

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Impacto do Manejo Agrícola em Organossolos no
Estado do Rio de Janeiro**

Otavio Augusto Queiroz dos Santos

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-
CIÊNCIA DO SOLO

IMPACTO DO MANEJO AGRÍCOLA EM ORGANOSSOLOS NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

OTAVIO AUGUSTO QUEIROZ DOS SANTOS

Sob a orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação do Professor

Andrés Calderín García

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Outubro de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Central de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237i Santos, Otavio Augusto Queiroz dos, 1994-
Impacto do manejo agrícola em Organossolos no Estado do Rio de Janeiro / Otavio Augusto Queiroz dos Santos. – Seropédica, RJ, 2020.
67 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2020.

1. Uso do Solo. 2. Estoques de C e N. 3. Fracionamento sequencial de P. 4. Subsidência. 5. Sulfurização. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

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

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

OTAVIO AUGUSTO QUEIROZ DOS SANTOS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 26/10/2020.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Arcângelo Loss. Dr. UFSC

Jolimar Antonio Schiavo. Dr. UEMS

DEDICATÓRIA

*À minha família, em especial à minha mãe, que por muito passamos até que eu
pudesse alcançar esse sonho.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da sabedoria e por providenciar o necessário para chegar onde cheguei, sem Ele nada disso seria possível.

A minha família, pelo apoio, em especial à minha mãe Sueli e irmã Angélica que foram base e inspiração para que eu conseguisse vencer os desafios diários.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter proporcionado esses anos intensos e enriquecedores, onde conheci pessoas incríveis e passei por situações que me fizeram amadurecer em diversos sentidos.

Ao meu orientador e amigo Marcos Gervasio Pereira pela confiança, paciência, dedicação, motivação e por ser exemplo e inspiração.

Aos colegas do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, em especial à Renato, Luiz, Eduardo e Roberto por sempre estarem dispostos a ajudar, incentivar e tornar o trabalho ainda mais prazeroso.

Ao professor Andrés pela coorientação.

Aos colegas do alojamento pelo bom convívio ao longo destes anos.

Aos amigos que me acompanharam nos momentos de diversão e de dificuldades, que tornaram-se para mim uma base: Marcos, Hugo, Yan, Rafael, Marcelo e Vinício.

À Vanessa Rodrigues pelos anos de convivência, amiga de todas as horas, que me acompanha, insiste, apoia e me tranquiliza.

À banca avaliadora, pela disponibilidade de tempo e atenção.

Aos professores por todo o conhecimento repassado até aqui.

À família Miyata que cedeu sua propriedade para a avaliação.

Ao Departamento de Solos, pelo suporte laboratorial de extrema valia à execução da dissertação.

E a todos aqueles que de alguma forma me apoiaram e acreditaram em mim, para que o sonho de um menino criado só pela mãe, que estudou em escola pública e que teve que lutar contra os mais diversos desafios, pudesse vencer e alcançar o título de mestre em ciência. Muito obrigado!

À CAPES pela bolsa concedida e a FAPERJ pelo auxílio financeiro.

BIOGRAFIA

Otavio Augusto Queiroz dos Santos, filho de Sueli de Fátima Queiroz, nasceu em 26 de março de 1994, na cidade de Novo Horizonte, estado de São Paulo. De origem rural, teve contato com o campo logo cedo despertando assim a paixão pelo meio agrícola. Em 2011, concluiu o ensino médio pela Escola Shirley Camargo von Zuben. Em 2013, ingressou no curso de Agronomia da centenária Escola Nacional de Agronomia Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Durante o curso foi bolsista FUNARBE na EMBRAPA Agrobiologia nos anos de 2014, 2015 e 2016. Em 2017, tornou-se monitor da disciplina Aptidão Agrícola e Manejo dos Solos e passou a desenvolver atividades de pesquisa no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, permanecendo até o final da graduação em 2018. Desenvolveu pesquisas relacionadas aos impactos do manejo agrícola em solos sob cultivo de cana-de-açúcar. Em setembro de 2018, ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ.

RESUMO GERAL

SANTOS, Otavio Augusto Queiroz dos. **Impacto do manejo agrícola em Organossolos no estado do Rio de Janeiro**. 2020. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Organossolos são definidos pelo elevado teor de matéria orgânica e são relevantes pelo estoque de carbono e nitrogênio, assim contribuindo para a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). O manejo adequado desses solos deve preservar a matéria orgânica, consequentemente, mitigando a produção de GEE. Este estudo objetivou avaliar as seguintes alterações nas propriedades dos Organossolos em função do revolvimento do solo e drenagem artificial: conteúdo de matéria orgânica e de sulfato, estoques de C e N, disponibilidade e conteúdo das frações de P. Foram selecionadas três áreas com diferentes coberturas: mata secundária em regeneração natural, cultivo convencional de mandioca (*Manihot sculenta*) e cultivo consorciado de coco (*Cocos nucifera*) com mandioca; nas quais foram abertas trincheiras para descrição de perfis de solo e coleta de amostras. Foram realizadas as seguintes análises: caracterização química, escala de von Post de decomposição da matéria orgânica, porcentagem de fibras esfregadas, conteúdo de matéria orgânica, porcentagem de material mineral, densidade do solo, condutividade elétrica, sulfato solúvel, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Foram calculados os estoques de C e N, e realizados o fracionamento da matéria orgânica e fracionamento sequencial de P. Os resultados do capítulo I mostraram que os valores de COT e NT diminuíram 33 e 20%, respectivamente, no horizonte hístico na área com cultivo de mandioca. Na área de coco consorciado com mandioca os valores de COT e NT diminuíram 31 e 18% respectivamente, no horizonte hístico. Verificou-se perdas de carbono orgânico lábil e o processo de sulfurização foi evidenciado nos perfis com uso agrícola. No capítulo II os resultados mostram que na área de cultivo de mandioca houve redução no conteúdo de P total em subsuperfície em 35,6 e 37,9%, quando comparado com a de cultivo de coco consorciado com mandioca e a floresta secundária, respectivamente. Em todas as áreas observou-se o predomínio da fração de P residual altamente recalcitrante (> 70%). O conteúdo de P disponível foi reduzido somente na área de cultivo de mandioca. A drenagem e o revolvimento do solo reduziram dos estoques de C e N do solo e afetou os processos de adsorção e mineralização do P, em todas suas frações inorgânicas.

Palavras-chave: Uso do solo. Estoques de C e N. Fracionamento sequencial de P. Subsídência. Sulfurização.

GENERAL ABSTRACT

SANTOS, Otavio Augusto Queiroz dos Santos. **Impact of agricultural management in Histosols in Rio de Janeiro State**. 2020. 67p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020

Histosols are defined by the high levels of organic matter and they are very important for storing carbon and nitrogen, thus contributing in mitigating greenhouse gases (GHG). Proper management of these soils should preserve organic matter, consequently, mitigating GHG production. This study aimed to evaluate the following changes in the properties of Histosols due to the soil tillage and artificial drainage: organic matter and sulfate content, C and N stocks, availability and content of P fractions. Three areas with different coverages were selected: secondary forest in natural regeneration, conventional cultivation of cassava (*Manihot sculenta*) and intercropped coconut (*Cocos nucifera*) with cassava; in which soil pits were opened for profiles description and sampling. The following analyzes were carried out: chemical characterization, von Post scale of decomposition of organic matter, percentage of rubbed fibers, organic matter content, percentage of mineral material, bulk density, electrical conductivity, soluble sulfate, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (NT). There were calculated the stocks of C and N, and obtained fractionation of organic matter and sequential fractionation of P. The results of chapter I showed that the values of COT and NT decreased in 33 and 20%, respectively, in the histic horizon of the area with cassava crop. In the area with coconut intercropped with manioc, the TOC and NT values decreased by 31 and 18% respectively, in the histic horizon. There were losses of labile organic carbon and the sulfurization process was evidenced in the profiles with agricultural usage. In the chapter II, the results show that in the cassava cultivation area there was a reduction in the total P content in the subsurface by 35.6 and 37.9%, when compared to the area with coconut intercropped with cassava and the secondary forest, respectively. In all areas, there was predominance of the highly recalcitrant residual P fraction (> 70%). The available P content was reduced only in the cassava cultivation area. Drainage and soil tillage reduced the C and N stocks in the soil, and affected P adsorption and mineralization processes, in all the inorganic fractions.

Keywords: Land use. C and N stocks. P sequential fractionation. Subsidence. Sulfurization.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização das áreas de estudo na cidade do Rio de Janeiro, Brasil..... 8
- Figura 2.** Perfis de Organossolos sob diferentes sistemas de uso do solo no município do Rio de Janeiro, Brasil. Floresta tropical secundária (vegetação natural) (A); cultivo convencional de mandioca (*Manihot esculenta*) (B); e coco (*Cocos nucifera*) consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*)..... 10
- Figura 3.** Estoque de carbono e nitrogênio nos perfis de Organossolos estudados..... 18
- Figura 4.** Relações entre estoque de carbono e nitrogênio (ECO e EN) e espessura de horizontes e conteúdo total de carbono e nitrogênio (COT e TN). A1 = área 1, A2 = área 2 e A3 = área 3..... 19
- Figura 5.** Carbono orgânico total e frações do carbono orgânico nos perfis de Organossolos estudados..... 21
- Figura 6.** Análise de componentes principais e análise de agrupamento de cluster dos perfis de Organossolos estudados. 22
- Figura 7.** Relações entre sulfato solúvel (SO_4^{2-}), pH(H₂O) e condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo. 24
- Figura 8.** Canal de drenagem na Área 3 (A) e transição entre superfície (Hdp2) e subsuperfície (Cg)..... 24
- Figura 9.** Localização das áreas de estudo..... 33
- Figura 10.** Estratégias de coleta das amostras e perfis representativos de cada área estudada. 34
- Figura 11.** Fósforo total do solo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos submetidas a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância..... 36
- Figura 12.** Fósforo inorgânico total (A) e fósforo orgânico total (B) nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância..... 37
- Figura 13.** Fósforo residual nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de regeneração natural (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância..... 37
- Figura 14.** Frações inorgânicas de fósforo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância. 38
- Figura 15.** Frações orgânicas de fósforo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de

regeneração natural (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.	39
Figura 16. Estoques das frações inorgânicas (A) e orgânicas (B) do fósforo do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.	40
Figura 17. Estoques totais de fósforo do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.....	41
Figura 18. Fósforo remanescente do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Forest) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 4) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.....	41
Figura 19. Perfil 1. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata, no município do Rio de Janeiro.	55
Figura 20. Perfil 2. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata no município do Rio de Janeiro.	56
Figura 21. Perfil 3. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata no município do Rio de Janeiro.	58
Figura 22. Perfil 4. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	59
Figura 23. Perfil 5. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	61
Figura 24. Perfil 6. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	62
Figura 25. Perfil 7. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de coco (<i>Cocos nucifera</i>) consorciado com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	64
Figura 26. Perfil 8. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de coco (<i>Cocos nucifera</i>) consorciado com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	66
Figura 27. Perfil 9. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de coco (<i>Cocos nucifera</i>) consorciado com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) no município do Rio de Janeiro.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização dos perfis e características das áreas estudadas localizadas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	9
Tabela 2. Descrição das propriedades morfológicas dos perfis de Organossolos estudados. .	14
Tabela 3. Propriedades químicas dos perfis de Organossolos estudados.	15
Tabela 4. Condutividade elétrica, pH, Na, K e sulfato solúvel no extrato da pasta saturada do solo nos perfis de Organossolos estudados.....	16
Tabela 5. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N dos perfis de Organossolos estudados.....	17
Tabela 6. Relações entre carbono orgânico lábil (COL) e carbono orgânico associado aos minerais (COaM) com carbono orgânico total (COT).	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO I IMPACTO DO USO DA TERRA NAS PROPRIEDADES DE ORGANOSSOLOS EM ECOSISTEMAS DE AGRICULTURA URBANA NO RIO DE JANEIRO, BRASIL	3
2.1. RESUMO.....	4
2.2. ABSTRACT	5
2.3. INTRODUÇÃO.....	6
2.4. MATERIAL E MÉTODOS	7
2.4.1. Área de estudo e amostragem	7
2.4.2. Análises químicas e físicas.....	9
2.4.3. Carbono e nitrogênio total, frações do carbono orgânico e estoques de C e N.....	10
2.4.4. Análise estatística.....	11
2.5. RESULTADOS	12
2.5.1. Morfologia do solo e características gerais	12
2.5.2. Propriedades químicas.....	12
2.5.3. Classificação do solo	13
2.5.4. Carbono orgânico total e nitrogênio	17
2.5.5. Estoque de carbono e nitrogênio	18
2.5.6. Frações do carbono orgânico do solo	20
2.5.7. Análises multivariadas.....	22
2.6. DISCUSSÃO	23
2.7. CONCLUSÕES	26
3. CAPÍTULO II MUDANÇAS NAS RESERVAS DE FÓSFORO NO SOLO INDUZIDAS PELA DRENAGEM EM ORGANOSSOLOS	27
3.1. RESUMO.....	28
3.2. ABSTRACT	29
3.3. INTRODUÇÃO.....	30
3.4. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.4.1. Caracterização da área de estudo e estratégias de coleta das amostras	32
3.4.2. Fracionamento do P.....	34
3.4.3. Adsorção de P.....	34
3.4.4. Determinação dos estoques de P no solo	35
3.4.5. Análise estatística	35
3.5. RESULTADOS	36
3.6. DISCUSSÃO	42
3.7. CONCLUSÕES	44
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7. ANEXOS	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono nos ecossistemas terrestres (BRUCE et al., 1999; ASSAD et al., 2013). Estima-se que nos primeiros 100 cm de profundidade aproximadamente 2200 Pg de carbono (C) estejam armazenados nos solos de todo o mundo, sendo 1500 Pg de carbono orgânico e 700 Pg de carbono inorgânico (BATJES, 1996). Com destaque para os Organossolos que contém elevados teores de C, apresentando valores médios de estoque de C em torno de 77,6 kg C m⁻² (BATJES, 1996) atuando como depósitos naturais de C.

O Brasil possui cerca de 1 milhão de ha de Organossolos, o que representa pouco mais de 0,1% do território nacional (PEREIRA et al., 2005). No estado do Rio de Janeiro, os Organossolos ocorrem nos municípios de Macaé, Casemiro de Abreu, Campos dos Goytacazes, Silva Jardim, Itaguaí, Rezende, São José da Boa Morte, Nova Friburgo, no Parque Nacional de Itatiaia e Município do Rio de Janeiro, ocorrendo principalmente na região de Santa Cruz (SOARES, 2011).

