força iônica da solução do solo. Salet et al. (1999) estudaram a atividade do alumínio em dois sistemas e concluíram que na camada superficial (0 a 0,05 m) efetivamente a atividade livre do alumínio foi muito menor no sistema de semeadura direta em comparação ao manejo utilizando revolvimento do solo com arado, no entanto, abaixo dessa camada não houve diferença em relação ao preparo convencional. Isto provavelmente ocorre em função do maior teor de matéria orgânica que acumula nessa camada, e é menor nas demais camadas, nas quais o problema da toxidez do alumínio persiste.

Nas lavouras brasileiras é cada vez mais comum a aplicação de fertilizantes e corretivos na superfície do solo, sem incorporação. Um exemplo são os resultados analíticos de amostras de solo com evidente concentração, principalmente do fósforo (P) e do potássio (K) na camada de 0 a 0,05 m. Esse acúmulo superficial dos nutrientes não estimula o aprofundamento do sistema radicular, restringindo uma distribuição da massa radicular também à camada superficial.

Assim, a incorporação de calcário e fertilizantes em profundidades abaixo de 0,05 a 0,07 m, mediante uso de sulcadores eficientes, embutidos nas semeadoras adubadoras, é recomendada, uma vez que com isso, além de promover um ambiente físico mais favorável ao desenvolvimento radicular, possibilita a deposição do fertilizante em camadas mais profundas, diminuindo a diferença do gradiente químico vertical e favorecendo o aumento do volume de solo explorado pelas raízes (NUNES et al., 2015).

Deste modo, deve-se reforçar a importância do produtor poder contar com um solo com adequada qualidade edáfica em camadas mais profundas, com plenas condições de fornecer água, ar e nutrientes ao sistema radicular das plantas e destacar os problemas que elevados gradientes químicos em solos manejados com sistema de semeadura direta podem restringir o pleno desenvolvimento das plantas, afetando assim principalmente a estabilidade da produção agrícola.

O desbalanço entre teores disponíveis de determinados nutrientes em certas camadas também podem acarretar redução no desenvolvimento das plantas em função da competição na absorção de nutrientes pelas raízes. Castamann (2009) constatou menor absorção de magnésio (Mg) e do cálcio (Ca) por plantas de soja em solos que tinham teor de potássio (K) duas vezes

maior que o valor limite da faixa “alto”, conforme o Manual... (2004). Assim, a concentração desse nutriente na camada superficial pode favorecer este desbalanço.

Por outro lado, a extinção da camada arável substituída por um perfil estratificado leva a necessidade de descrever um perfil cultural, para melhor identificar as zonas de compactação, apontadas como a principal causa de redução da aeração de solos cultivados não inundados, onde há a redução do volume de raízes das plantas cultivadas. Goedert et al. (2002) destacam que a compactação é caracterizada pelo aumento da densidade do solo e da redução do espaço poroso total, e como resultado, os atributos do solo relativos à composição porosa são significativamente alterados.

A limitação das raízes a camada superficial do solo, seja por restrições químicas ou físicas, tem reduzido de forma relevante a produtividade das culturas.

A estratificação dos valores dos atributos físicos, químicos, biológicos e morfológicos do solo promove a formação de camadas desestruturadas e biologicamente desfavoráveis à biota e ao sistema radicular. Há de se pensar em sistemas alternativos de manejo de solos visando à melhoria química e física das camadas subsuperficiais e de modelos de produção que gerem ambiente edáfico favorável ao desenvolvimento radicular e equipamentos que permitam aplicar corretivos e fertilizantes em camadas subsuperficiais.

4.4 CONCLUSÕES

Solos sensíveis, como os Cambissolos, com doses elevadas de calcário, podem apresentar diminuição de sua qualidade, causando efeitos de compactação na parte física, desequilíbrio nutricional na parte química e pouca diversidade edáfica na parte biológica.

O CIAG apresenta-se como a melhor opção de incorporação frente as características intrínsecas dos Cambissolos Háplicos Alumínicos, pois permitem maior correção em profundidade, uma vez que estes solos são altamente susceptíveis a processos erosivos.

O CIAG evita a estratificação química, física e biológica do solo, pela melhor homogeneização do calcário no perfil do solo.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Embora já se conheçam os efeitos positivos dos condicionadores sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, deve-se considerar que seu máximo efeito está atrelado a cada tipo de solo em que é aplicado, e com a melhor dose preconizada.

Desta forma, consegue-se extrair de tais materiais seu melhor efeito sobre a qualidade dos solos, suprimindo a necessidade de alternativas, que sustentem a produção dos sistemas agrícolas, promovam ganhos ambientais, ao mesmo tempo que cumpram as questões sociais.

REFRERÊNCIAS

- ABRÃO, S. F.; ROSA, S. F. da; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; EBLING, A. A. Agregação de um Cambissolo Húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v.27, n.2, p.445-455, 2017.
- ADEKIYA, A. O.; AGBEDE, T. M.; OLAYANJU, A.; EJUE, W. S.; ADEKANYE, T. A.; ADENUSI, T. T.; AYENI, J. F. Effect of Biochar on Soil Properties, Soil Loss, and Cocoyam Yield on a Tropical Sandy Loam Alfisol. **The Scientific World Journal**, Londres, v.20, p.1-9, 2020.
- AHMAD, M.; LEE, S. S.; DOU, X.; MOHAN, D.; SUNG, J.; YANG, J. E.; OK, Y. S. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v.118, p.536-544, 2012.
- AHMED, S. F. A.; RAGHAVAN, V. Influence of wood-derived biochar on the physico-mechanical and chemical characteristics of agricultural soils., **Int. Agrophys.**, Lublin, v.32, p.1-10, 2018.
- AHRENS, D. C. Rede de propriedades familiares agroecológicas: uma abordagem sistêmica no Centro-sul do Paraná. **Boletim Técnico IAPAR**, Londrina, n.68, p.79, 2006.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.27, p.799-806, 2003.
- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno Alumínico. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.29, p.963-975, 2005.
- ALCARDE, J. C. Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. **Boletim Técnico ANDA: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas**, São Paulo, n.6, 1992.
- ALLER, M. F. Biochar properties: Transport, fate, and impact. Critical reviews. **Environmental Science and Technology**, Washington, v.46, p.1183-1296, 2016.
- ALMEIDA, J. R.; RESENDE, M. Considerações sobre o manejo de solos rasos desenvolvidos de rochas pelíticas no Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.128, p.19-26, 1985.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ALVES, L. A.; TIECHER, T. L.; FLORES, J. P. M.; FILIPPI, D.; GATIBONI, L. C.; BAYER, C.; CASTRO PIAS, O. H. de; MARQUEZ, A. A.; BORDIGNON, V.; GOULART, R. Z.; TIECHER, T. Soil chemical properties and crop response to gypsum and limestone on a coarse-

textured Ultisol under no-till in the Brazilian Pampa biome, **Geoderma**, Amsterdã, v.25, n.6, 2021.