No município do Rio de Janeiro a média estimada dos valores de estoques de carbono varia na faixa de 200 a 500 Mg ha⁻¹ (referente a um metro de profundidade a partir da superfície), indicando que essa classe de solo possui capacidade diferenciada de armazenar carbono em função da sua gênese, da posição na paisagem, e da fitofisionomia de origem (MENDONÇA-SANTOS et al., 2003). São os solos mais importantes quanto ao armazenamento de carbono, porém estão limitados a áreas pequenas, 3% da área total do município.

Esses solos também possuem importância agrícola, principalmente para agricultores familiares. Pereira et al. (2020) observaram produtividades de 1818 kg ha⁻¹ de feijão inoculado em áreas de Organossolos Háplicos em Santa Cruz, município do Rio de Janeiro.

A utilização das áreas de Organossolos com finalidade agrícola normalmente exige a realização da drenagem do excesso hídrico do solo. Essa prática provoca diversas alterações físicas, químicas e biológicas nesses solos, ocasiona desagregação do solo com colapso dos poros, aumentando a aeração e a taxa de mineralização da matéria orgânica, como consequência, ocorre a liberação do carbono presente passando a ser fonte de emissão de gases de efeito estufa (WEISSERT & DISNEY, 2013; SOARES et al., 2015), gerando um processo denominado de subsidência (PEREIRA et al., 2005).

O processo de subsidência ocasiona uma elevação das emissões de CO₂ para a atmosfera, já que se perde parte do carbono aprisionado nestes solos após a drenagem. Tem sido estimado que para cada centímetro de subsidência nos Organossolos das regiões tropicais, há a emissão de 13 Mg CO₂ por hectare por ano (WÖSTEN et al., 1997). No entanto, estes valores podem variar significativamente, já que alguns fatores possuem relação direta com a taxa de subsidência. Entre estes fatores incluem-se, a profundidade de drenagem, formas de uso da terra, teores de matéria orgânica do solo e aumentos na temperatura regional (WÖSTEN & RITZEMA, 2001).

Dentre as práticas de uso da terra que influenciam nos processos de subsidência, destaca-se o revolvimento do solo. Com o revolvimento, a matéria orgânica é exposta ao oxigênio, acelerando as taxas de mineralização. Além das perdas de matéria orgânica, ao realizar o revolvimento dos Organossolos que foram submetidos a processo de drenagem artificial, é possível que, quando a matéria orgânica seque, ela se torne hidrofóbica, e portanto, seja incapaz de retornar aos níveis iniciais de umidade, o que pode inviabilizar a produção vegetal e intensifica as perdas de C e N (HOLDEN et al., 2006; GRZYWNA, 2017).

Organossolos formados em condições que favorecem a acumulação de materiais sulfídricos, tais como o fornecimento de sulfato dissolvido pela água do mar e matéria orgânica abundante, são ainda mais sensíveis as práticas de drenagem e revolvimento, pois ao expor esses solos ao oxigênio, os sulfetos (geralmente sulfetos de ferro) são oxidados, levando a formação de jarosita e ácido sulfúrico, promovendo a acidificação, e possível tiomorfismo, quando o pH do solo atinge valores inferiores a 3,5 (VEGAS-VILARRÚBIA et al., 2008; SANTOS et al., 2018), impossibilitando a produção vegetal.

A manutenção da altura do lençol freático em profundidades adequadas tanto para o cultivo quanto para a manutenção dos sulfetos livres de oxigênio, assim como a proteção da matéria orgânica a decomposição acelerada, contribuem para a manutenção do pH do solo em níveis adequados e dos estoques de C e N no solo.

Organossolos apresentam, naturalmente, baixos teores de P prontamente disponível (ARSENAULT et al., 2018, WANG et al., 2015), o que torna a demanda microbiana por esse nutriente, elevada (PARVIN et al., 2018). Sendo assim, o aumento da disponibilidade de P prontamente disponível no solo pode acelerar a decomposição da MOS via atividade microbiana, resultando em maiores emissões de GEE para a atmosfera (BROUNS et al., 2016; MORRISON et al., 2016; PARVIN et al., 2016).

Porém, naturalmente, o que se observa nos Organossolos é um elevado teor de P nas frações orgânicas altamente recalcitrantes (WANG et al., 2012). Esse padrão associado a reduzida mineralização e a presença de lençol freático alto tende a favorecer um acúmulo significativo de P orgânico nesses solos, tornando esse ambiente um grande reservatório de P.

A partir do exposto, as hipóteses gerais do trabalho são: em função do revolvimento e drenagem do solo, ocorrem alterações químicas e físicas nas propriedades dos Organossolos, com destaque para o conteúdo de matéria orgânica e sulfato, estoques de C e N, disponibilidade e conteúdos das frações de P.

A dissertação está dividida em dois capítulos, cujos títulos são: “Impacto do uso da terra nas propriedades de Organossolos em ecossistemas de agricultura urbana no Rio de Janeiro, Brasil”; e “Mudanças nas reservas de fósforo no solo induzidas pela drenagem em Organossolos”. Que tem como objetivos: investigar o efeito do preparo do solo com revolvimento e drenagem nas propriedades de Organossolos, através de análises químicas, físicas e morfológicas; e avaliar os efeitos da drenagem na dinâmica e acúmulo das frações orgânicas e inorgânicas de P e no potencial de adsorção de P pelo solo.

2. CAPÍTULO I

IMPACTO DO USO DA TERRA NAS PROPRIEDADES DE ORGANOSSOLOS EM ECOSISTEMAS DE AGRICULTURA URBANA NO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Capítulo publicado como artigo em “Revista Brasileira de Ciência do Solo”.
dos Santos, O. A. Q.; da Silva Neto, E. C.; García, A. C.; Fagundes, H. S.; Diniz, Y. V. F. G.; Ferreira,
R.; Pereira, M. G. Impact of land use on Histosols properties in urban agriculture ecosystems of Rio de
Janeiro, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 44, p. 1-22, 2020.

2.1. RESUMO

Organossolos são definidos pelo elevado teor de matéria orgânica e possuem muitas funções e serviços ecossistêmicos relacionados principalmente com suas reservas de carbono e nitrogênio. As práticas de manejo nesses solos podem aumentar a mineralização da matéria orgânica e contribuir para a emissão de gases de efeito estufa. Nesse estudo foi investigado o efeito do preparo do solo com revolvimento do solo e drenagem nas propriedades de Organossolos em três sistemas de uso do solo, localizadas no município do Rio de Janeiro, Brasil. Foram selecionadas três áreas com diferentes coberturas: Área 1, mata secundária com regeneração natural; Área 2, cultivo convencional de mandioca (*Manihot succulenta*) com revolvimento do solo; e Área 3, consórcio de coco (*Cocos nucifera*) + mandioca com sistema de drenagem artificial; nas quais foram abertas trincheiras para descrição de perfis de solo e coleta de amostras. Foram realizadas as seguintes análises: caracterização química, escala de von Post de decomposição da matéria orgânica, porcentagem de fibras esfregadas, conteúdo de matéria orgânica, porcentagem de material mineral, densidade do solo, condutividade elétrica, sulfato solúvel, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Foram calculados os estoques de C e N. Os resultados mostraram que os valores de COT e NT diminuíram 33 e 20%, respectivamente, no horizonte hístico na área com cultivo de mandioca. Na área de coco consorciado com mandioca os valores de COT e NT diminuíram 31 e 18% respectivamente, no horizonte hístico. Verificou-se perdas de carbono orgânico lábil e o processo de sulfurização foi evidenciado nos perfis com uso agrícola.

Palavras-chave: Horizonte hístico. Solos urbanos. Subsidência. Solos tiomórficos.

2.2. ABSTRACT

Histosols are defined by the high organic matter content and have many functions and ecosystem services related mainly to their carbon and nitrogen reserves. The management practices that soils can increase the mineralization of organic matter and contribute to the emission of greenhouse gases. In this study was investigated the soil tillage effect and drainage on Histosols properties in three land use systems, in the municipality of Rio de Janeiro, Brazil. Three areas with different cover were selected: area 1, secondary forest with natural regeneration; area 2, conventional cassava (*Manihot sculenta*) cultivation with soil revolving; and area 3, consortium of coconut (*Cocos nucifera*) + cassava with an artificial drainage system; in which trenches were opened for the soil profiles description and collection. The following analyzes were carried out: chemical characterization, von Post scale of decomposition of organic matter, percentage of rubbed fibers, organic matter content, percentage of mineral material, bulk density, electrical conductivity, soluble sulfate, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (NT). There were calculated the stocks of C and N. The results showed that the COT and NT values decreased in 33 and 20%, respectively, in the histic horizon of the cassava crop area. In the coconut intercropped with manioc area, the TOC and NT values decreased by 31 and 18% respectively, in the histic horizon. There were losses of labile organic carbon and the sulfurization process was evidenced in the profiles with agricultural use.

Key words: Histic horizon. Urban soils. Subsidence. Acid sulfate soils.

2.3. INTRODUÇÃO

O solo é considerado o maior reservatório de carbono (C) nos ecossistemas terrestres (SCHARLEMANN et al., 2014). Estima-se que o reservatório global de carbono do solo (~2500 Pg C) corresponda a aproximadamente 4 vezes o compartimento de C da vegetação e 3,3 vezes o carbono da atmosfera, sendo constituído principalmente pelo carbono orgânico (~1500 Pg C) (LAL et al., 2004). Nesse contexto, se destacam os solos de ambientes de várzeas (Organossolos), que cobrem cerca de 3% da superfície terrestre, mantendo entre 113 e 612 Pg de C (KÖCHY et al., 2015; JACKSON et al., 2017). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), os solos de turfa são chamados de Organossolos (SANTOS et al., 2018). Estima-se que o Brasil possua cerca de 0,6 – 1,0 milhão de hectares de Organossolos distribuídos em áreas tropicais e subtropicais, com uma média de 204 Mg ha⁻¹ de estoque de carbono orgânico em 1,00 m de profundidade desde a camada superficial do solo (VALLADARES et al., 2016). Considerando que o Brasil possui mais de 12.200 km² de mangue, distribuídos em mais de 7.000 km de costa onde é provável a presença de solos orgânicos, a área exata de Organossolos ainda é incerta (MINASNY et al., 2019).

No município do Rio de Janeiro, a área de Organossolos é estimada em 3% do território (LUMBRERAS & GOMES, 2004). O carbono orgânico do solo estimado nesses solos varia entre 218,8 e 324,6 g kg⁻¹, indicando a alta capacidade desses solos para armazenar C (LUMBRERAS & GOMES, 2004). A maioria das áreas de Organossolos são utilizadas por agricultores urbanos que muitas vezes não recebem orientação técnica adequada sobre como gerir de forma eficaz esses solos. Apesar da expansão urbana na cidade, são poucos os estudos avaliando o impacto das mudanças no uso do solo nas propriedades de solos urbanos. Estes estudos podem contribuir para o desenvolvimento de ferramentas de planejamento territorial em nível local, capaz de prevenir o agravamento de problemas causados pela expansão desordenada e ocupação das terras no município do Rio de Janeiro.

A utilização das áreas de Organossolos com finalidade agrícola normalmente exige a realização de drenagem. Essa prática provoca diversas alterações físicas, químicas, e biológicas nesses solos, com destaque para a subsidência, que é o processo de rebaixamento do nível superficial do solo (PEREIRA et al., 2005). Este processo leva à desagregação do solo com colapso dos poros, aumentando a aeração e a taxa de mineralização da matéria orgânica, como consequência, ocorre a liberação do C, passando a ser fonte de emissão de gases de efeito estufa (WEISSERT & DISNEY, 2013; SOARES et al., 2015).

Ainda, quando ocorrem em ambientes costeiros esses solos podem apresentar baixo pH (< 3,5), característico do horizonte sulfúrico, devido a oxidação de sulfetos, notadamente pirita (FERREIRA et al., 2007a, b). Este horizonte funciona como uma barreira química ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, limitando o volume de solo explorado pelas raízes e restringindo, assim, o desenvolvimento normal das plantas. Assim, na seleção de métodos e práticas de manejo para solos ácidos sulfatados, devem-se levar em conta, além do fator edáfico, outras características ambientais, como clima (quantidade e distribuição das chuvas), fatores hidrológicos (inundação, métodos de irrigação e qualidade de água) e fatores econômicos (SOUZA JUNIOR et al., 2001a, b).

Apesar dessa elevada fragilidade, em muitas regiões os Organossolos oferecem renda a agricultores urbanos. Esses agricultores precisam de informações, ferramentas e treinamento para encontrar as melhores opções de manejo desses solos para o uso eficiente dos mesmos. Esse estudo teve como objetivo investigar o efeito do preparo do solo com revolvimento e drenagem nas propriedades de Organossolos em três sistemas de uso do solo localizados no município do Rio de Janeiro, Brasil.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1. Área de estudo e amostragem

O estudo foi realizado em áreas de Organossolos no município do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 1). Os solos estudados são formados por sedimentos argilo-arenosos ricos em matéria orgânica, normalmente com altos teores de sais e enxofre, com elevado risco de acidificação, se drenados (DANTAS et al., 2001). O clima da região foi classificado como Aw, segundo Köppen, com temperatura e precipitação média anual de 21° C e 2300 mm, respectivamente. Até a primeira metade do século XX, essa região apresentava características basicamente rurais, com baixos índices de ocupação humana e extensas áreas preservadas. Entre 1960 e 1970, a região passou por um intenso processo de integração ao município do Rio de Janeiro, ampliando a área urbanizada da cidade.

Foram selecionadas três áreas submetidas a diferentes práticas de cultivo nos últimos 20 anos, sendo: área 1 (Floresta Secundária) = floresta tropical secundária, onde a regeneração natural foi permitida por quase 20 anos, com espécies de famílias Myrtaceae, Lauraceae, Rubiaceae e Fabaceae; área 2 (mandioca + revolvimento do solo) = foi cultivada com mandioca (*Manihot esculenta*), com preparo convencional do solo, aração a uma profundidade de 0,20 m seguida de gradagem, sulcamento e plantio em canteiros elevados de aproximadamente 0,30 m de altura. O espaçamento entre as linhas e entre as plantas foram 1,0 e 0,6 m, respectivamente; área 3 (coco consorciado com mandioca + sistema de drenagem) = foi cultivada com coco (*Cocos nucifera*) e mandioca (*Manihot esculenta*), com sistema de drenagem com valas. Os drenos foram abertos, em formato retangular, com profundidade de 0,7 m e largura de 1,0 m. Os coqueiros são cultivados com espaçamento de 5 m entre linhas e 5 m entre plantas. A mandioca foi plantada com espaçamento de 1,0 e 0,6 m, entre linhas e plantas, respectivamente. As três áreas estão a cerca de 100 m uma da outra.

Essas áreas estão localizadas em uma propriedade que pertence a agricultores familiares que se instalaram na região desde a década de 1940. Esses agricultores receberam incentivos do governo para implantar projetos de olericultura. Nas décadas subsequentes, provavelmente em decorrência da redução da fertilidade natural dos solos e degradação, as áreas apresentaram perdas de produtividade, sendo então cultivadas com mandioca (*Manihot esculenta*) e coco (*Cocos nucifera*), espécies mais rústicas e adaptadas às condições de clima e solo (Tabela 1).