AMELOOT, N.; GRABER, E. R.; VERHEIJEN, F. A. G. A.; De NEVE, S. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. **Eur. J. Soil Sci.**, London, v.64, p.379-90, 2013.

AMOAKWAH, E.; FRIMPONG, K. A.; ARTHUR, E. Corn cob biochar improves aggregate characteristics of a tropical sandy loam. **Soil Sci Soc Am J.**, Madison, v.81, p.1054-1063, 2017.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; DELLA PICCOLLA, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.814–821, 2012.

ARTHUR, E.; OPPONG DANSO, E.; BEIRANVAND, M.; POULADI, N.; YAKUBU, A.; ABENNEY-MICKSON, S.; SABI, E. B. Rice straw biochar effects on Atterberg limits and aggregate characteristics of an Acrisol in Ghana. **Archives of Agronomy and Soil Science.**, London, v.66, p.1861-1872, 2019.

ASAMI, V. Y. **Atributos químicos e físicos do solo manejado o Sistema de Plantio Direto em função da calagem Superficial, Manejo da cobertura vegetal e adubação nitrogenada.** 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2010.

ASSIS, R. L. de; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura familiar na região Centro-Sul do estado do Paraná. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v.43, n.1, p.155-177, 2005.

AULER, A. C. **Atributos físico-hídricos de um Cambissolo Háplico Alumínico em função de modos de aplicação de calcário.** 2014, 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

AULER, A. C.; PIRES, L. F.; CAIRES, E. F. Surface and incorporated liming effects on clay dispersion, water availability, and aeration capacity of a Dystrudept soil. **Bragantia**, Campinas, v.76, p.433–446, 2017a.

AULER, A. C.; PIRES, L. F.; SANTOS, J. A. B.; CAIRES, E. F.; BORGES, J. A. R.; GIAROLA, N. F. B. Effects of surface-applied and soil-incorporated lime on some physical attributes of a Dystrudept soil. **Soil Use and Management**, New Jersey, v.33, p.129–140, 2017b.

BADÍA-VILLAS, D.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; AZNAR, J. M.; ARJONA-GARCIA; MARTÍ-DALMAU, C. Changes into water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory: Soil depth affected by fire. **Geoderma**, Amsterdã, v.213, p.400-407, 2014.

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM; L. J. Field assessment of soil structural quality—a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, New Jersey, v.23, p.329–337, 2007.

- BALL, B. C.; MUNKHOLM, L. J.; BATEY, T. Applications of visual soil evaluation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v.127, p.1–2, 2013.
- BARROS, D. L. de; RESENDE, F. A. de; CAMPOS, A. T. Produção de mudas de *Eucalyptus urograndis* cultivadas com biocarvão. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.**, Recife, v.14, n.2, 2019.
- BARROW, C. J. Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. **Applied Geography**, Amsterdã, v.34, p.21–28, 2012.
- BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUÉRIF, J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, Amsterdã, v.54, p.259-274, 1992.
- BASSO, A. S.; MIGUEZ, F. E.; LAIRD, D. A.; HORTON, R.; WESTGATE, M. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. **GCB Bioenergy**, v.5, p.132–143, 2013.
- BASTIDA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. **Geoderma**, Amsterdã, v.147, p.159–171, 2008.
- BASTOS, S. R.; MENDONÇA, E. de SÁ; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.29, p.11-20, 2005.
- BEESELEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, L. J. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. **Environmental Pollution**, v.158, p.2282-2287, 2010.
- BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v.174, p.1-11, 2003.
- BENASSI, D. A. **Percepção e uso do solo: O caso dos agricultores familiares da região centro-sul do Paraná**. 2008, 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.
- BENASSI, D. A.; SANTOS, J. A. B.; GIAROLA, N. F. B. Conhecimentos Etnopedológicos dos Agricultores do Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v.4, p.1862-1865, 2009.
- BERGMAN, P. C. A.; KIEL, J. H. A. Torrefaction for biomass upgrading. *In*: UNIT ECN BIOMASS, 2005, Paris. **Anais [...]**. Paris: 14th European Biomass Conference & Exhibition, 2005.
- BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A.; PÉREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A. Analytical quality program of soil fertility laboratories that adopt Embrapa methods in Brazil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, London, v.33, p.2661-2672, 2002.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p. 155–163, 2004.

BLACKWELL, P.; KRULL, E.; BUTLER, G.; HERBERT, A.; SOLAIMAN, Z. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: an agronomic and economic perspective. **Australian Journal of Soil Research**, Canberra, v.48, p.531-545, 2010.

BLAIR, G. J.; ROD, D. B. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. **Australian Journal of Soil Research**, Canberra, v.46, p.1459-66, 1995.

BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; CHEVALLIER, T.; HARTMANN, C. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). **Agric. Ecosys. Environm.**, Amsterdã, v.103, p.343-355, 2004.

BONINI, C. dos S. B.; ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revs. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, v.35, p.1263–1270, 2011.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revs. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, v.37, p.743-753, 2013.

BORTOLUZZI, E. C.; GARBOZZA, L.; GUARESCHI, C.; RHEINHEIMER, D. S. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revs. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, v.32, p.2621–2628, 2008.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; MERLOTI, L. F.; MORETTI, L. G.; COSTA, N. R.; TSAI, S. M.; KURAMAE, E. E. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. **Geoderma**, Amsterdã, v.375, p.114-476, 2020.

BOUMA, J.; VAN ITTERSUM, M. K.; STOORVOGEL, J. J.; BATJES, N. H.; DROOGERS, P.; PULLEMAN, M. M. Soil capacity: exploring the functional potentials of soils. D. J. e.a. Field (Ed.), *Global Soil Security*, **Springer International Publishing**, Switzerland, v.3936, p.27-44., 2017.

BOURKE, J.; MANLEY-HARRIS, M.; FUSHIMI, C.; DOWAKI, K.; NUNOURA, K.; ANTAL, M. J. Do all carbonized charcoals have the same chemical structure?. A model of the chemical structure of carbonized charcoal. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, v.46, n.18, p.5954–5967, 2007.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; FERREIRA, A. O.; QUADROS NETO, C.; CANALLI, L. B.; SANTOS, J. B. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under longterm no-till. **Geoderma**, Amsterdã, v.170, p.80-88, 2012a.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; QUADROS NETO, C.; FERREIRA, A. O.; CANALLI, L. B.; SANTOS, J. B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, Amsterdã, v.170, p.80–88, 2012b.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 35**: Especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Ministério da Agricultura e Pecuária, Brasília - DF, Brasil, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produtores rurais buscam bioinsumos para reduzir custo da produção e aumentar rentabilidade**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/assuntos/noticias/produtores-rurais-buscam-bioinsumos-para-reduzir-custo-da-producao-e-aumentar-rentabilidade>. Acesso em 29 abr. 2020.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdã, v.124, n.1-2, p.3–22, 2005.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. de; GOEDE, R. de; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v.120, p.105–125, 2018.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.89, p.3-12, 2006.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdã, v.28, p.57-64, 2008.

CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I. C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v.24, p.302–309, 2008b.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.32, p.1399-1407, 2008.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H. dos; TIRITAN, C. S.; CUNHA JUNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.25, p.128-135, 2012.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; FREITAS I. B. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.

CANALLI, L. B. dos S. Sistema de Plantio Direto na pequena propriedade no estado do Paraná. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA*, 9., 2004, Chapecó. **Anais [...]**. Chapecó: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2004.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; PRIETO, H. E.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. *In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.) Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap.4, p 129-136.

CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; GUIMARÃES, T. M.; CALONEGO, J. C.; MOONEY, S. J. Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **Plos One**, San Francisco, v.11, n.12, p.e0167564, 2016.

CARNEIRO, J. S. da S.; SOUSA, S. A. DE; NIKKEL, M.; DEUSDARÁ, T. T.; MACHADO, A. F.; SILVA, R. R da. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico, **Rev. Ciênc. Agroamb**. v.16, n.1, p.32-38, 2018.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Res.**, Amsterdã, v.103, p.342-349, 2009.

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P. A. J.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, M. A. S. da; MAIA, A. de H. N.; MEINKE, H. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: Short term effects and impact on rice yield. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Leipzig, v. 114, n.2, p.101–107, 2013.

CARVALHO, R. S. de. **Produção e caracterização de biocarvão de bagaço de laranja para utilização no pós-tratamento de água residuária**. 2018. 150 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão, 2018.

CARVALHO, T. A. de; PUGA, A. P.; PIRES, A. M. M.; LIGO, M. A. V.; ANDRADE, A. A. de. Efeito residual de fertilizantes nitrogenados formulados com biocarvão. *In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 13., 2019, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2019.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R.C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. 2 ed. Piracicaba: Editora da ESALQ, 2015. 46 p.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.14, p.99-105, 1990.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAUJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **No Till Agriculture in Southern Brazil. Factors that facilitated the evolution of the system and the development of the mechanization of conservation farming.** 1 ed. Curitiba: FAO/ IAPAR, 2012. 83 p.

CASE, S. D. C.; MCNAMARA, N. P.; REAY, D. S.; WHITAKER, J. The effect of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from a sandy loam soil –The role of soil aeration. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v.51, p.125–134, 2012.

CASTAMANN, A. **Normas DRIS para rendimento de grão e teor de óleo da cultura da soja, cultivada no planalto médio do Rio Grande do Sul.** 2009. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

CASTELLINI, M.; GIGLIO, L.; NIEDDA, M.; PALUMBO, A. D.; VENTRELLA, D. Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.154, p.1-13, 2015.

CASTRO, A.; SILVA BATISTA, N. da; LATAWIEC, A. E.; RODRIGUES, A.; STRASSBURG, B.; SILVA, D.; ARAUJO, E.; MORAES, L. F. D. de; GUERRA, J. G.; GALVÃO, G.; ALVES-PINTO, H.; MENDES, M.; SANTOS, J. S. dos; RANGEL, M. C.; FIGUEREDO, M.; CORNELISS, E. N. G.; HALE, S. The Effects of Gliricidia-Derived Biochar on Sequential Maize and Bean Farming. **Sustainability**, Basel, v.10, p.578, 2018.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1690–1698, 2011.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdã, v.195–196, n.3, p.234–242, 2013.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; BRYE, K. R. Surface lime and silicate application and crop production system effects on physical characteristics of a Brazilian Oxisol. **Soil Research**, v.55, p.778–787, 2017.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.65, n.1, p.45-51, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.527-538, 1998.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHAN, K. Y. Friability of a hardsetting soil under diferente tillage and land use practices. **Soil Till. Res.**, Amsterdã, v.13, p.287-298, 1989.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Soil Research**, v.46, n.5, p.437-444, 2008.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic Values of Green Waste Biochar as a Soil Amendment. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.45, p.629–634, 2007.

CHEN, W.; MENG, J.; HAN, X.; LAN, Y.; ZHANG, W. Past, present, and future of biochar. **Springer**, v.1, p.75-87, 2019.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J. Ageing of black carbon along a temperature gradient. **Chemosphere**, v.75, p.1021-1027, 2009.

CHENG, H.; HILL, P. W.; BASTAMI, M. S.; JONES, D. L. Biochar stimulates the decomposition of simple organic matter and suppresses the decomposition of complex organic matter in a sandy loam soil. **Global Change Biology Bioenergy**, Illinois, v.9, p.1110–1121, 2017.

CHIDUMAYO, E. N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v.70, p.353-357, 1994.

CHIVENGE, P. P.; MURWIRA, H. K.; GILLER, K. E.; MAPFUMO, P.; SIX, J. Long-term carbon of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: implications for conservation agriculture on contrasting soils. **Soil Tillage Res.**, Amsterdã, v.94, p.328–337, 2007.

CREGAN, P. D.; HIRTH, J. R.; CONYERS, M. K. Amelioration of soil acidity by liming and other amendments. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Soil acidity and plant growth**. Sydney: Academic Press, 1989. Cap. 6, p. 204–264.

COOPER, M. **Estabilidade de agregados do solo**. Aula 4. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/917385/mod_resource/content/2/Estabilidade%20de%20Agregados.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.33, p.263-272, 2009.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. 2 ed. Campinas: Uicamp, 2008. 30p.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n. 2, p.103-107, 2004.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.27, p.527- 535, 2003.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRNIKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL, J. E.; MIRSKY, S. B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of American Journal**, v.76, n.2, p.494-504, 2012.

CURCIO, G. R. Solos de encostas de baixa aptidão agrícola da área em estudo. In: Merten, G. H., coord. **Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no Centro-Sul do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1994. 112p.

CYBULAK, M.; SOKOLOWSKA, Z.; BOGUTA, P. Impact of Biochar on Physicochemical Properties of Haplic Luvisol Soil under Different Land Use: A Plot Experiment. **Agronomy**, Basel, v.9, n.4, p.531-542, 2019.

DAI, Z.; BROOKES, P. C.; HE, Y.; XU, J. Increased Agronomic and Environmental Value Provided by Biochars with Varied Physicochemical Properties Derived from Swine Manure Blended with Rice Straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.62, n.44, p.10623-10631, 2014.

DANE, J. H.; TOPP, C. G.; CAMPBELL, G. S. (Eds). **Methods of soil analysis**: Part 4 – Physical methods. 3. ed. Madison: Soil Science of America, 1992, 2002p.

DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., Passo Fundo, 1983. **Anais [...]**. Passo Fundo: EMBRAPA, 1984.

DEXTER, A. R. Advances in Characterization of Soil Structure. **Soil and Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdã, v.120, n.3, p.201–214, 2004.

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **J. Agric. Eng. Res.**, Amsterdã, v.31, p.139-147, 1985.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C., (eds.). **Soil and environmental analysis**: Physical methods. 2.ed. New York: Marcelo Dekker, 2000. 430p.

DIAS, J. M. C. D. S.; SOUZA, D. T. de; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e pelets a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 1ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012, p.132.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biocarvão to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n.2, p.36, 2016.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F., STEWART, B. A. (Eds.), **Defining Soil Quality for a**

Sustainable Environment. Madson: Soil Science Society American, Madison, 1994, cap. 1, p. 3–21, 1994.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. *In*: LEHMANN, J. AND JOSEPH, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**, London: Earthscan, 2009, cap. 1., p.13-32, 2009.

EL-NAGGAR, A; EL-NAGGAR, A. H.; SHAHEEN, S. M.; SARKAR, B.; CHANG, S. X.; TSANG, D. C.; RINKLEBE, J.; OK, Y. S. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbono mineralization, and potential environmental risk: A review. **Journal of environmental management.**, v.241, p.458-467, 2019b.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**, 20, Ata e Resumos. Londrina, 1998, 462p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, 2018. 531p.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. S.; BAYER, C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.35, p.889–901, 2004.

FANG, Y.; SINGH, B. P.; LUO, Y.; BOERSMA, M.; VAN ZWIETEN, L. Biochar carbon dynamics in physically separated fractions and microbial use efficiency in contrasting soils under temperate pastures. **Soil Biol Biochem**, Amsterdã, v.116, p.399–409, 2018.

FASSBENDER, H. **Química de suelos com ênfasis en suelos de America Latina**. Costa Rica: Inst. Interamer. de Ciências Agrícolas, 1978. 389 p.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; BRIEDIS, C. Resistência tênsil de agregados afetada pelo conteúdo de carbono orgânico em um Latossolo Vermelho com textura média e argilosa sob plantio direto. **Synergismus Scyentifica**, v.04, p.1-7, 2009.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. *In*: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap. 1. p.1- 27.

FERREIRA, A. O. de; SÁ, J. C. de M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.437-446, 2011.

FIDALSKI, J.; YAGI, R.; TORMENA, C. A. Revolvimento ocasional e calagem em Latossolo muito argiloso em sistema plantio direto consolidado. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.39, p.1483–1489, 2015.

FIGUEREDO, N. A. de; COSTA, L. M.; MELO, L. C. A.; SIEBENEICHLERD, A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.3, p.395–403, 2017.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F. de; LEITE, J. G. D.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.31, p.771-780, 2008.

FONSECA, S.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; LEAL, P. G. L.; NEVES, J. C. L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, v.17, p.271-288, 1993.

FORBES, R. J. **Studies in ancient technology**, 2 ed. Saint Loius: Brill., 1993, 146 p.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo de solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. 2 ed. Londrina: Embrapa Soja, 2009, 39p.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de Latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, p.228-239, 2018.

FUCKS, L. F.; REINERT, D. J.; CAMPOS, B. C.; BORGES, D. F.; SCAPINI, C. Degradação da estabilidade estrutural pela aração e gradagem de solo sob plantio direto por quatro anos. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 10., 1994, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil Tillage Res.**, v.88, p.123-131, 2006.

GALVÃO, J. R.; ALMEIDA, K. C. de; CARRERA, L. da C.; LIMA, L. M. et al. Adubação química e orgânica associados ao biocarvão promovem maior crescimento à *Eryngium foetidum* L. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v.6, n.4, p.19599-19611, 2020.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BARROS, N. F. de; VIANA, A. P.; SANTOS, G. de A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.32, p.1489-1499, 2008a.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.32, p.1521-1530, 2008b.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; BIDWELL, A. L.; DELUCA, T. H. Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.233, p.43-49, 2016.

GARBUIO, F. J. **Atributos químicos e biológicos do solo, nutrição e produção de grãos de soja influenciados pela calagem e pela cobertura de aveia preta em sistema de plantio direto**. Piracicaba: ESALQ, 2009, 99 p.

GHANI, M. O.; HASAN, K. A.; KHAN, M. F. A. Effect of liming on aggregation, non capillary pore space and permeability of a lateritic soil. **Soil Science**, v.80, p.469–478, 1955.

GIDDENS, K.M.; PARFITT, R.L.; PERCIVAL, H.J. Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.40, p.409-416, 1997.

GIMENEZ, L. M. **Reflexões sobre mecanização agrícola**. 2 ed. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2011., 530p.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**. v.31, p.669-678, 2000.

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, n.4, p.219-230, 2002.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.**, v.18, p.1111-1116, 1987.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.50, n.2, p.351-370, 2012.

GUARÇONI, A.; SOBREIRA, F. M. Classical Methods and calculation Algorithms for determining lime requeriments. **Colloquium Agrarie**, v.15, n.3, p. 69-78, 2019.

GUARNIERI, S. F. **Alteração de atributos do solo devido ao emprego de biocarvão de frutos de *Cocos nucifera* L.** 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

GUERREIRO, E. Caracterização tipológica e diagnóstico de sistemas de produção predominantes em uma comunidade rural: O caso de Cerro da Ponte Alta, Irati, PR. **Boletim Técnico IAPAR**, Campinas, n.47, 51 p.,1994.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; FIDALSKI, J.; BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbono in na oxisol under a crop-livestock system. **Sci. Agric.**, v.66, n.4, p.499-505, 2009.

GUIMARÃES, R. de S. **Efeito do biocarvão e pó de serra na disponibilidade dos nutrientes, no crescimento e produção de milho (*Zea mays*. L.) em Latossolo Amarelo distrófico na Amazônia Central**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2017.

HARDIE, M.; CLOTHIER, B.; BOUND, S.; OLIVER, G.; CLOSE, D. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability. **Plant and Soil**, v.376, n.1, p.347-361, 2014.

- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.
- HOFMEIJER, M. A. J.; KRAUSS, M.; BERNER, A.; PEIGNÉ, J.; MÄDER, P.; ARMENGOT, L.; Effects of reduced tillage on weed pressure, nitrogen availability and winter wheat yields under organic management. **Agronomy**, Basel, v.9, p.1-12, 2020.
- HORN, R.; TAUBNER, H.; WUTTKE, M.; BAUMGARTL, T. Soil physical properties related to soil structure, **Soil and Tillage Research**, v.30, p.187-216, 1994.
- HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.233-228, 2011.
- HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A.; AL-SADI, A. M.; SOLAIMAN, Z. M.; ALGHAMDI, S. S.; AMMARA, U.; OK, Y. S.; SIDDIQUE, K. H. M. Biochar for crop production, potencial benefits and risks. **Journal of Soils and Sediments**, v.17, n.3, p.685–716, 2017.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DEXTER, A. R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.66, p.1656-1661, 2002.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná: classificação climática - segundo Köppen**, 2009. CD-ROM.
- JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agric. Ecosyst. Environ.** v.144, p.175–187, 2011.
- JIEN, S. H.; WANG, C. S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, Amsterdã, v.110, p.225–233, 2013.
- JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant Soil**. v.365, p.409–424, 2013.
- JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTIAN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; ZWIETEN, L. van; 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**, Canberra, v.48, p.501-515, 2010.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.29, p.573-580, 2005.
- KATO, E.; RAMOS, M. L. G.; VIEIRA, D. F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**. v.26, n.4, p.732-738, 2010.