Para obtenção da descrição morfológica e amostragem dos perfis de solo, de acordo com Santos et al. (2015), em cada área, foram abertas três trincheiras, em aproximadamente 20 m uma da outra. Após a descrição morfológica e caracterização física e química, os perfis foram classificados taxonomicamente de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

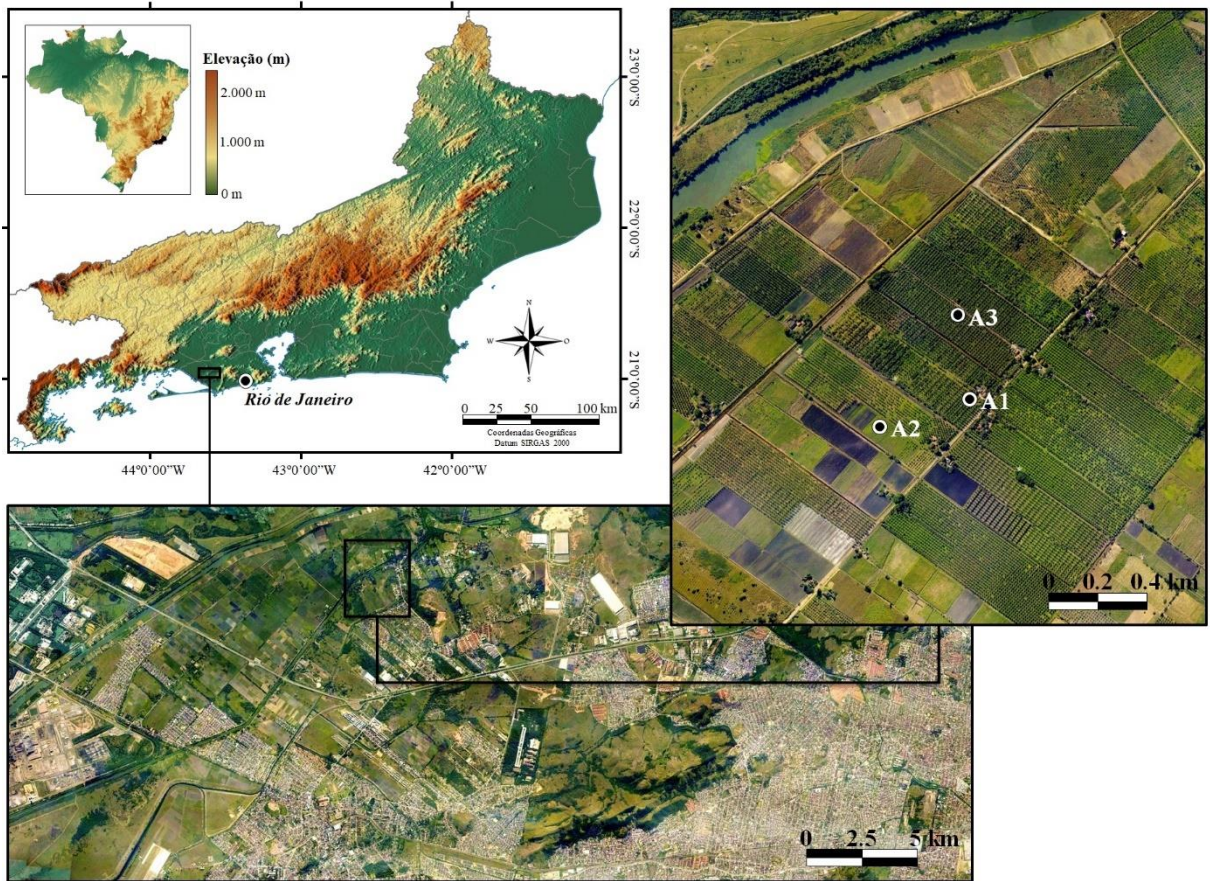


Figura 1. Localização das áreas de estudo na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

Tabela 1. Localização dos perfis e características das áreas estudadas localizadas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

Perfil	Coordenadas	Elevação (m)	Uso da terra	Profundidade do lençol freático (m)	
Área 1: floresta secundária	P1	22°53'27.34"S 43°42'38.15"O	1	Agricultura convencional desde 1940	0,60
	P2	22°53'27.25"S 43°42'37.61"O	1	Nos últimos 20 anos, regeneração natural.	0,62
	P3	22°53'27.89"S 43°42'37.20"O	1		0,60
Área 2: mandioca em SPC	P4	22°53'25.26"S 43°42'40.32"O	1	Agricultura convencional desde 1940	0,60
	P5	22°53'25.73"S 43°42'39.60"O	1	Nos últimos 20 anos, plantio convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0,57
	P6	22°53'26.15"S 43°42'38.94"O	1		0,51
Área 3: consorcio de coco+mandioca	P7	22°53'25.23"S 43°42'35.43"O	1	Agricultura convencional desde 1940	0,81
	P8	22°53'24.73"S 43°42'36.21"O	1	Nos últimos 20 anos, plantio convencional de coco (<i>Cocos nucifera</i>), com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>).	0,70
	P9	22°53'24.10"S 43°42'37.16"O	1		0,65

2.4.2. Análises químicas e físicas

Os métodos analíticos para caracterização e classificação dos solos, descritos em Teixeira et al. (2017) são: determinação dos valores de pH em água, CaCl₂ e KCl na proporção solo:solução de 1:2,5; teores de cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺); alumínio trocável (Al³⁺), acidez potencial (Al+H); e o P disponível extraído em Mehlich-1. Foram calculados os índices: soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%). A condutividade elétrica do extrato da pasta saturada foi determinada segundo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017), onde a condutividade elétrica (dS m⁻¹) foi determinada com um medidor de condutividade, e a partir do mesmo extrato determinou-se os valores de Na⁺ e K⁺ em fotômetro de chama. O conteúdo de sulfato solúvel foi determinado de acordo com Raji et al. (2001): brevemente, 10 cm⁻³ de TFSA foi submetido à extração por fosfato de cálcio [Ca(H₂PO₄)₂, 0,01 mol L⁻¹]; o analito foi homogeneizado durante 30 minutos e foi então filtrado. Uma alíquota foi colhida e misturada a uma solução ácida (S-SO₄²⁻, 20 mg L⁻¹) e 0,5 g de cloreto de bário (BaCl₂.2H₂O). O teor de sulfato solúvel foi determinado em espectrofotômetro a 420 nm.

A caracterização das camadas orgânicas foi realizada de acordo com Lynn et al. (1974). Os seguintes aspectos foram analisados: escala de von Post, conteúdo de fibra esfregada (RF), matéria orgânica (MO), conteúdo de material mineral (MM) e densidade do solo (Ds). A escala de decomposição de von Post consiste em espremer um punhado de solo úmido com alto conteúdo de matéria orgânica e observar a cor do fluido extraído, a natureza das fibras das plantas e a proporção residual da amostra original retida na mão. As classes (1) a (4) são classificadas como material orgânico do solo fibrico; classes (5) e (6) como material orgânico hêmico do solo; e classes (7) a (10) como material orgânico do solo sáprico (SILVA NETO et al., 2019).

As fibras esfregadas (RF) foram determinadas em uma peneira de malha 100 mesh, esfregando o material de solo entre o polegar e o indicador, sob um jato de água, até que o

efluente fique claro. A matéria orgânica (MO) e o conteúdo de material mineral (MM) foram obtidos por combustão no forno mufla. Todos os métodos foram descritos em Santos et al. (2018). A densidade do solo (Ds) foi determinada a partir de amostras indeformadas coletadas de cada horizonte, com auxílio de anel de Kopeck, de acordo com Teixeira et al. 2017.

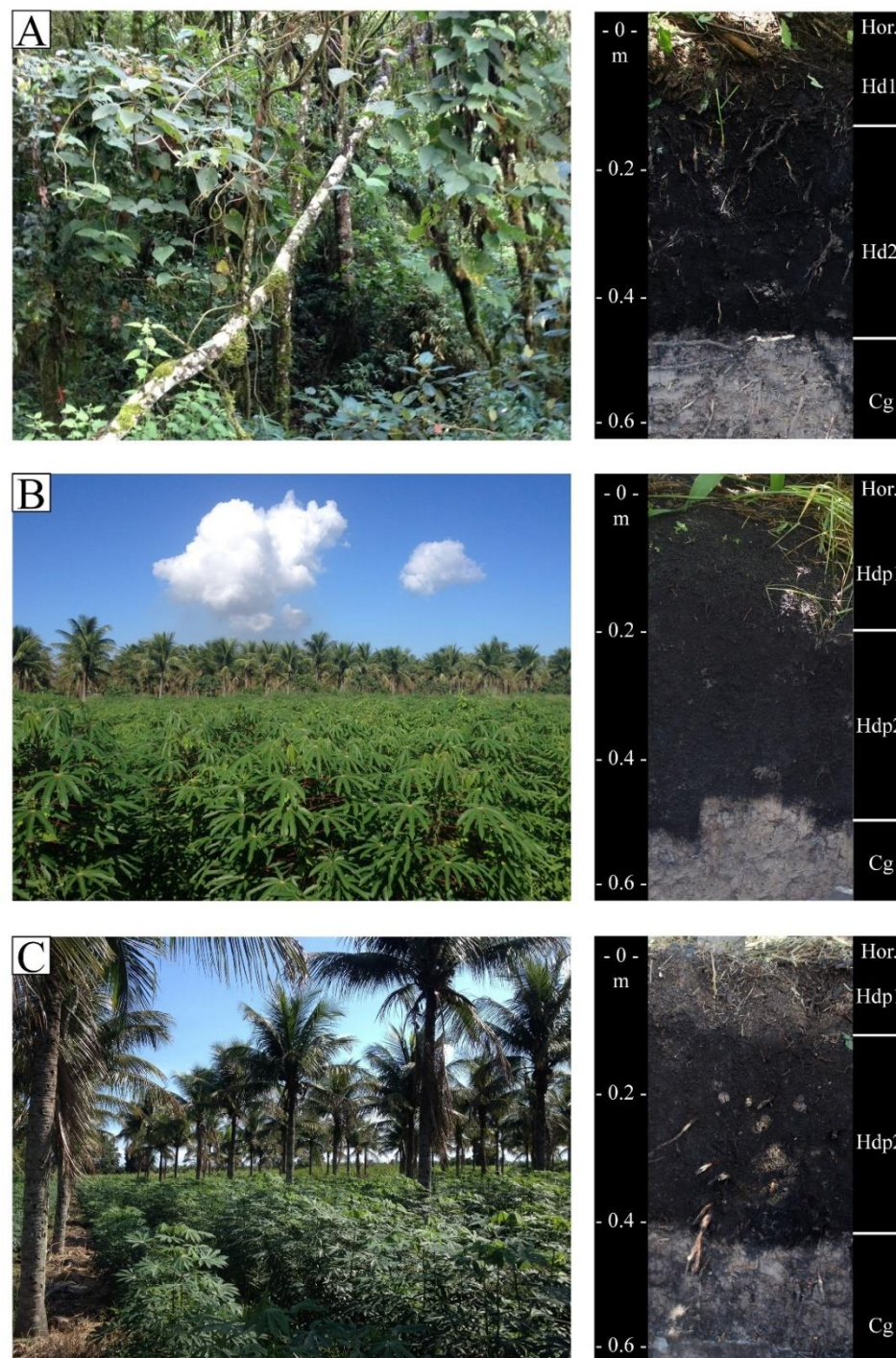


Figura 2. Perfis de Organossolos sob diferentes sistemas de uso do solo no município do Rio de Janeiro, Brasil. Floresta tropical secundária (vegetação natural) (A); cultivo convencional de mandioca (*Manihot esculenta*) (B); e coco (*Cocos nucifera*) consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*) (C).

2.4.3. Carbono e nitrogênio total, frações do carbono orgânico e estoques de C e N

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram quantificados por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ em meio sulfúrico, de acordo com Teixeira et al. (2017). O fracionamento do carbono orgânico foi realizado com base na resistência à oxidação (LOGINOW et al., 1987). Resumidamente, amostras de 2g de solo foram acondicionadas em tubos falcon de 50 mL com 25 mL de $KMnO_4$ $0,3 \text{ mol L}^{-1}$. Os tubos foram agitados e centrifugados por 5 minutos a 2000 rpm. A fração do carbono orgânico lábil (COL) foi medida pela mudança na concentração de $KMnO_4$, usando um espectrofotômetro a 565 nm, e os resultados expressos em g kg^{-1} . A fração do carbono orgânico associado a minerais (COaM) foi separada por hidrólise ácida (WANG et al., 2017) e medida pela oxidação úmida com $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$, segundo Yeomans & Bremner (1988).

O fracionamento do carbono com base em sua labilidade permite o monitoramento aprimorado de mudanças em curto prazo na matéria orgânica do solo, resultando em melhor correlação entre as frações e alterações na fertilidade química e física do solo. A soma dessas frações (COL e COaM) em solos orgânicos (percentual de recuperação) pode variar entre 74 e 94 % do COT (VALLADARES et al., 2007).

O estoque de carbono orgânico dos horizontes (ECO) foi calculado de acordo com a equação 1:

$$ECO = (COT \times Ds \times h)/10 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que ECO é o estoque de C orgânico (Mg ha^{-1}) no respectivo horizonte; COT é o teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1}); Ds é a densidade do solo do horizonte (Mg m^{-3}); e h é a espessura da camada considerada (cm).

A determinação do nitrogênio total (NT), foi realizada por digestão sulfúrica seguido de destilação Kjeldahl (TEIXEIRA et al., 2017). A partir dos resultados foi calculada a razão C/N e os estoques de NT (Equação 2):

$$EN = (NT \times Ds \times h)/10 \quad \text{Eq. 2}$$

2.4.4. Análise estatística

Foram aplicados métodos de estatística multivariada, visando verificar a similaridade entre os perfis estudados com base nas variáveis analisadas. Foi utilizado o pacote estatístico CANOCO (TER BRAAK & SMILAUER, 2002). Todas as variáveis foram padronizadas, de acordo com Gniazdowski (2017), antes de incluí-las nas análises. A análise de componentes principais foi realizada baseada na matriz de correlação dessas variáveis, utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos similares. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) para a identificação dos agrupamentos.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Morfologia do solo e características gerais

Em todos os perfis de solos estudados, verificou-se uma sequência de horizontes H-Cg (Tabela 2). O horizonte H apresentou espessura pouco variável entre as áreas, com valor médio de 0,46 m na área 1, 0,44 m na área 2 e 0,55 m na área 3. Todos os perfis apresentaram estrutura maciça nos horizontes subsuperficiais (Cg) e granular nos horizontes superficiais (H) com o tamanho e grau de desenvolvimento variando entre as áreas. Na área 1, o solo sob vegetação natural apresentou uma estrutura mais coesa, com forte grau de desenvolvimento em todos os perfis. Na área 2, sob cultivo convencional de mandioca, a estrutura do solo era de tamanho pequeno e grau de desenvolvimento moderado a forte. Na área 3, sob cultivo de coco consorciado com mandioca, o tamanho das unidades estruturais variou entre muito pequeno a pequeno, com o grau de desenvolvimento de fraco a forte. Quanto as cores, verificou-se o predomínio de cores escuras nos horizontes H e acinzentadas nos horizontes Cg (Tabela 2).