KEILUWEIT, M.; NICO, P. S.; JOHNSON, M. G.; KLEBER, M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). **Environmental Science and Technology**, v.44, n.4, p.1247–1253, 2010.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. *In*: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; ENSMINGER, L. E.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, v.1, p.499-510, 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.; DEXTER, A. R. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.51, p.860-867, 1987.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, J. de C.; LAMBAIS, M. R. **Fertilidade do solo**. Piracicaba: Editora USP, 1994. 94p.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, p.21–29, 2015.

LACLAU, J. P.; ARNAUD, M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J.; BOTTON, B.; CHALOT, M.; DIZENGREMEL, P.; TACON, F.; RYGIEWICZ, P.; TOPA, M. Espacial distribution of Eucalyptus in a deep sand soil in the Congo: relationship with the ability of the sand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**, v.21, n.2/3, p.129-136, 2001.

LADONI, M.; BASIR, A.; KRAVCHENKO, A. Which soil carbon fraction is the best for assessing management differences? A statistical power perspective. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.79, p.848, 2015.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, Amsterdã, v.158, p.436–442, 2010.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research, **European Journal of Soil Science**, v.60, p.158-169, 2009.

LEÃO, T. P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002, 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LEHMANN, J; JOSEPH, S. Biocarvão for environmental management: na introduction. *In*: LEHMANN, J; JOSEPH, S. (Eds). **Biocarvão for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, p. 1-09, 2009.

LEHMANN, J.; SILVA JR., J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. 'Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments', **Plant and Soil**, v.249, p.343–357, 2003.

LI, J.; WEN, Y.; LI, X.; LI, Y.; YANG, X.; LIN, Z.; SONG, Z.; COOPER, J.M.; ZHAO, B. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. **Soil Tillage Res.**, v.175, p.281–290, 2018.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; SOHI, S.; THIES, J. E.; SKJEMSTAD, J. O.; LUIZAO, F. J.; ENGELHARD, M. H.; NEVES, E. G.; WIRICK, S. Stability of biomass-derived black carbon in soils. **Geochim Cosmochim Acta**, v.72, p.6069-6078, 2008.

LIANG, F.; GUITONG, L. I.; LIN, Q.; ZHAO, X. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. **J. Integr. Agric.** v.13, p.525-532, 2014.

LIAO, W.; SEAN, C.; THOMAS, C. Biochar Particle Size and Post-Pyrolysis Mechanical Processing Affect Soil pH, Water Retention Capacity, and Plant Performance. **Soil Syst.** v.3, p.14, 2019.

LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64, p.892-897, 2000.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de; SILVA, S. de A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p.539–546, 2013.

LIU, C.; WANG, H.; TANG, X.; GUAN, Z.; REID, B. J.; RAJAPAKSHA, A. U.; OK, Y. S.; SUN, H. Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v.23, n.2, p.995-1006, 2016.

LIU, X. H.; FENG, P. H.; ZHANG, X. C. Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: results from incubation experiments. **Int J Agric Biol.**, v.14, n.6, p.975-979, 2012.

LIU, Z.; CHEN, X.; JING, Y.; LI, Q.; ZHANG, J.; HUANG, Q. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. **Catena**, Amsterdã, v.123, p.45-51, 2014.

LORENZ, K.; LAL, R. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.177, n.5, p.651–670, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. de P.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.3, p.1212-1224, 2015.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. D. M.; ROCHA, A. D. O.; MACHADO, P. D. A. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. **Boletim Técnico Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, n. 125 2006.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, v.333, p.117-128, 2010.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, 404p.

MARTINS, E. C. **Caracterização e quantificação mineralógica da fração argila do horizonte Bi de Cambissolo da região de Irati, Paraná, pelo método de Rietveld.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2010.

MARTINS, L. F. S. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de bio sólidos. **Scienti Florestalis**, n.65, p.207-218, 2004.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Revista Cerne**, Lavras, v.8, n.1, p.32-41, 2002.

MARGENOT, A. J.; PULLEMAN, M. M.; SOMMER, R.; PAUL, B. K.; PARIKH, S. J.; JACKSON, L. E.; FONTE, S. J. Biochemical proxies indicate differences in soil C cycling induced by longterm tillage and residue management in a tropical agroecosystem. **Plant Soil**, v.420, p.315-329, 2017.

MAURER, A. P., ORMROD, D. P., SCOTT, N. J. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.49, n.3, p.271-278, 2000.

MAUSEL, P.W. Soil quality in Illinois: an example of a soils geography resource analysis. **The Professional Geographer**, v.23, p.127-136, 1971.

MAZETTE, S. S. **Uso de biocarvão como substrato para produção de mudas de eucalipto.** Sinop: UFMT, 2017, 52p.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo do solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.35, p.1197-1206, 2011.

MEERT, L.; MÜLLER, M. M. L.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; MICHALOVICZ, L.; NASCIMENTO, R. do. Atributos químicos do solo e resposta do trigo à calagem superficial em sistema plantio direto. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.9, n.3, p.45-51, 2016.

MELO, I. G. C. **Efeitos do carvão vegetal no solo e sobre cultivos de feijão- caupi em ambiente protegido.** 2016. 98f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

MI, W.; WU, L.; BROOKES, P.C.; LIU, Y.; ZHANG, X.; YANG, X. Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers. **Soil Tillage Res**, v.163, p.64-70, 2016.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T. e ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.165-178, 2005.

MILAN, M. **Desempenho operacional e econômico de sistemas mecanizados agrícolas**. Piracicaba: Esalq/USP. Departamento de Engenharia de Biosistemas, 2002. 26p.

MINEROPAR. MINERAIS DO PARANÁ S. A. Atlas Geológico do Estado do Paraná. **MINEROPAR** – Minerais do Paraná, S.A., Curitiba. 2005. 116 p.

MITCHELL, P. J.; DALLEY, T. S. L.; HELLEUR, R. J. Preliminary laboratory production and characterization of biochars from lignocellulosic municipal waste. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.99, p.71–78, 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **J. Exper. Bot.**, v.50, p.487-497, 1999.

MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.11, p.1-6, 1987.

MUNKHOLM, L. J. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. **Geoderma**, Amsterdã, v.167-168, p.236–246, 2011.

MÜLLER, L.; KAY, B. D.; DEEN, B.; HU, C.; ZHANG, Y.; WOLFF, M.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U. Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.188-196, 2009.

MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; GENÚ, A. M.; KRAMER, L. F. M.; MICHALOVICZ, L.; CAIRES, E. F. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.36, p.1005-1013, 2012.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.7, p.95-102, 1983.

NAHASS, S.; SEVERINO, J. Calcário Agrícola no Brasil. **CETEM/MCT.-Série Estudos e Documentos**, Rio de Janeiro, n. 55, 2003.

NARESH, R. K.; GUPTA RAJ, K.; KUMAR, V.; RATHORE, R. S.; PURUSHOTTA, M.; KUMAR, V.; KUMAR, S.; SINGH, S. P.; TYAGI SAURABH MAHAJAN, N. C.; SINGH, V.

Carbon, Nitrogen Dynamics and Soil Organic Carbon Retention Potential after 16 years by different land uses and Nitrogen Management in Typic Ustochrept Soil. **Paddy Water Environ**, v.7, n.6, p.723-740, 2018.

NOBLE, A. D.; RANDALL, P. J. **The impact of trees and fodder shrubs on soil acidification**. Barton: Rural Industries Research and Development Corporation, 2005.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 2011. 46f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

NOLLA, A.; ALVES, E. O. da S.; SILVA, T. G. da; BORDIN, A. V. Correção da acidez e disponibilidade de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho distrófico submetido à calagem incorporada e superficial. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, v.3, n.3, p.2478-2487, 2020.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; CASTALDO, J. H.; OLIVEIRA, E. O. S.; SILVA, M. A. G.; MINIZ, A. S. Disponibilidade de nutrientes e fitoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, p.1-16, 2015.

NORFLEET, M. L.; DITZLER, C. A.; PUCKETT, W. E.; GROSSMANN, R. B.; SHAW, J. N. Soil quality and its relationship to pedology. **Soil Science**, v.4, n.3, p.149-155, 2003.

NOVAIS; R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. de BARROS; FOTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**/editores Roberto Ferreira Novais... [et al.]. – Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NOVOTNY, E.; MAIA, C. M. B. de; CARVALHO, M. T. DE M; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agriculture use - a critical review. **Revs. Bras. Ciênc. do Solo**, Piracicaba, v.39, p.321-344, 2015.

NUNES, H. B.; KATO, E.; SÁ, M. A. C de; ROSA, V. A.; CARVALHO, A. dos S. de; SOARES NETO, J. Influence of temperature on soil aggregation assessed by two methods. **Ciênc. Florest.** v.29, p.2-10, 2019.

NUNES, M. E. **Qualidade física e química de solos após aplicação de biochar**. 2017. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p.119- 126, 2015.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v.76, p.319–337, 1984.

OJEDA, G.; AVILA, A.; MATTANA, S.; ALCANIZ, J. M. Are soil-water functions affected by biochar application? **Geoderma**, Amsterdã, v.249, p.1-11, 2015.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Till. Res.**, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, J. B de. **Pedologia Aplicada**, Jaboticabal, Funep, 2001.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v.295, p.199-212, 2013.

O'SULLIVAN, L.; BAMPA, F.; KNIGHTS, K.; CREAMER, R. E. Soil protection for a sustainable future: options for a soil monitoring network for Ireland. **Soil Use and Management**, v.33, p.346-363, 2017.

PARADELO, R.; VIRTO, I.; CHENU, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.202, p.98-107, 2015.

PARANÁ. Secretaria de Educação do Estado. Solos no território paranaense. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/solosdoparana/modules/galeria/detalhe.php?foto=1540&evento=7>. Acesso em: 10 fev. 2020.

PAULETTI, V.; DE PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.38, p.495-505, 2014.

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P. L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Manag.*, v.13, p.230-244, 1997.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Circular Técnica-IAPAR, Londrina, n.76, 1992.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.27, p.1-9, 2003.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; SCHULTZ, N.; ZONTA, E.; GUARESCHI, R. F.; SANTOS, O. A. Q. Fertilidade de um Organossolo e produtividade do feijoeiro influenciados pela calagem e inoculação. **Revis. Agrarian**, Dourados, v.13, n.48, p. 211-221, 2020.

PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALMEIDA, C. C. Gênese de Latossolos e Cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí - Minas Gerais. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.1283-1295, 2010.

PERUSI, M. C.; CARVALHO, W. A. Comparado de Métodos para Determinação da Estabilidade de Agregados por Vias Seca e Úmida em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo do Solo. **Geociências**, São Paulo, v.27, n.2, p.197-206, 2008.

PETERSEN, P. **Os solos nos agroecossistemas de agricultura familiares no Centro-Sul do Paraná**: características e problemas do uso e do manejo radicional; estratégias, meios e práticas para reconversão agroecológica; alguns resultados técnicos já alcançados. **Ambient. Soc.**, União da Vitória, v.17, n.2, 1998.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SOLER, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and agronomic response of rice to biochar application in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.5, p.699-706, 2012.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, 761–768, 2012.

PEZZOLLA, D.; MARCONI, G.; TURCHETTI, B.; ZADRA, G.; AGNELLI, A.; VERONESI, A.; ONOFRI, A.; BENUCCI, G. M. N.; ALBERTINI, E.; GIGLIOTTI, G. Influence of exogenous organic matter on prokaryotic and eukaryotic microbiota in an agricultural soil. A multidisciplinary approach. **Soil Biol. Biochem.**, v.82, p.9-20, 2015.

PLUCHON, N.; GUNDALE, M. J.; NILSSON, M. C.; KARDOL, P.; WARDLE, D. A. Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects of charcoal properties, seedling species and soil fertility. **Functional Ecology**, London, v.28, p.766-775, 2014.

QIAN, L.; CHEN, M.; CHEN, B. Competitive adsorption of cadmium and aluminum onto fresh and oxidized biochars during aging processes. **Journal of Soil and Sediments**, Berlin, v.15, p.1130-1138, 2015.

QUASTEL, J. H. Soil Conditioners. **Annual Review of Plant Physiology**, v.5, n.1, p.75–92, 1954.

R CORE TEAM (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAIESI, F. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. **Ecological Indicators**, v.75, p.307–320, 2017.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e necessidade de calcário e fertilizantes para o Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v.37, n.1, p.13-21, 1985.

RAMOS, A. M. R.; AMORIM, B. M. B.; FREIRE, C. T. M.; LIMA, D. L. F. A. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA CONSORCIADO. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.13, n.1, p.80-87, 2019.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 134p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2ed. Barueri: Manole, 2012.

REZENDE, E. I. P. de. **Preparação e caracterização química e espectroscópica de “biochar” por pirólise de biomassa em baixa temperatura.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2013.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; SANTOS, S. S. dos; MANGRICH, A. S. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Revista Virtual de Química**, v.3, n.5, p.426-433, 2011.

RIDLEY, A. M.; SLATTERY, W. J.; HELYER, K. R.; COWLING, A. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.30, p.529-537, 1990.

RINOT, O.; LEVY, G. J.; STEINBERGER, Y.; SVORAY, T.; ESHEL, G. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. **Sci. Total Environ**, v.648, p.1484-1491, 2019.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, Amsterdã, v.48, p.351-361, 1991.

ROWLEY, M. C.; GRAND, S.; VERRECCHIA, E. P. Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. **Biogeochemistry**, v.137, p.27-49, 2018.

RUIVO, M. de L. P.; AMARANTE, C. B. do; OLIVEIRA, M. de L. S.; MUNIZ, I. C. M.; SANTOS, D. A. M. dos. Microbial population and biodiversity in Amazonian Dark Earth soils. **Springer**, Dordrecht, v.32, p. 351-362, 2009.