A densidade do solo nos horizontes orgânicos foi $0,74 \pm 0,11 \text{ Mg m}^{-3}$ na área 1, $0,80 \pm 0,10 \text{ Mg m}^{-3}$ na área 2, e $0,71 \pm 0,13 \text{ Mg m}^{-3}$ na área 3 (Tabela 2). O teor de matéria orgânica foi maior na área 1, com média de $303,8 \pm 15 \text{ g kg}^{-1}$, seguida pela área 3, com média de $214,8 \pm 9 \text{ g kg}^{-1}$, e área 2 com média de $209,1 \pm 7 \text{ g kg}^{-1}$. Em todos os perfis, os atributos relacionados ao grau de decomposição da matéria orgânica apresentaram baixa porcentagem de fibras esfregadas e valores entre 8 e 10 na escala de decomposição de von Post (STANEK & SILC, 1977), sendo a matéria orgânica dos horizontes superficiais classificada como sáprica.

2.5.2. Propriedades químicas

Em todos os perfis de solo os valores de pH em água foram mais elevados nos horizontes superficiais, com média de $4,87 \pm 0,21$ na Área 1, $4,68 \pm 0,16$ na Área 2 e $3,96 \pm 0,38$ na Área 3. Nos horizontes subsuperficiais (Cg) os valores foram de $3,42 \pm 0,12$ na Área 1, $3,72 \pm 0,05$ na Área 2 e $3,40 \pm 0,10$ na Área 3 (Tabela 3). Padrão semelhante foi observado para o pH em CaCl_2 e KCl ; no entanto, deve-se destacar que os menores valores foram obtidos com o emprego com a solução salina de KCl 1 mol L^{-1} . A soma de bases (S) foi maior na Área 1 ($15,67 \pm 3,11 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) seguida pela Área 2 ($11,45 \pm 1,23 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) e, Área 3 ($7,20 \pm 4,18 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) com predomínio de Mg^{+2} e Ca^{+2} que diminuiu com o aumento da profundidade do solo. Padrão similar de decréscimo em profundidade foi também verificado para K^+ e Na^+ . Nos horizontes superficiais, os valores de Al^{+3} foram maiores na Área 3 ($3,57 \pm 1,99 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) e menores na Área 1 ($0,91 \pm 0,58 \text{ cmolc.kg}^{-1}$). Nos horizontes subsuperficiais observou-se um aumento expressivo desse íon em todos os perfis (Tabela 3), o que contrasta com o que foi observado para H^+ , com maiores valores na Área 3 ($4,57 \pm 2,65 \text{ mg.dm}^{-3}$) e nos horizontes superficiais.

A salinidade do solo, estimada pela condutividade elétrica (ECe) no extrato da pasta saturada, aumentou em profundidade, com valores entre 2 e 7 dS.m^{-1} (Tabela 4). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), solos com condutividade elétrica do extrato de saturação entre 4 dS m^{-1} e 7 dS m^{-1} podem apresentar 'caráter salino', utilizado no 4º nível categórico dos Organossolos. No entanto, os valores de condutividade elétrica dos perfis estudados não estão relacionados com a salinidade, mas, sim, com os íons hidrogênio e íons sulfato, que também aumentaram em profundidade, conforme

indicado pelos valores de pH e SO_4^{2-} . Os baixos valores de Na^+ e K^+ em todos os perfis corroboram com essa interpretação.

2.5.3. Classificação do solo

As características morfológicas e os dados químicos e analíticos dos perfis selecionados foram utilizados para classificar os solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018). Todos os perfis apresentaram o horizonte diagnóstico superficial hístico, que neste estudo consiste em um horizonte formado a partir de materiais depositados sob condições de alagamento, com uma espessura $\geq 0,20$ m. Os horizontes subsuperficiais foram classificados como C glei, caracterizado pela redução do ferro e fortemente influenciado pelo lençol freático, como evidenciado pelas cores acinzentadas na matriz do horizonte, com uma espessura $\geq 0,15$ m. Assim, em primeiro nível (ordem) foram classificados como Organossolos. Com a presença de materiais sulfídricos (materiais de solo que contêm compostos de enxofre oxidáveis em áreas alagadas) e alto grau de decomposição da matéria orgânica (sáprica), os perfis foram classificados como Organossolos Tiomórficos Sápricos típicos. Na denominação dos horizontes, o subscrito “d” indica o elevado grau de decomposição de material orgânico, “p” indica modificações morfológicas nos horizontes superficiais do solo devido ao cultivo, e “g” condições estagnadas.

Tabela 2. Descrição das propriedades morfológicas dos perfis de Organossolos estudados.

Hor ⁽¹⁾	Profundidade (m)	Cores de Munsell	Ds ⁽²⁾ Mg m ⁻³	Estrutura do solo ⁽³⁾	MO ⁽⁴⁾	MM ⁽⁵⁾	RF ⁽⁶⁾	IVP ⁽⁷⁾	material
Área 1 – Floresta tropical secundária (vegetação natural)									
P1									
Hd1	0,00 - 0,16	10YR 2/1	0,69	for, p, gr	30,42	69,58	16	9	sáprico
Hd2	0,16 - 0,43	10YR 2/1	0,75	for, p, gr	27,43	72,57	10	9	sáprico
Cg	0,43 - 0,81	10YR 5/1	0,82	maciça	15,45	84,55			
P2									
Hd1	0,00 - 0,20	10YR 2/1	0,46	for, p, gr	32,75	67,25	10	8	sáprico
Hd2	0,20 - 0,32	10YR 2/1	0,87	for, p, gr	31,39	68,61	12	9	sáprico
Hd3	0,32 - 0,50	10YR 2/1	0,86	for, p, gr	29,17	70,83	6	10	sáprico
Cg	0,50- 0,79	2,5Y 4/1	0,87	maciça	15,29	84,71			
P3									
Hd1	0,00 - 0,14	10YR 2/1	0,7	for, p, gr	32,21	67,79	12	9	sáprico
Hd2	0,14 - 0,44	10YR 2/1	0,86	for, p, gr	29,27	70,73	4	9	sáprico
Cg	0,44 - 0,63	2,5Y 4/1	0,86	maciça	14,83	85,17			
Área 2 – Cultivo convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)									
P4									
Hdp1	0,00 - 0,15	10YR 2/1	0,70	for, p, gr	23,13	76,87	8	8	sáprico
Hdp2	0,15 - 0,40	10YR 2/1	0,75	for, p, gr	22,47	77,53	4	9	sáprico
Cg	0,40 - 0,67	2,5Y 4/1	0,89	maciça	12,08	87,92			
P5									
Hdp1	0,00 - 0,13	10YR 2/1	0,6	mod, p, gr	22,31	77,69	6	8	sáprico
Hdp2	0,13 - 0,27	10YR 2/1	0,87	for, p, gr	21,32	78,68	4	9	sáprico
Hd	0,27 - 0,47	10YR 2/1	0,76	for, p, gr	21,13	78,87	8	9	sáprico
Cg	0,47 - 0,65	2,5Y 4/1	0,72	maciça	12,16	87,84			
P6									
Hdp1	0,00 - 0,12	10YR 2/1	0,84	mod, p, gr	21,47	78,53	8	8	sáprico
Hdp2	0,12 - 0,20	10YR 2/1	0,93	for, p, gr	20,58	79,42	4	10	sáprico
Hd	0,20 - 0,44	10YR 2/1	0,95	for, p, gr	19,39	80,61	6	9	
Cg	0,44 - 0,76	2,5Y 4/1	0,93	maciça	11,94	88,06			
Área 3 – Cultivo consorciado de coco (<i>Cocos nucifera</i>) com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)									
P7									
Hdp1	0,00 - 0,16	10YR 3/1	1,01	fra, mp, gr	21,28	78,72	20	8	sáprico
Hdp2	0,16 - 0,57	10YR 2/1	0,78	mod, p, gr	20,13	79,87	8	8	sáprico
Cg	0,57 - 0,75	10YR 5/1	0,81	maciça	10,76	89,24			
P8									
Hdp1	0,00 - 0,18	10YR 2/1	0,71	mod, p, gr	21,17	78,83	6	8	sáprico
Hdp2	0,18 - 0,47	10YR 2/1	0,8	for,p, gr	19,17	80,83	12	8	sáprico
Cg	0,47 - 0,73	2,5Y 4/1	0,94	maciça	10,02	89,98			
P9									
Hdp1	0,00 - 0,13	10YR 2/1	0,44	mod, p, gr	22,37	77,63	20	8	sáprico
Hdp2	0,13 - 0,38	10YR 2/1	0,68	for, p, gr	20,72	79,28	10	9	sáprico
Hd	0,38 - 0,60	10YR 2/1	0,57	for, p, gr	21,54	78,46	2	10	sáprico
Cg	0,60- 0,83	2,5Y 4/1	0,74	maciça	11,45	88,55			

(1) Hor: horizonte; (2) Ds: Densidade do solo; (3) Estrutura do solo (fra = fraca; mod = moderada; for = forte); Tamanho (mp = muito pequena; p = pequena); Tipo (gr = granular); (4) MO: Material orgânico; (5) MM: Material mineral; (6) RF: Fibras esfregadas; (7) Índice de von Post.

Tabela 3. Propriedades químicas dos perfis de Organossolos estudados.

Hor ⁽¹⁾	pH			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S ⁽²⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾	P
	H ₂ O	CaCl ₂	KCl										
Área 1 – Floresta tropical secundária (vegetação natural)													
P1													
Hd1	4,89	4,76	4,37	4,7	13,1	0,09	0,01	17,91	0,2	13,55	31,66	57	28
Hd2	4,55	4,43	4,00	5,2	7,0	0,03	0,01	12,25	1,0	12,15	25,40	48	21
Cg	3,30	3,41	3,29	1,7	2,5	0,01	0,01	4,22	9,4	1,25	14,87	28	3
P2													
Hd1	5,42	5,03	4,71	5,3	14,8	0,06	0,01	20,17	0,6	12,15	32,92	61	25
Hd2	4,98	4,83	4,41	4,4	12,9	0,03	0,01	17,35	0,4	18,75	36,50	48	21
Hd3	4,94	4,2	3,84	3,6	10,0	0,02	0,02	13,64	1,8	11,85	27,29	50	24
Cg	3,36	3,34	3,22	1,3	4,5	0,01	0,01	5,82	10,1	4,05	19,97	29	2
P3													
Hd1	4,74	4,77	4,42	5,5	12,6	0,04	0,01	18,15	0,4	19,75	38,30	47	30
Hd2	4,59	4,08	3,76	4,7	5,5	0,01	0,01	10,22	2,0	12,65	24,87	41	21
Cg	3,62	3,31	3,25	1,3	4,3	0,00	0,07	5,67	9,3	5,25	20,22	28	1
Área 2 – Cultivo convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)													
P4													
Hdp1	4,76	4,52	3,90	4,1	9,1	0,05	0,01	13,27	1,1	16,05	30,42	44	29
Hdp2	4,56	4,28	3,80	3,3	7,4	0,02	0,01	10,73	1,5	15,45	27,68	39	24
Cg	3,78	3,33	3,24	1,6	4,6	0,01	0,01	6,22	7,6	5,85	19,67	32	1
P5													
Hdp1	4,87	4,38	3,89	5,5	6,5	0,03	0,04	12,07	1,0	17,05	30,12	40	26
Hdp2	4,77	4,39	3,86	4,8	6,3	0,01	0,01	11,12	1,1	16,55	28,77	39	28
Hd	4,40	4,2	3,75	3,9	5,2	0,00	0,01	9,11	2,0	17,65	28,76	32	23
Cg	3,64	3,35	3,21	1,3	1,8	0,00	0,01	3,11	10,2	4,05	17,36	18	1
P6													
Hdp1	4,72	4,58	4,10	4,5	9,0	0,04	0,01	13,55	0,6	15,05	29,20	46	22
Hdp2	4,94	4,44	3,96	4,1	7,7	0,04	0,01	11,84	0,9	14,85	27,59	43	25
Hd	4,40	4,22	3,78	3,4	6,5	0,01	0,01	9,92	1,5	13,55	24,97	40	22
Cg	3,75	3,49	3,32	1,6	4,5	0,00	0,01	6,11	7,9	3,75	17,76	34	1
Área 3 – Cultivo consorciado de coco (<i>Cocos nucifera</i>) com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)													
P7													
Hdp1	3,67	4,42	4,11	3,3	11,9	0,05	0,01	15,26	0,5	19,15	34,91	44	8
Hdp2	3,89	3,54	3,59	0,8	2,1	0,09	0,04	3,02	4,9	12,25	20,17	15	3
Cg	3,39	3,09	3,20	0,4	0,4	0,04	0,02	0,05	0,4	18,05	18,10	0	1
P8													
Hdp1	4,14	3,88	3,74	2,1	8,3	0,18	0,02	10,60	2,3	16,75	29,65	36	7
Hdp2	3,80	3,41	3,62	0,7	2,8	0,02	0,01	3,53	5,2	14,15	22,88	15	4
Cg	3,55	3,15	3,29	1	1,3	0,01	0,01	2,32	10,7	2,35	15,37	15	0
P9													
Hdp1	5,12	3,99	3,82	3,5	6,7	0,18	0,01	10,39	1,4	16,05	27,84	37	8
Hdp2	3,67	3,70	3,74	2,4	2,8	0,11	0,04	5,35	3,1	17,05	25,50	21	1
Hd	3,43	3,21	3,50	0,7	1,5	0,03	0,02	2,25	7,6	25,55	35,40	6	1
Cg	3,26	3,12	3,31	0,4	0,4	0,03	0,02	0,05	0,4	18,45	18,50	0	2

(1) Hor: Horizonte; (2) S: soma de bases; (3) T: capacidade de troca catiônica; (4) V: saturação por bases.

Tabela 4. Condutividade elétrica, pH, Na, K e sulfato solúvel no extrato da pasta saturada do solo nos perfis de Organossolos estudados.