SAINPEPO, B. M.; GACHENE, C. K.; KARUMA, A. Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County. **Springer Open**, Kenya, v.13, p.4-12, 2018.

SALET, R. L. et al. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Rev. Cient. Unicruz**, Cruz Alta, v.1, p.9-13, 1999.

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M. HERNANI, L. C. Agregação do solo e estabilidade de agregados, In: Paulo César Teixeira; Guilherme Kangussu Donagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira (Editores técnicos). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo. **Comunicado Técnico**: Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, n.198, 2014.

SANTALLA, M.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant and Soil**, Amsterdã, v.346, p.63-78, 2011.

SANTOS, D. A. **Estabilidade de agregados em resposta a aplicação de biochar em solos se pastagens degradadas do Sul do estado do Espírito Santo.** 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SANTOS, H. G. dos. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl- Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. A. B. dos. **Qualidade física de um Cambissolo Háptico Alumínico submetido a doses e formas de aplicação de calcário**. 2015. 96f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

SANTOS, S. R.; LUSTOSA FILHO, J. F.; VERGUTZ, L.; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.43, e025718, 2019.

SANTOS, J. C. dos; SANTOS, V. A. H. F.; MATOS, E. da S.; MAGALHÃES, C. A. de Souza; REZENDE, F. A. de. Monitoramento de atributos do solo após aplicação de biochar em área de plantio de *Eucalyptus sp.* **Scientia Plena**, v.3, n.7, p.1-16, 2016.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito**; Capítulo 16; *In*: “Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações”; CETEM – MCT; 2ª edição; Rio de Janeiro – RJ; 2008.

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

SCHULTZ, J. **Obtenção de carvão ativado a partir de biomassa residual para a adsorção de poluentes**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2016.

SEBEN JUNIOR, G. F. **Resistência tênsil de um Latossolo Vermelho eutrófico sob sequências de culturas em semeadura direta**. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

SHARMA, G. K.; JENA, R. K.; HOTA, A. K.; RAY, P.; FAGODIYALAL, R. K.; MALAV, L. C.; YADAV, K. K.; GUPTA, D. K.; KHAN, S. A.; RAY, S. K. Recent Development in Bioremediation of Soil Pollutants Through Biochar for Environmental Sustainability. **Springer**, 2020.

SHEPHERD, T.G. **Visual soil assessment**: Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Palmerston North: Landcare Research, 2000. v.1. 84p.

SHI, R. Y.; LI, J. Y.; XU, R. K.; QIAN, W. Ameliorating effects of individual and combined application of biomass ash, bone meal and alkaline slag on acid soils. **Soil and Tillage Research**, v.162, p.41–45, 2016.

SHINDE, R.; SARKAR, P. K.; THOMBARE, N. Soil Conditioners. **Agriculture and Food**, v.1, n.10, p.142-147, 2019a.

SHINDE, R.; SARKAR, P. K.; THOMBARE, N.; NAIK, S. K. Soil conservation: Today's need for sustainable development. **Agriculture and Food**, v.1, n.5, p.175-183, 2019b.

SI, L.; XIE, Y.; MA, Q.; WU, L. The short-term effects of rice straw biochar, nitrogen and phosphorus fertilizer on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy field. **Sustainability**, v.10, p.537, 2018.

SIEBENEICHLER, E. A.; DA COSTA, L. M.; FIGUEREDO, N. A.; TRONTO, J.; ROCHA, P. A. Influência de temperatura e taxas de aquecimento na resistência mecânica, densidade e rendimento do carvão da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Revista Ciência da Madeira**, v.8, n.2, p.82–94, 2017.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; Serafim, M.E. Aggregates morphometry of a Inceptisol under conservationist system. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.3, p.1165-1176, 2016.

SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M. Atributos químicos do solo em resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada associada ao uso de silício. **Acta Tecnológica**, v.14, nº 1, 2019.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.311-317, abr./jun.1997.

SILVA, L. F. S. da. **Avaliação Visual do Solo em Diferentes Sistemas de Manejos com Mudanças Pré-Brotadas de Cana-de-Açúcar**. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1LgMhhQbhywJ:www.agrisus.org.br/arquivos/relatorio_final_P A2576_retificado.pdf+&cd=5&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 20 fev. 2020.

SILVA, L. G.; MENDES, I. de C.; REIS JR., F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T. de; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, 2009.

SILVA, R. B.; LIMA, J. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.23, p.219-226, 1999.

SILVA, V. L.; BELÉM, R. S.; MARINOM JUNIOR, B. H.; ANDRADE, F. R., FARIAS, J.; ROCHA, N. C. L. Biochar como condicionante de solo no cultivo do eucalipto híbrido *urograndis*. **Sci. Elec. Arch.**, v.11, p.4-16, 2018.

SILVEIRA, M. L.; ALLEONI, L. R. F.; CHANG, A. Condicionadores químicos de solo e retenção e distribuição de cádmio, zinco e cobre em Latossolos tratados com bio-sólido. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1087-1098, 2008.

ŠIMANSKÝ, V. Effects of biochar and biochar with nitrogen on soil organic matter and soil structure in Haplic Luvisol. **Acta Fytotech. Zootech.**, v.19, p.129–138, 2016.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Till. Res.**, v.79, p.7-31, 2004.

SIX, J.; CONANT, R.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, v.241, p.155-176, 2002.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de Solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

SOHI, S. P.; KNULL, E.; LOPEZ-CAPE, E.; BOL, R. Review of biochar and its use and function in soil. *In*: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**., Burlington: Academic Press, 2010. p. 47-82.

SOLLA-GULLÓN, F.; SANTALLA, M.; RODRIGUEZ, R.; MERINO, A. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, v.237, p.312–321. 2006.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva; H. C. Lima. **Ciência florestal**, v.21, n.4, p.811-821, 2011.

SOUDEK, P.; PETROVÁ, S.; VAŇKOVÁ, R.; SONG, J.; VANĚK, T. Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. **Chemosphere**, v.104, p.15-24, 2014.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2. ed. San Diego: Elsevier Science, 2003.

SPERA, S. T. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009. 228 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

SPOLADORE, A; COTTAS, L. R. **Atrativos Naturais de São Jerônimo da Serra**. Disponível em: http://www.uel.br/proex/estacao/index.php?arq=ARQ_art&FWS_Ano_Edicao=1&FWS_N_Edicao=1&FWS_N_Texto=16&FWS_Cod_Categoria=1. Acesso em: 08 Fev, 2019.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2 ed. New York: Oxford University, 2008.

STALS, M.; THIJSEN, E.; VANGRONSVELD, J.; CARLEER, R.; SCHREURS, S.; YPERMAN, J. Flash pyrolysis of heavy metal contaminated biomass from phytoremediation: Influence of temperature, entrained flow and wood/leaves blended pyrolysis on the behaviour of heavy metals. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.87, n.1, p.1–7, 2010.

STANMORE, B. R.; GILOT, P. Review-calcination and carbonation of limestone during thermal cycling for CO₂ sequestration. **Fuel Processing Technology**, v.86, n.16, p.1707–1743, 2005.