Hor ⁽¹⁾	Extrato saturado				Sulfato solúvel (SO ₄ ²⁻) (mg dm ⁻³)
	ECe ⁽²⁾ (dS m ⁻¹)	pH	Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	
Área 1 – Floresta tropical secundária (vegetação natural)					
P1					
Hd1	3	6,19	0,059	0,068	42,97
Hd2	2	6,09	0,052	0,027	39,23
Cg	5	4,83	0,122	0,028	104,17
P2					
Hd1	4	6,04	0,060	0,110	51,06
Hd2	3	6,10	0,055	0,022	39,85
Hd3	5	5,72	0,107	0,031	109,36
Cg	5	4,54	0,120	0,026	157,72
P3					
Hd1	4	5,38	0,081	0,059	45,25
Hd2	3	5,57	0,092	0,011	68,9
Cg	5	5,19	0,104	0,012	85,5
Área 2 – Cultivo convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)					
P4					
Hdp1	3	6,03	0,059	0,066	39,44
Hdp2	2	5,83	0,052	0,029	41,31
Cg	4	5,35	0,067	0,019	75,95
P5					
Hdp1	3	5,34	0,077	0,014	33,22
Hdp2	2	5,93	0,060	0,017	18,28
Hd	2	5,80	0,039	0,006	24,09
Cg	4	4,98	0,065	0,019	75,12
P6					
Hdp1	2	5,59	0,035	0,019	16,41
Hdp2	2	5,77	0,032	0,014	26,16
Hd	2	5,75	0,046	0,012	24,5
Cg	3	5,61	0,058	0,005	57,28
Área 3 – Cultivo consorciado de coco (<i>Cocus nucifera</i>) com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)					
P7					
Hdp1	5	5,41	0,141	0,083	87,16
Hdp2	5	5,18	0,110	0,007	56,87
Cg	6	4,17	0,113	0,055	135,73
P8					
Hdp1	4	5,00	0,046	0,077	35,71
Hdp2	5	4,75	0,055	0,023	59,4
Cg	6	5,25	0,059	0,018	110,19
P9					
Hdp1	4	5,30	0,096	0,134	57,07
Hdp2	4	5,39	0,075	0,041	63,3
Hd	6	4,15	0,127	0,047	134,9
Cg	7	4,15	0,096	0,017	138,63

(1) Hor: Horizonte; (2) ECe: condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo.

2.5.4. Carbono orgânico total e nitrogênio

Os valores de carbono orgânico total (COT) nos horizontes orgânicos foram maiores na Área 1 (COT = $162,65 \pm 11,18 \text{ g kg}^{-1}$), seguida pela Área 3 (COT = $112,04 \pm 5,88 \text{ g kg}^{-1}$) e Área 2 (COT = $108,92 \pm 3,49 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 5). Nos horizontes minerais (Cg) foram observados valores entre $56,76 \text{ g.kg}^{-1}$ e $77,71 \text{ g kg}^{-1}$, com maior valor médio superior na Área 1 ($77,16 \pm 1,31 \text{ g kg}^{-1}$). Foram observados valores de nitrogênio total (NT) entre $4,23 \text{ g kg}^{-1}$ e $7,43 \text{ g kg}^{-1}$, com média superior também na Área 1 ($6,36 \pm 0,64 \text{ g kg}^{-1}$). As áreas agrícolas apresentaram médias semelhantes, sendo $5,29 \pm 0,28 \text{ g.kg}^{-1}$ na Área 2 e $5,17 \pm 0,56 \text{ g kg}^{-1}$ na área 3. A relação C/N apresentou o mesmo padrão, com média superior na Área 1 (C:N = 20 ± 5), e valores semelhantes nas áreas de cultivo (C:N = 17 ± 4).

Tabela 5. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N dos perfis de Organossolos estudados.

Horizonte	COT	NT	C:N
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	
Área 1 – Floresta tropical secundária (vegetação natural)			
P1			
Hd1	165,47	7,18	25
Hd2	143,66	7,43	23
Cg	78,57	5,69	11
P2			
Hd1	184,02	7,15	26
Hd2	165,19	6,20	23
Hd3	153,12	6,34	24
Cg	77,71	5,11	11
P3			
Hd1	175,07	6,93	25
Hd2	152,03	6,30	24
Cg	75,19	5,29	10
Área 2 – Cultivo convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)			
P4			
Hdp1	109,54	5,42	20
Hdp2	104,05	5,34	19
Cg	61,81	5,73	8
P5			
Hdp1	112,51	5,48	21
Hdp2	115,92	5,56	21
Hd	108,12	5,46	20
Cg	66,23	4,73	9
P6			
Hdp1	108,34	5,38	20
Hdp2	111,67	5,47	20
Hd	101,18	5,31	19
Cg	65,27	4,30	9
Área 3 – Cultivo consorciado de coco (<i>Cocos nucifera</i>) com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)			
P7			
Hdp1	115,70	5,76	20
Hdp2	104,02	5,52	19
Cg	56,36	4,02	9
P8			
Hdp1	114,55	5,52	21
Hdp2	101,68	5,47	19
Cg	50,00	4,46	9

P9			
Hdp1	121,46	5,68	21
Hdp2	109,83	5,47	20
Hd	117,08	5,59	21
Cg	62,24	4,23	10

2.5.5. Estoque de carbono e nitrogênio

Os estoques de carbono orgânico (ECO) e nitrogênio (EN) foram expressivamente maiores na Área 1, com médias de $ECO = 217,99 \pm 58,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $EN = 10,81 \pm 3,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 3a). Nas áreas agrícolas os valores médios de ECO e EN na Área 2 foram $141,36 \pm 41,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $8,12 \pm 2,97 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, enquanto na Área 3 eles foram $161,52 \pm 59,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $9,02 \pm 2,94 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 3a).

Em todas as áreas, os estoques de carbono e nitrogênio estão mais relacionados com a espessura do horizonte do que com os valores de COT e NT (Figura 4). Comparando entre áreas, a correlação entre espessura dos horizontes e os estoques de carbono foi maior nas áreas 2 e 3, devido aos menores valores de COT observados nessas áreas. Na correlação entre o estoque de nitrogênio e espessura dos horizontes, os altos valores de R^2 observados em todas as áreas, indicam a relação direta entre a espessura dos horizontes e EN.

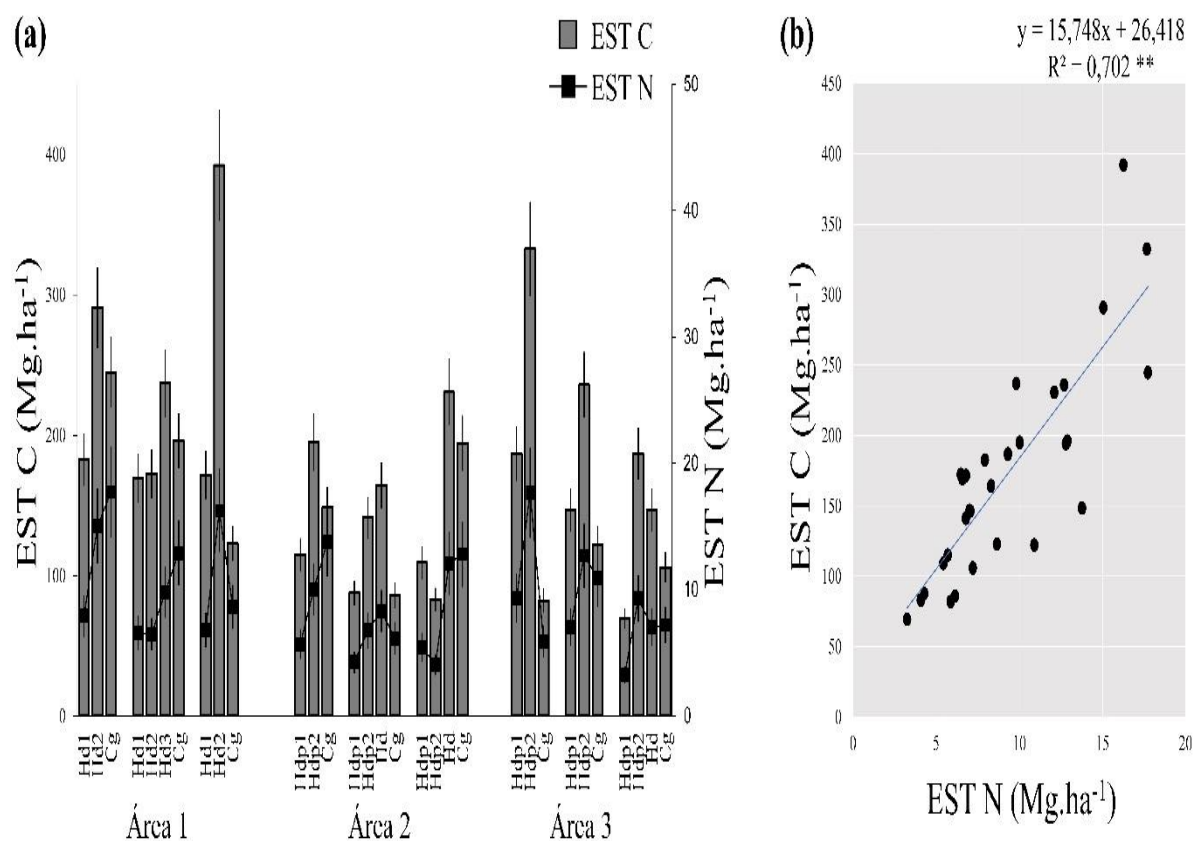


Figura 3. Estoque de carbono e nitrogênio nos perfis de Organossolos estudados.

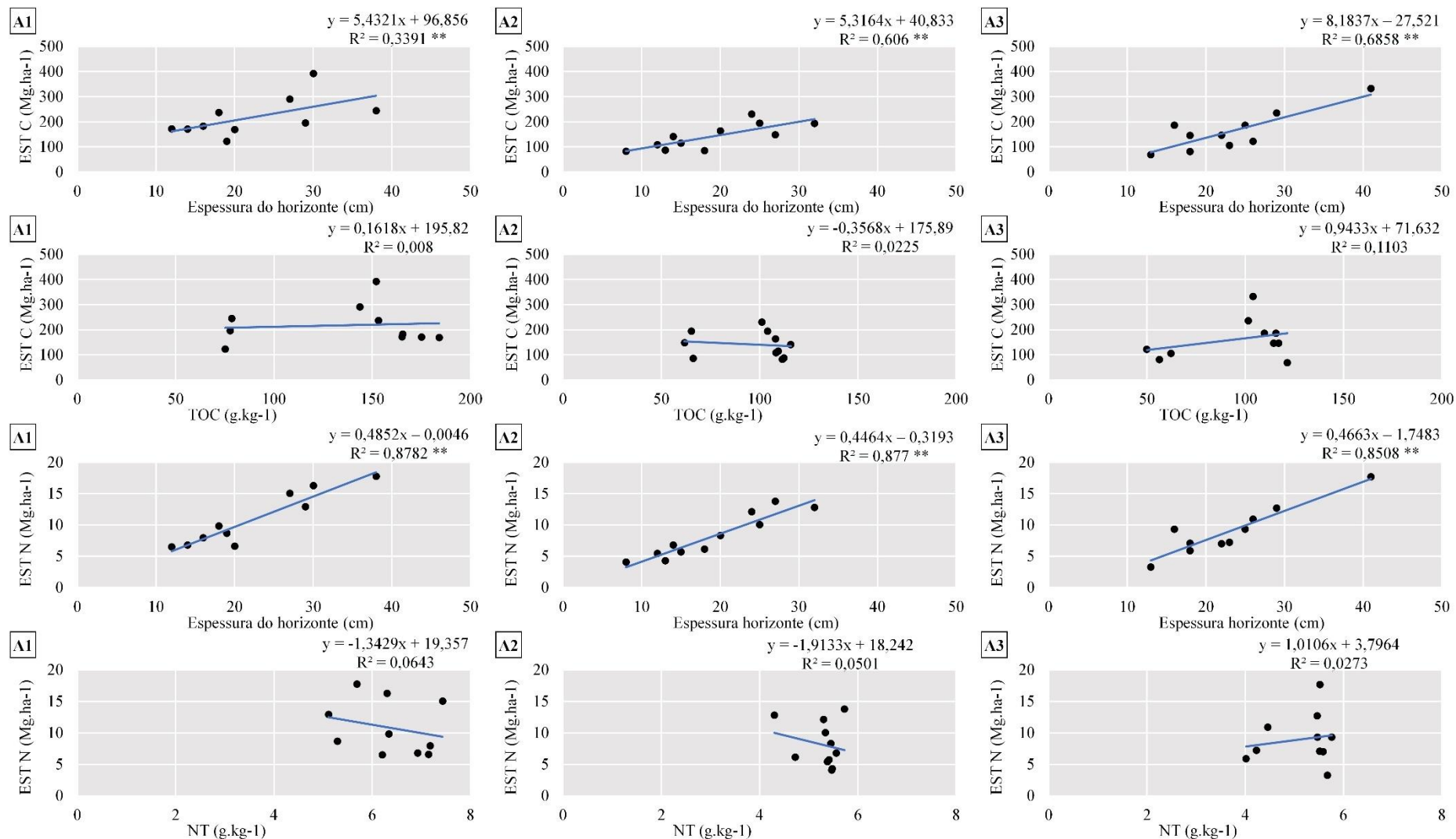


Figura 4. Relações entre estoque de carbono e nitrogênio (ECO e EN) e espessura de horizontes e conteúdo total de carbono e nitrogênio (COT e TN). A1 = área 1, A2 = área 2 e A3 = área 3.

2.5.6. Frações do carbono orgânico do solo

A fração do carbono orgânico mais acessível à ação microbiana é chamada de carbono orgânico lábil (COL) (BLAIR et al., 1995). Nesse estudo consideramos o carbono oxidável ao KMnO_4 como "carbono orgânico lábil", uma vez que a oxidação do carbono por KMnO_4 pode refletir a decomposição enzimática *in situ* da matéria orgânica lábil do solo (LOGINOW et al., 1987; WANG et al., 2017). Nos solos estudados os valores de COL estiveram entre $8,74 \text{ g kg}^{-1}$ e $76,59 \text{ g kg}^{-1}$, com médias de $62,17 \pm 8,44 \text{ g kg}^{-1}$ na Área 1, $39,32 \pm 2,86 \text{ g kg}^{-1}$ na área 2, e $38,26 \pm 6,29 \text{ g kg}^{-1}$ na área 3 (Figura 5).

Para a fração do carbono orgânico associado aos minerais (COaM), foram observados valores entre $11,38$ e $32,36 \text{ g kg}^{-1}$, com médias de $29,79 \pm 0,44 \text{ g kg}^{-1}$ na Área 1, $28,83 \pm 0,74 \text{ g kg}^{-1}$ na Área 2, e $29,63 \pm 1,12 \text{ g kg}^{-1}$ na área 3. Em todos os horizontes orgânicos dos perfis estudados os valores de COaM foram inferiores aos valores de COL. Nos horizontes minerais (Cg) observou-se padrão inverso, com maiores valores de COaM em todos os perfis. A fração COaM é um importante compartimento da matéria orgânica recalcitrante, principalmente em ambientes tropicais, devido às interações intermoleculares com a superfície de minerais de argila e óxidos de Fe e Al (BRUUN et al., 2010).