STEINER, C.; DAS, K. C.; GARCIA, M.; FORSTER, B.; ZECH, W. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central amazonian ferralsol amended with compost and charcoal. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Landau, v.171, n.6, p.893-899, 2008.

STEWART, C. E.; ZHENG, J.; BOTTE, J.; COTRUFO, M. F. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. **GCB Bioenergy**, v.5, n.2, p.153–164, 2013.

SULIMAN, W.; HARSH, J. B.; ABU-LAIL, N. I.; FORTUNA, A. M.; DALLMEYER, I.; GARCIA-PEREZ, M. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting

hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment**, v.574, p.139–147, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TENÓRIO, F. A. Cultivation of common bean with the application of biochar of ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) endocarp. **Afr. J. Agric. Res.**, v.13, n.28, p.1443-1452, 2018.

TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant Soil**, v.159, p.115-121, 1994.

TITIRICI, M. M.; THOMAS, A.; YU, S. H.; MULLHER, J.; ANTONIETTI, M. A. Direct Synthesis of Mesoporous Carbons with Bicontinuous Pore Morphology from Crude Plant Material by Hydrothermal Carbonization. **Chemistry of Materials**, v.19, n.1, p.4205–4212, 2007.

TISDALL, J. M., OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.**, v.33, p.141–163, 1982.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.32, p.943-952, 2008.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sci. Agric.**, v.59, p.795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, M. G.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.437-445, 2011.

TRAZZI, P. A. **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** 2014. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biochar: Reality and Potential use in Forestry. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.2, p.875-887, 2018.

TRICHES, R. M.; SCHNEIDER, S. Alimentação Escolar e Agricultura familiar: reconectando o consumo a produção. **Saúde e Sociedade**, v.19, n.4, p.933-945, 2010.

URHIE, E. J.; TOLUWASE, A. O.; KEHINDE, E. O.; OMASAN, E. E.; YETUNDE, A. T.; GEORGE, O. O.; ZHAO, C.; WANG, H. Effect of Biochar on Soil Structure and Storage of

Soil Organic Carbon and Nitrogen in the Aggregate fractions of an Albic Soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.3, p.0340-0365, 2019.

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil friability. **J. Soil Sci.**, v.32, p.203-213, 1981.

VALLE, S. R.; CARRASCO, J. Soil quality indicator selection in Chilean volcanic soils formed under temperate and humid conditions. **Catena**, Amsterdã, v.162, p.386–395, 2018.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, Amsterdã, v.327, p.235-246, 2010.

VASCONCELOS, R. F. B. de; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S. de; COSTA, Y. D., J. da; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.309-316, 2010.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. **EUR. Scientific and technical research series**, v.24099, p.162-178, 2010.

VILELA, F. J. Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens*. In: PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO. 2., 2017, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2017.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; RUMJANEK, N. G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.1, p.25-33, 2006.

WANG, C.; WANG, Y.; HERATH, H. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar—Their formation, occurrence and analysis: a review: **Org. Geochem.** v.114, p.1–11, 2017.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILING, M. Mycorrhizal responses to biochar in soil - concepts and mechanisms. **Plant and Soil**, Amsterdã, v.300, p.9-20, 2007.

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.49, p.73-84, 1998.

WEIL, R. R. et al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative agriculture**, v.18, n.01, p.3-17, 2003.

WENDELING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agrop. Brasileira**, Brasília, v.40, p.487-494, 2005.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 2000. 104p.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, L. E.; HALL, G.F. (Ed.). **Pedogenesis and soil taxonomy I. concepts and interactions**. Amsterdã: Elsevier, 1983. p. 83-116.

WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. de O.; GOMES, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v.28, n.4, 2018.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo francoarenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.28, p.891-900, 2004.

YADAV, V.; KHARE, P. Impact of Pyrolysis Techniques on Biochar Characteristics: Application to Soil. **Springer.**, v.31, p.33-52, 2020.

YAGI, R.; FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. A incorporação de calcário em sistema plantio direto consolidado reduz o estoque de carbono em macroagregados do solo. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.1962–1965, nov. 2014.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil science and plant nutrition**, v.52, n.4, p.489-495, 2006.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and ligninpyrolysis. **Fuel**, v.86, n.12–13, p.1781–1788, 2007.

YAO, F. X.; ARBESTAIN, M. C.; VIRGEL, S.; BLANCO, J.; AROSTEQUI, J.; MACÍAGULLÓ, J. A.; MACÍAS, F. Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in 45 a modified Soxhlet reactor. **Chemosphere**, v.80, n.7, p.724–732, 2010.

YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Changes of bacterial Community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, v.113, p.11-21, 2017a.

YAO, Q.; LIU, J.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Three years of biochar amendment alters soil physiochemical properties and fungal community composition in a black soil of northeast China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.110, p.56–67, 2017b.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em Povoamentos de eucalipto na região Norte fluminense. **Revs. Bras. Ciên. do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.843-852, 2004.

ZENTENO, M. D. C. **Condicionadores minerais e orgânicos na imobilização de cádmio em solos**. 2012. 91f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

ZHANG, A.; CUI, L.; PAN, G.; LI, L.; HUSSAIN, Q.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; CROWLEY, D. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice

paddy from Tai Lake plain, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.139, n.4, p.469-475, 2010.

ZHANG, F. S.; YAMASAKI, S.; ICHI, A.; NANZYU, M. Application of waste ashes to agricultural land -Effect of incineration temperature on chemical characteristics. **Science of the Total Environment**, v.264, n.3, p.205–214, 2001.

ZHANG, J.; LU, F.; LUO, C.; SHAO, L.; HE, P. Humification characterization of biochar and its potential as a composting amendment. **Journal of Environmental Sciences**, v.26, p.390-397, 2014.

ZHANG, Q.; DU, Z.; LOU, Y.; HE, X. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions. **Catena**, Amsterdã, v.127, p.26-31, 2015.

ZHANG, R.; ZHANG, Y.; SONG, L.; SONG, X.; HÄNNINEN, H.; WU, J. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. **Forest Ecology and Management**, v.391, p.321-329, 2017.

ZHAO, S. X.; TA, N.; WANG, X. D. Effect of temperature on the structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material. **Energies**, v.10, n.9, p.1–15, 2017.

ZHOU, H.; FANG, H.; MOONEY, S. J.; PENG, X. Effects of long-term inorganic and organic fertilizations on soil micro and macro structures of rice paddies. **Geoderma**, Amsterdã, v.266, p.66–74, 2016.

ZHOU, H.; ZHANG, D.; WANG, P.; LIU, X.; CHENG, K.; LI, L.; ZHENG, J.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; CROWLEY, D.; ZWIETEN, L. V.; PAN, G. Changes in microbial biomass and the metabolic quotient with biochar addition to agricultural soils: A Meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and environment**, v.239, p.80-89, 2017.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, Collingwood, v.49, n.7, p.614–624, 2011.