As razões entre as frações do carbono orgânico e o carbono orgânico total também apresentaram diferenças entre as áreas. Todos os perfis da Área 1 apresentaram médias superiores da relação COL/COT e menores da relação COaM/COT (Tabela 6). Entre as áreas de cultivo (2 e 3) não foram observadas diferenças significativas para nenhum das razões. Os valores de COL/COT e COaM/COT variaram entre os horizontes dos perfis, observando-se um padrão de decréscimo dos valores de ambas as razões em profundidade.

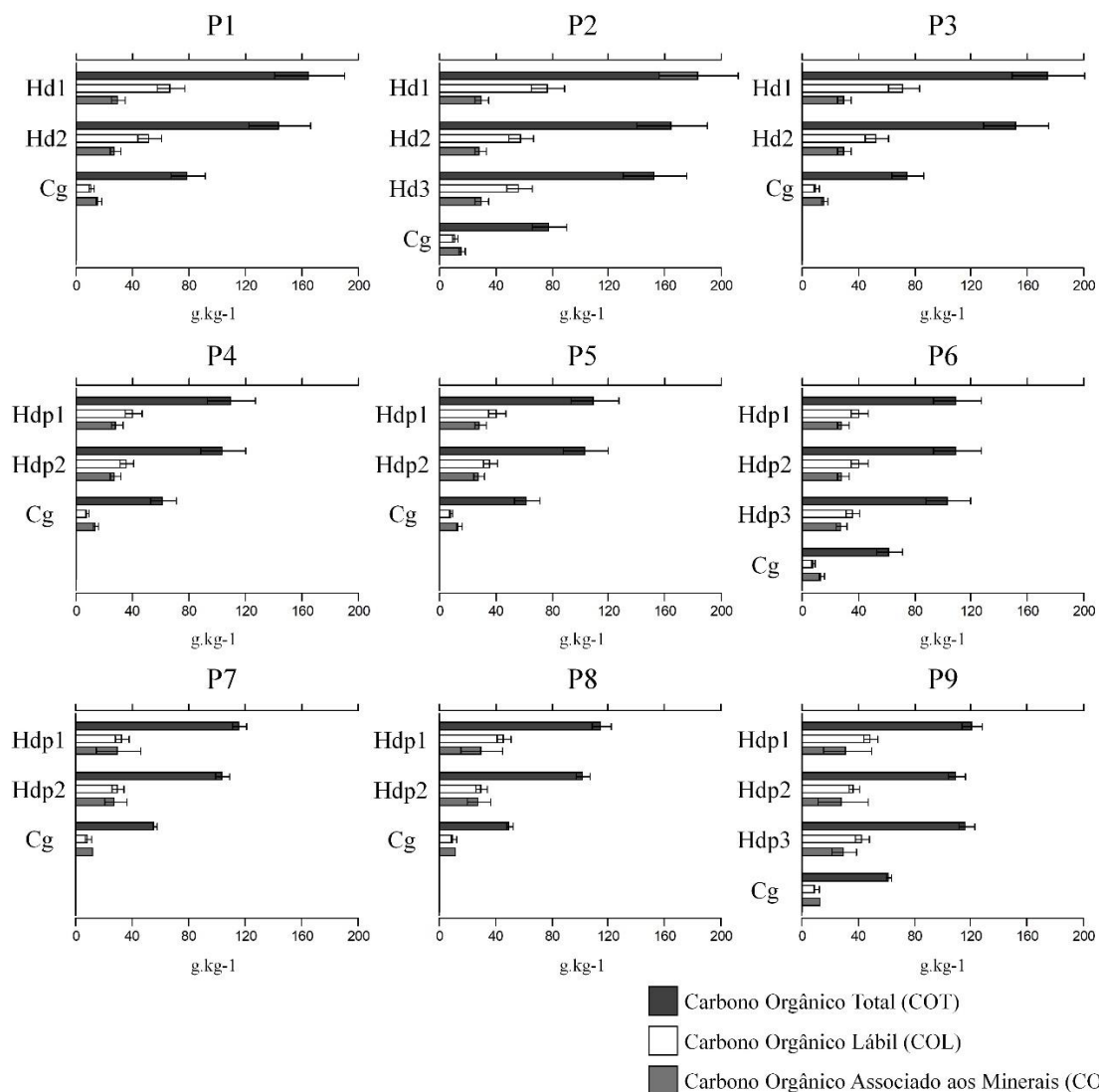


Figura 5. Carbono orgânico total e frações do carbono orgânico nos perfis de Organossolos estudados.

Tabela 6. Relações entre carbono orgânico lábil (COL) e carbono orgânico associado aos minerais (COaM) com carbono orgânico total (COT).

Perfil	COL/COT (%)	COaM/COT (%)
	Área 1 – Floresta tropical secundária (vegetação natural)	
P1	38,35±2,23	19,12±0,71
P2	39,44±1,69	18,78±1,62
P3	38,06±3,24	18,39±1,29
Área 2 – Cultivo convencional de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)		
P4	36,15±1,41	26,65±0,16
P5	35,65±1,51	26,19±0,15
P6	36,42±1,69	26,66±0,19
Área 3 – Cultivo consorciado de coco (<i>Cocos nucifera</i>) com mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)		
P7	28,89±0,41	26,84±0,44
P8	34,78±5,14	26,84±0,45
P9	36,81±2,12	26,20±0,42

*COL: Carbono orgânico lábil; (3) COaM: carbono orgânico associado aos minerais.

2.5.7. Análises multivariadas

Na análise de componentes principais (PCA), a PC1 explicou 47,17% da variância total, e a PC2 25,91%. Juntas, elas explicaram 73,08% da variância nos dados originais (Figura 6). Três grupos foram identificados na PCA e análise de agrupamento, que separaram os perfis estudados de acordo com os sistemas de uso do solo. Esses resultados indicam que o preparo convencional com revolvimento e drenagem artificial influenciam fortemente as propriedades dos Organossolos.

Os ECO e EN, COT e NT e parâmetros relacionados à fertilidade (valor S e V%) foram definidos por valores positivos na PC1, indicando o melhor estado de conservação do solo na Área 1, sob vegetação natural. O eixo negativo da PC1, é definido pelo sulfato solúvel (SO_4^{2-}), fibras esfregadas, Al^{+3} e sais solúveis no extrato da pasta saturada (Na^+ e K^+). Alguns desses parâmetros podem estar relacionados às alterações causadas pelo processo de subsidência, com o aumento da oxidação da matéria orgânica mais lábil, aumentando a porcentagem de fibras. Além disso, este processo pode ter desencadeado o processo de sulfurização, o que explica os valores observados de SO_4^{2-} . A PC2 é claramente definida pela matéria orgânica (OM) e frações do carbono orgânico (COL e COaM) no eixo positivo, e pelo material mineral (MM) e densidade do solo (Ds) no eixo negativo. Essa componente indica a diminuição do teor de matéria orgânica junto com o aumento da densidade do solo na Área 2, que também são sinais do processo de subsidência.

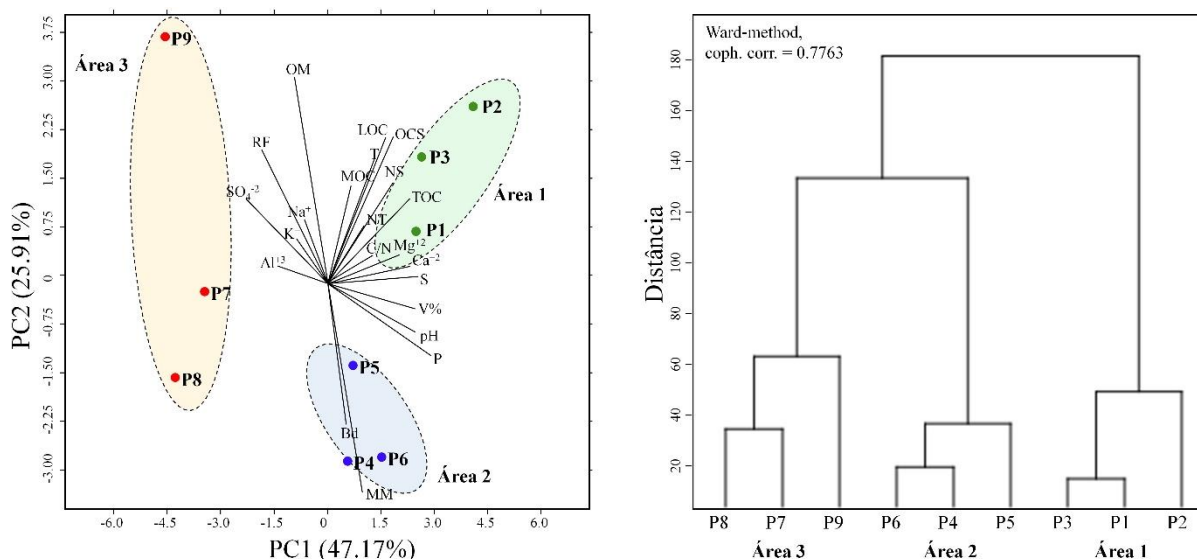


Figura 6. Análise de componentes principais e análise de agrupamento de cluster dos perfis de Organossolos estudados. P1 = perfil 1; P2 = perfil 2; P3 = perfil 3; P4 = perfil 4; P5 = perfil 5; P6 = perfil 6; P7 = perfil 7; P8 = perfil 8; P9 = perfil 9; MO = matéria orgânica (%); FE = fibras esfregadas; SO_4^{2-} = sulfato solúvel; Ds = densidade do solo; MM = material mineral; V% = saturação por bases; S = soma de bases; TN = nitrogênio total; EST N = estoque de nitrogênio; EST C = estoque de carbono orgânico; COT = carbono orgânico total; T = capacidade de troca catiônica; COM = carbono orgânico associado aos minerais; COL = carbono orgânico lábil;

2.6. DISCUSSÃO

Nossos resultados indicam que as propriedades dos Organossolos são fortemente modificadas pelo preparo do solo com revolvimento e drenagem. Nas áreas de estudo, as condições favorecem a acumulação de materiais sulfídricos: formas planas, solos alagados, falta de oxigênio, fornecimento de sulfato dissolvido pela água do mar e matéria orgânica abundante. A persistente condição de anaerobiose do solo resulta em precipitação de FeS. Este processo é uma etapa intermediária em diagênese de S e uma parte importante do ciclo biogeoquímico de S. O FeS é formado devido a abundância de SO_4^{2-} , alto grau (frequência e duração) de saturação do solo e altos teores de COT apoiando a respiração microbiana anaeróbia (RABENHORST et al., 2010; DUBALL et al., 2020). Com drenagem e revolvimento, os solos ficam expostos ao oxigênio, e sulfetos (geralmente sulfetos de ferro ou pirita mineral) são oxidados, formando jarosita e ácido sulfúrico, levando à acidificação. Em nosso estudo, este processo é demonstrado pelas altas correlações entre o conteúdo de SO_4^{2-} e valores de pH e ECe (Figura 7). Os baixos valores de pH do solo observado e os teores de sulfato solúvel (SO_4^{2-}) também indicaram potencial de tiomorfismo (VEGAS-VILARRÚBIA et al., 2008).

Nossos dados demonstram que o aumento da condutividade elétrica nos perfis estudados não está relacionado com a salinidade, mas sim, com o hidrogênio e ao sulfato em solução liberado pela oxidação da pirita com formação de ácido sulfúrico, conforme observado por Souza Júnior et al. (2001a, b). Isso se deve ao sistema de drenagem instalado na área 3 (Figura 8a) que alterou as condições naturais do solo e pode ter desencadeado o processo de sulfurização. Com a drenagem dos solos, a oxidação da pirita, leva ao desenvolvimento de mosqueados de cor bruno forte, provavelmente devido à formação da jarosita, que caracterizam o processo de sulfurização (Figura 8b). Assim, conforme observado por Souza Júnior et al. (2001b), em se tratando de solos tiomórficos, a condutividade elétrica elevada não pode ser usada, portanto, como único critério para identificação da salinidade.

Além dos problemas de acidificação, a drenagem de Organossolos também resulta no processo de subsidência, que envolve a perda de volume do solo pela oxidação de matéria orgânica (CIPRIANO-SILVA et al., 2014). Nos solos estudados esse processo é evidenciado pelos menores teores de COT e NT nas áreas agrícolas (Tabela 5). Na Área 2, os valores de COT e NT diminuíram em 33 e 20%, respectivamente, no horizonte hístico, e cerca de 17 e 8% no horizonte glei. Embora não tenha um sistema de drenagem como na área 3, o solo da Área 2 era constantemente revolvido, o que explica os teores mais baixos de C e N em relação à Área 1. A taxa de subsidência das turfeiras depende não apenas do tipo de turfa, densidade do solo e intensidade de drenagem, mas também do tipo de uso e práticas de manejo (GNATOWSKI et al., 2010). Com o revolvimento do solo, além da perda de matéria orgânica é possível que, quando a turfa seque, ela se torne hidrofóbica e, portanto, seja incapaz de retornar aos níveis iniciais de umidade, o que intensifica as perdas de C e N (HOLDEN et al. 2006; GRZYWNA, 2017).

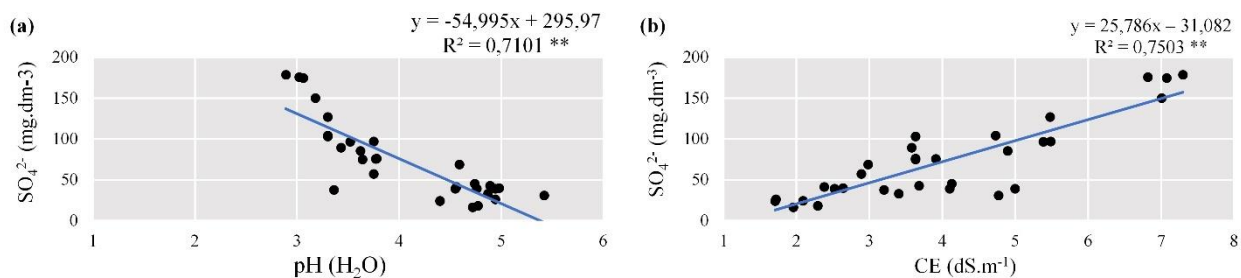


Figura 7. Relações entre sulfato solúvel (SO_4^{2-}), pH (H_2O) e condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo.

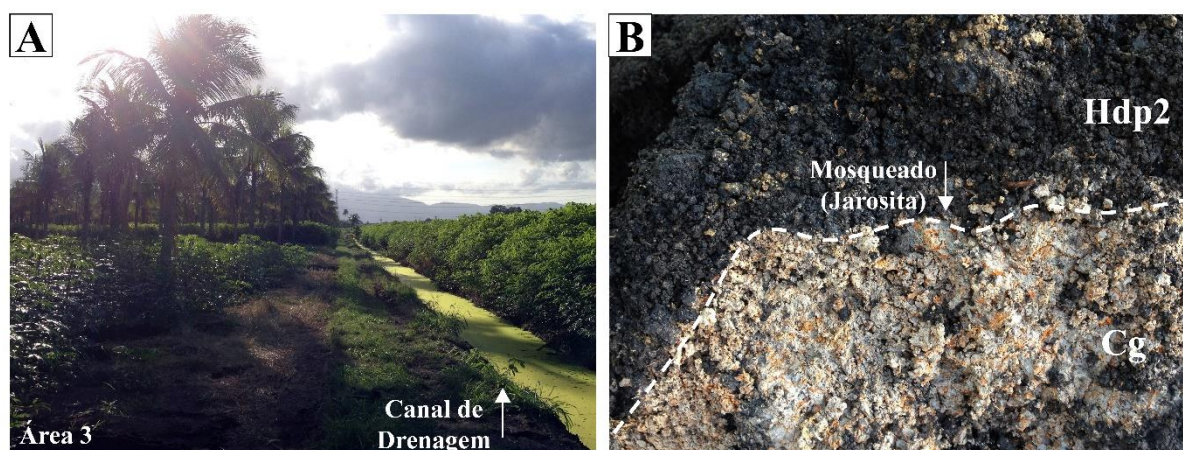


Figura 8. Canal de drenagem na Área 3 (A) e transição entre superfície (Hdp2) e subsuperfície (Cg).

Com relação aos estoques de C e N, nós verificamos que a espessura dos horizontes tem maior correlação com os valores de estoque do que os teores totais de carbono e nitrogênio nas áreas de cultivo (2 e 3) (Figura 4). Isso pode ser explicado pelas perdas de C e N por oxidação, em função da drenagem na Área 3 e do revolvimento do solo na área 2. Além disso nossos resultados indicam que a dinâmica do estoque de C está intimamente relacionada à do estoque de N, como demonstrado pela correlação entre as mudanças no estoque C e N (Fig. 3b). Isso demonstra que a dinâmica das interações C-N, são muito importantes na regulação do estoque de C a longo prazo, uma vez que N é necessário para suportar o acúmulo de C como resultado de relações estequiométricas na vegetação e no solo (HUNGATE et al., 2003; LUO et al., 2004; LI et al., 2012).

A drenagem e o cultivo de solos orgânicos aumentam a mineralização de COT e a emissão de CO_2 (LAL et al., 2004; COUWENBERG et al., 2010; WANG et al., 2017). Nesse estudo isso pode ser observado pela redução do carbono orgânico lábil nas áreas agrícolas (Figura 5) e menores valores da relação COL/COT (Tabela 3). Esses resultados sugerem que a redução dos teores de COT está relacionada à perda de COL. O carbono orgânico lábil do solo é a fração mais ativa do COT com uma taxa de *turnover* rápida e pode ser degradada por microrganismos, sendo, portanto, mais sensível aos impactos ambientais, principalmente no solo superficial (ZOU et al., 2005; ZHANG et al., 2006). Esse estudo mostrou que os conteúdos de COT e COL nos horizontes orgânicos mais profundos também podem ser afetados pelo cultivo. Resultados similares foram observados por Wang et al. (2017) avaliando o impacto da mudança do uso da terra nos padrões de distribuição do carbono orgânico em turfas e solos minerais no nordeste da China.

A baixa relação C/N nas áreas 2 e 3 também refletem um processo de decomposição mais intenso. A relação C/N pode refletir a qualidade da matéria orgânica e os processos de

transformação microbiana. Altos valores da razão C/N são associados a uma lenta transformação e ciclagem de matéria orgânica, enquanto uma baixa relação C/N implica em alto grau de decomposição da matéria orgânica (RUMPEL et al., 2006; KINDLER et al., 2011; WANG et al., 2017). Portanto, as menores relações C/N observadas nas áreas agrícolas (2 e 3) em relação à Área 1 sugerem uma alta taxa de decomposição da matéria orgânica nas áreas cultivadas, resultando em perdas de COL e, conseqüentemente, menor teor de COT.

Com relação à fração do carbono orgânico associado aos minerais (COaM) não foram observadas mudanças expressivas entre os perfis estudados. Na área 1, os valores da relação COaM/COT foram menores comparados aos das áreas de cultivo. Esses resultados sugerem que as perdas de C nas áreas cultivadas envolveram apenas a fração mais lábil do C (COL). A COaM representa o carbono orgânico que obtém estabilidade pela sorção física aos minerais e, posteriormente, ligação química com a superfície, sendo um importante mecanismo de estabilização da matéria orgânica (KAISER et al., 2007; WANG et al., 2014).

A análise multivariada dos dados, considerando propriedades físicas e químicas dos solos analisados, mostrou uma clara distinção entre os perfis (Figura 6), agrupando-os de acordo com as áreas estudadas. Essa separação é um indicador dos efeitos das práticas de cultivo nos Organossolos. Por exemplo, o revolvimento do solo na Área 2 que promove um aumento dos teores de material mineral (MM) pela perda de matéria orgânica por mineralização/oxidação, aumentando a densidade do solo (Ds). Na área 3, a drenagem dos solos com elevados teores de SO_4^{-2} promove o desenvolvimento do processo de sulfurização, que ocorre quando materiais que contêm sulfetos (ex. pirita: FeS) são expostos a condições oxidantes (FANNING, 2017). Na Área 1, onde o solo foi mantido com vegetação natural, os perfis apresentam maiores teores totais e estoques de C e N, maior teor de carbono na fração COL, e maior fertilidade (S e V%). Assim, os resultados da análise PCA confirmaram os resultados da análise anterior.

Embora a maioria dos estudos sobre perdas de C em solos orgânicos tenham se concentrado em solos não-agrícolas, Organossolos cultivados intensivamente também podem apresentar grandes perdas de C e N através das emissões de gases de efeito estufa (ex. CH_4 , N_2O) (TAFT et al., 2017). No caso da ocorrência de solos orgânicos com caráter tiomórfico, o melhor gerenciamento da terra deve envolver uma série de atividades que abordam tanto as questões de minimizar a criação de nova acidez a partir da oxidação de minerais de sulfeto quanto o gerenciamento da acidez existente na paisagem (MELVILLE et al., 2017). Práticas de manejo inadequadas nesses solos podem causar mudanças irreversíveis. Nesse estudo, demonstramos que práticas de manejo inadequadas nesses solos podem contribuir para a emissão de gases de efeito estufa, gerando uma rápida perda de reservas de carbono que foram acumuladas ao longo de muitos milhares de anos (KLØVE et al., 2017). No entanto, apesar dessa elevada fragilidade, em muitas regiões, os Organossolos oferecem condições para a fonte de renda de muitos agricultores urbanos. Esses agricultores precisam de informações, ferramentas e treinamento para encontrar a melhor opção para o uso desses solos.

2.7. CONCLUSÕES

Práticas de cultivo que envolvam a drenagem e o revolvimento do solo afetam negativamente as propriedades dos Organossolos. A implementação de tais práticas no manejo do solo ao longo de duas décadas resultou em redução dos estoques de carbono e nitrogênio, principalmente nos horizontes hísticos, mas também nos horizontes glei. As perdas de C são relacionadas com a redução do carbono orgânico lábil, que foi mais sensível às mudanças ambientais, mesmo em maiores profundidades.

O revolvimento do solo diminui o teor de matéria orgânica devido à oxidação acelerada da matéria orgânica, aumentando a densidade do solo. A drenagem, além da perda de matéria orgânica por subsidência, promove o desenvolvimento do processo de sulfurização nos solos com elevados teores de SO_4^{-2} , devido à oxidação de materiais do solo que contêm sulfetos.

3. CAPÍTULO II

MUDANÇAS NAS RESERVAS DE FÓSFORO NO SOLO INDUZIDAS PELA DRENAGEM EM ORGANOSSOLOS

3.1. RESUMO

Extensas áreas de Organossolos são drenadas em todo o mundo para a produção de alimentos, alterando o ambiente natural anaeróbico e a dinâmica dos nutrientes no solo. Este estudo foi realizado em áreas de Organossolos submetidas a drenagem por 20 (20 Y) e 80 (80 Y) anos e uma área de vegetação natural de referência (Floresta) para compreender os efeitos da drenagem por longo período na dinâmica de adsorção e no acúmulo das frações orgânicas e inorgânicas de fósforo (P) no solo, através de fracionamento sequencial. Os resultados mostram que a drenagem alterou predominantemente as frações inorgânicas de P, tendo pouca influência nas frações orgânicas do nutriente. No curto prazo (20 Y), a drenagem reduziu o teor de P total do solo em subsuperfície em 35,6 e 37,9 % quando comparado com 80 Y e Floresta, respectivamente, como resultado da redução de todas as frações inorgânicas de P. Em todas as áreas, independente da posição no perfil, observamos o predomínio da fração P residual altamente recalcitrante ($> 70\%$) no teor de P total do solo. O processo de adsorção controlou a disponibilidade do P em Organossolos submetidos à drenagem, reduzindo a disponibilidade de P somente no curto prazo (20 Y). No longo prazo (80 Y), a adsorção foi reduzida, provalmente, devido ao bloqueio dos sítios de adsorção, mantendo a disponibilidade de P elevada. Os resultados fornecem evidências de que o processo de adsorção exerce influência sobre a dinâmica do P em Organossolos tropicais submetidos a drenagem por longos períodos.

Palavras chave: P orgânico. P inorgânico. P residual. Adsorção. Frações de P.

3.2. ABSTRACT

Extensive areas of Histosols are drained around the world for food production, changing the natural anaerobic environment and the dynamics of nutrients in the soil. This study was carried out in areas of Histosols submitted to drainage for 20 (20 Y) and 80 (80 Y) years and an area of natural reference vegetation (Forest) to understand the effects of drainage over a long period in the adsorption dynamics and not accumulation of organic and inorganic phosphorus (P) fractions in the soil, through sequential fractionation. The results show that the drainage predominantly altered the inorganic fractions of P, having little influence on the organic fractions of the nutrient. In the short term (20 Y), drainage reduced the total P content of the subsurface soil by 35.6 and 37.9% when compared to 80 Y and Forest, respectively, as a result of the reduction of all inorganic P fractions. In all areas, regardless of the position in the profile, we observed the predominance of the highly recalcitrant residual P fraction (> 70%) in the total soil P content. The adsorption process controlled the availability of P in drainage-related Histosols, with the availability of P available only in the short term (20 Y). In the long term (80 Y), the adsorption was reduced, probably due to the blocking of the adsorption sites, keeping the availability of P high. The results provide evidence that the adsorption process influences the P dynamics in tropical Histosols from a drainage for long periods.

Key words: Organic P. Inorganic P. Residual P. Adsorption. P fractions.

3.3. INTRODUÇÃO

Com exceção dos Organossolos Fólicos, os Organossolos são formados em ambientes alagados ou com drenagem restrita, onde a reduzida disponibilidade de oxigênio (O^2) diminui a atividade decompositora dos microrganismos heterotróficos do solo, formando solos com elevado conteúdo de matéria orgânica (JOOSTEN et al., 2012). Globalmente, as *peatlands*, áreas em que pode ser verificada a presença de Organossolos, ocupam uma área estimada de 4,23 milhões de km^2 , o que representa 2,84 % da superfície terrestre (XU et al., 2018). Esse ecossistema tem um potencial de sequestrar 0,37 Gt de CO_2 por ano (IUCN, 2017) e representa aproximadamente 30 % do conteúdo total de carbono (C) armazenado nos solos do planeta (LIMPENS et al., 2008), o que o torna um importante reservatório global de C.

Extensas áreas de Organossolos têm sido usadas para a agricultura em todas as partes do mundo. Em geral, devido a presença do lençol freático próximo a superfície, a drenagem do excesso de água é uma prática comum, visando reduzir os impactos da reduzida aeração no desenvolvimento das culturas (JOOSTEN et al., 2012). A drenagem modifica o ambiente naturalmente anaeróbico, possibilitando a atuação de organismos aeróbios que passam a degradar, via metabolismo heterotrófico, as frações mais lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) (ARSENAULT et al., 2018; LEIFELD et al., 2020). Esse processo resulta na redução do conteúdo de C e diminuição do volume de solo, num processo denominado de subsidência, contribuindo para emissões significativas de CO_2 para a atmosfera (HOYT et al., 2020; SAURICH et al., 2019). Estimativas globais indicam emissões acumuladas em áreas de Organossolos submetidas a drenagem de 80 ± 20 Pg CO_2 no ano de 2015, com expectativa de aumento para valores da ordem de 249 ± 38 Pg CO_2 até o ano de 2100 (LEIFELD et al., 2019).

Devido aos processos envolvidos na formação dos Organossolos (acúmulo de material orgânico, de origem vegetal ou animal), *peatlands* apresentam naturalmente baixos teores de fósforo (P) prontamente disponível (ARSENAULT et al., 2018; WANG et al., 2015). No entanto, estudos tem demonstrado o predomínio (> 80 % do teor de P total do solo) de frações orgânicas altamente recalcitrantes (P orgânico NaOH e P residual), nestes ambientes (SCHMIEDER et al., 2020; WANG et al., 2012). A baixa disponibilidade natural de P confere aos solos localizados nesse ambiente uma alta demanda microbiana por esse nutriente (PARVIN et al., 2018). Isso indica que, intervenções antrópicas que aumentem a disponibilidade de P prontamente disponível, alterando as relações estequiométricas entre o C, N e P (ARSENAULT et al., 2018), podem intensificar a atividade biológica e acelerar a decomposição da MOS, resultando em maior emissão de GEE para a atmosfera (BROUNS et al., 2016; MORRISON et al., 2016; PARVIN et al., 2018).

Estudos indicam que, normalmente, ocorre o aumento da disponibilidade de P após a drenagem em *peatlands* (MUNIR et al., 2017; WANG e MOORE, 2014; WANG et al., 2018), devido a intensificação do processo de mineralização e liberação das frações do nutriente associado a MOS (SAURICH et al., 2019). Em contrapartida, a condição de oxidação criada após a drenagem, permite que frações inorgânicas de P sejam imobilizadas pelo Fe^{3+} hidrolisado, reduzindo sua disponibilidade e mobilidade no solo (HERNDON et al., 2019; KOIJMAN et al., 2020; ZAK et al., 2010). Em longo prazo, em solos minerais, a adsorção de P pode ser reduzida, através do bloqueio dos sítios de adsorção, aumentando a disponibilidade desse nutriente aos organismos (OLIVEIRA FILHO et al., 2020). Em áreas de *peatlands* submetidas a drenagem por longo período, no entanto, que estão na interface entre solos de constituição orgânica e mineral, a dinâmica de adsorção e da disponibilidade de P são desconhecidas e necessitam ser melhor estudadas, tendo em vista que o P possui forte

influência no controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) nesse ecossistema, notadamente o N₂O, uma vez que elevados teores de P disponível aceleram a nitrificação, aumentando a produção de N₂O (LIIMATAINEN et al., 2018).

Fica claro que o predomínio do P em áreas de Organossolos e *peatlands* em suas frações orgânicas mais recalcitrantes é preferível do que em formas inorgânicas com maior labilidade, seja pelo efeito estabilizador na MOS (WANG et al., 2019) mantendo C e nitrogênio (N) armazenados no perfil do solo e evitando as suas emissões como GEE, seja pelo menor potencial de perda das frações de P inorgânicas nas águas de drenagem, com grande potencial de contaminação das águas adjacentes (BEEK et al., 2004). Globalmente, estudos envolvendo a dinâmica do P em *peatlands* submetidas a drenagem por longos períodos são escassos. Sob condições tropicais, onde a maior temperatura pode intensificar a atividade biológica e os processos envolvidos na transformação da MOS em *peatlands*, esses estudos são inexistentes.

Neste estudo foram utilizadas áreas de Organossolos submetidas a drenagem artificial por 20 e 80 anos, mantidas sob cultivo contínuo de *Manihot esculenta* (80 Y) e *Manihot esculenta* intercalada com *Cocos nucifera* (20 Y) e uma área de vegetação natural (referência), sem intervenção antrópica por 20 anos, para estimar os efeitos da drenagem na dinâmica e acúmulo das frações orgânicas e inorgânicas de P e no potencial de adsorção de P pelo solo. A hipótese do estudo é que a redução da fração orgânica de P deve ocorrer em áreas de Organossolos submetidas a drenagem, principalmente na condição de drenagem por longo período (80 anos). No entanto, isso não deve refletir no aumento da disponibilidade do nutriente aos organismos (aumento dos teores de P inorgânico lábil) devido ao maior efeito da adsorção nos solos drenados expostos as condições de oxidação.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1. Caracterização da área de estudo e estratégias de coleta das amostras

O estudo foi realizado na região sudeste do Brasil, no município do Rio de Janeiro, coordenadas 22°53'25.26''S e 43°42'40.32''O (Figura 9). Os solos estudados são formados por sedimentos argiloarenosos com elevado conteúdo de matéria orgânica, normalmente com altos teores de sais e enxofre, fornecidos pelo mar e com elevado risco de acidificação quando drenados (DANTAS et al., 2001). O clima na região foi classificado como Aw, segundo Köppen, com inverno seco e verão chuvoso. Os solos na área de estudo foram classificados como Organossolos Tiomórficos (SANTOS et al., 2018) que há mais de 80 anos são cultivados de forma convencional, com drenagem do excesso de água, para a produção de hortaliças.

No ano de 1939, foi iniciado o processo de produção agrícola na área, abrindo-se drenos de forma retangular, com profundidade de 0,7 m e largura de 1 m. Na área foi implantado o cultivo contínuo de *Manihot esculenta* (*Euphorbiaceae*). O plantio foi precedido de uma aração até a profundidade de 20 cm e as manivas plantadas em canteiros de 30 cm de altura. O espaçamento entre linhas e entre plantas foi de 1,0 m e 0,6 m, respectivamente. No ano de 1999, em uma outra área na propriedade agrícola, foi realizado o plantio de *Manihot esculenta* intercalada com *Cocos nucifera* e submetida ao mesmo sistema de drenagem da área adjacente. Os coqueiros foram plantados em espaçamento de 5 m x 5 m, sendo intercalados pelo cultivo de mandioca, em um espaçamento de 1,0 m x 0,6 m (linha x planta). Em nenhuma das duas áreas foi aplicado fertilizantes minerais ou orgânicos.

Em abril do ano 2019, foi realizada a coleta de amostras de solo na área sob cultivo de *Manihot esculenta* e na área sob cultivo de *Manihot esculenta* intercalada com *Cocos nucifera*. No momento da coleta, as duas áreas apresentavam, portanto, 80 (80 Y) e 20 (20 Y) anos de drenagem, respectivamente. Foi utilizada uma área de vegetação natural, em regeneração há 20 anos, (Floresta) adjacente as áreas de cultivo, com a mesma classificação de solo e sem nenhuma intervenção antrópica, para como referência e indicando a condição natural do ecossistema. A vegetação predominante na área de referência era composta por espécies das famílias *Myrtaceae*, *Lauraceae*, *Rubiaceae* e *Fabaceae*. Em cada área de estudo (80 Y, 20 Y e Floresta), foram selecionados três pontos amostrais aleatórios (repetições), distantes 50 m um do outro nas áreas 80 Y e 20 Y e pelo menos 10 m na área de referência (Figura 10). Foram coletadas amostras com estrutura preservada para a determinação da densidade do solo e deformada (para análises químicas) nos horizontes superficiais (Hdp1 e Hd1) e subsuperficiais (Hdp2 e Hd2) nas três áreas.

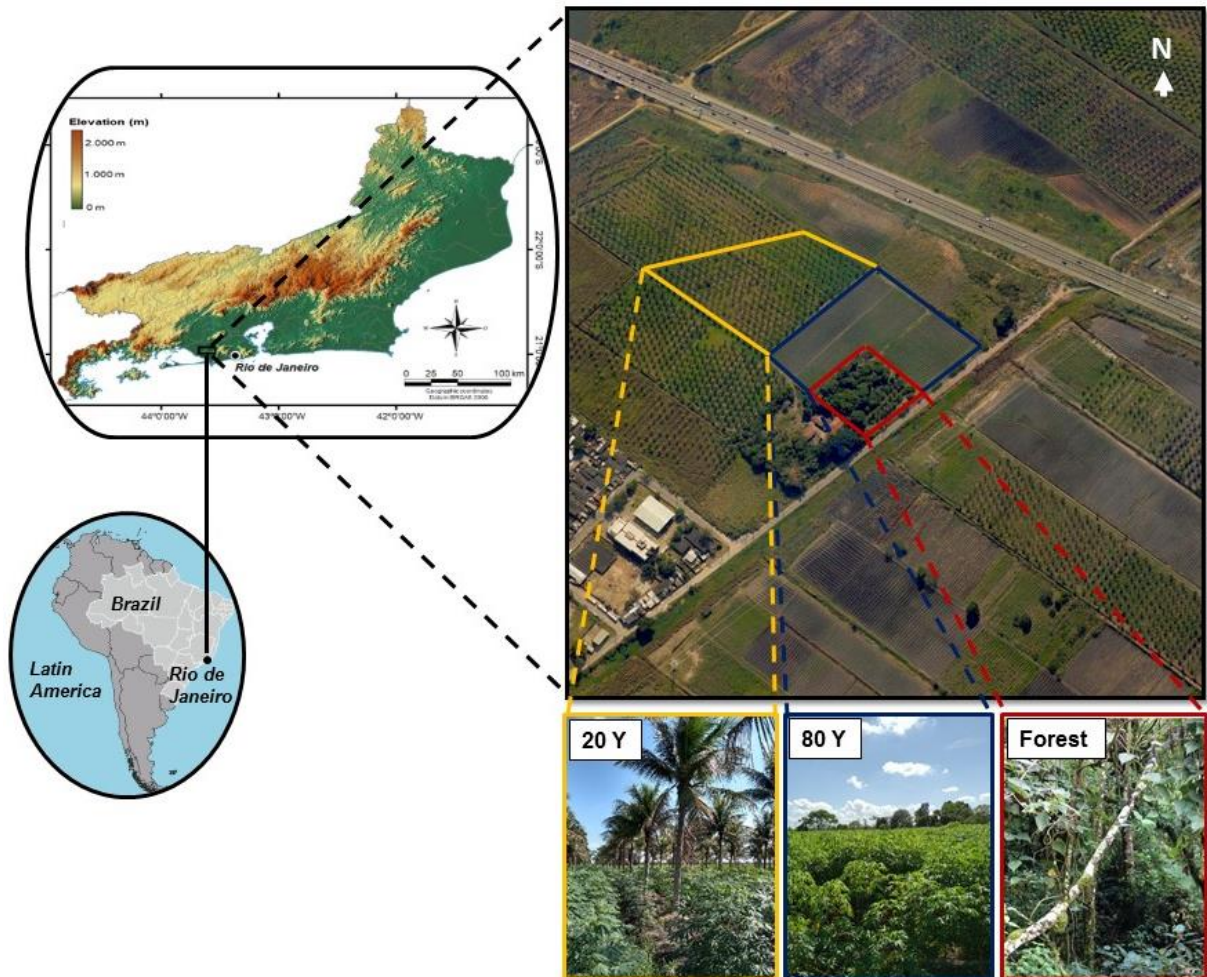


Figura 9. Localização das áreas de estudo na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

As amostras com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de um anel de metal, com volume de 50 cm^3 . As amostras sem estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de uma pá manual, acondicionadas em sacos plásticos identificados e armazenadas. Posteriormente, as amostras sem estrutura preservada foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), nas quais foram realizadas as análises químicas. Os resultados da análise de fertilidade do solo após 20 e 80 anos de drenagem e na área de referência indicaram valores de pH em água (20 Y = 3,43 a 5,12; 80 Y = 4,40 a 4,94 e Floresta = 4,55 a 5,42), saturação por bases (20 Y = 6 a 44 %; 80 Y = 18 a 46 % e Floresta = 28 a 61 %), carbono orgânico total (20 Y = 101,68 a 121,46 g kg^{-1} ; 80 Y = 101,18 a 115,92 g kg^{-1} e Floresta = 143,66 a 184,02 g kg^{-1}) e nitrogênio total (20 Y = 5,47 a 5,76 g kg^{-1} ; 80 Y = 5,31 a 5,56 g kg^{-1} e Floresta = 6,20 a 7,43 g kg^{-1}).

Foram utilizados os dados de densidade do solo (Ds) (Capítulo I) para a determinação dos estoques de P. Os valores de Ds variaram de 0,44 a 1,01 Mg m^{-3} para a área 20Y, de 0,60 a 0,95 Mg m^{-3} para a área 80 Y e de 0,46 a 0,87 Mg m^{-3} para a referência (Floresta). A altura do lençol freático variou de 0,65 a 0,81 m em 20 Y, 0,61 a 0,80 m em 80 Y e 0,60 a 0,62 na área de floresta, indicando alturas do lençol freático relativamente semelhantes entre as áreas drenadas e o predomínio da lâmina de água mais próximo a superfície na área de referência (Figura 10).

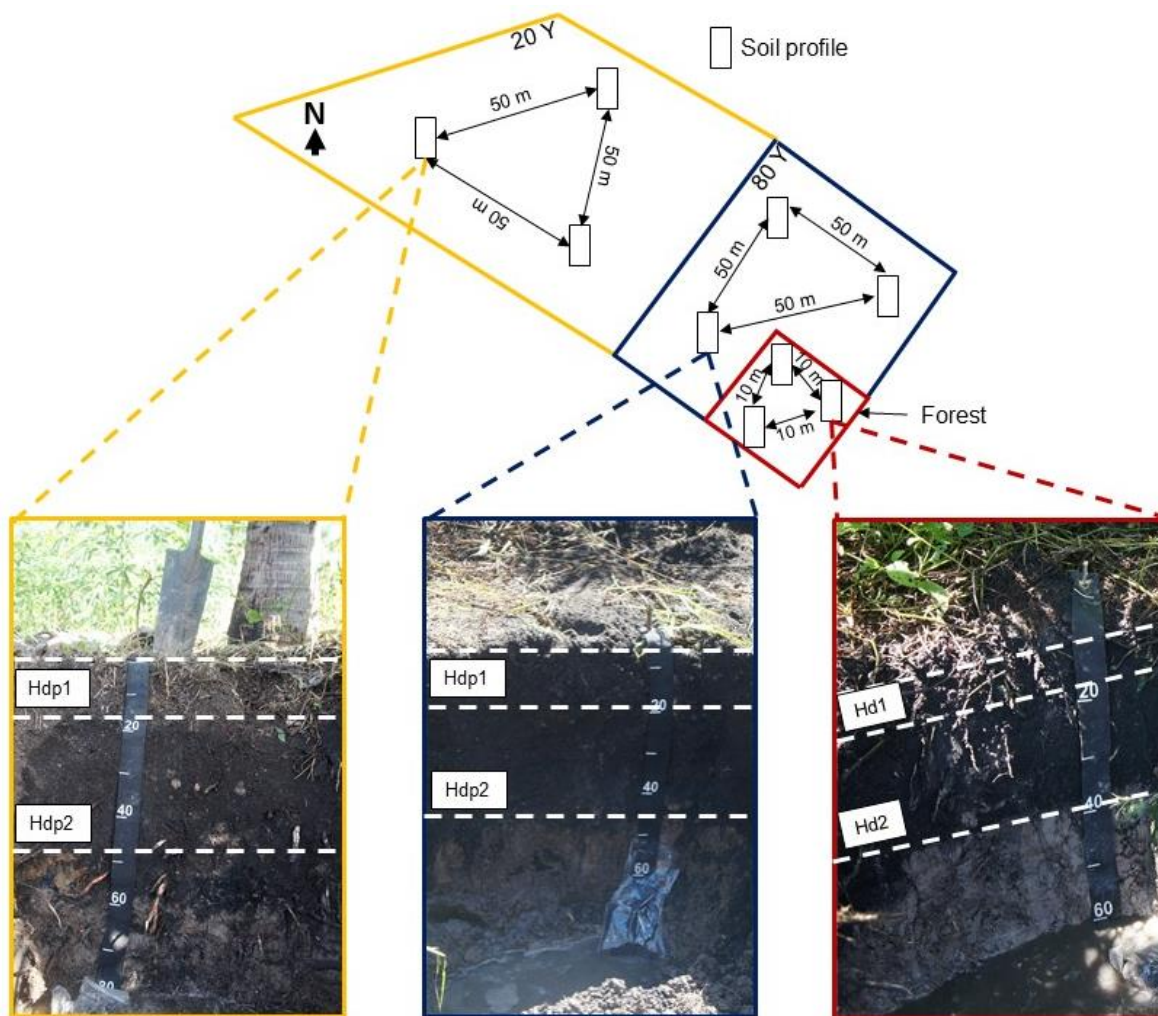


Figura 10. Estratégias de coleta das amostras e perfis representativos de cada área estudada.

3.4.2. Fracionamento do P

Para determinar as frações orgânicas e inorgânicas de P no solo foram utilizados os métodos propostos por Bowman (1989) (frações orgânicas e inorgânicas totais de P) e Bowman e Cole (1978) (fração orgânica e inorgânica lábil de P) através de uma extração sequencial em 1 g de solo, utilizando NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (lábil), H_2SO_4 (moderadamente lábil) e NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (recalcitrante) como extratores. Para cada extrator, a amostra foi digerida com ácido perclórico e cloreto de magnésio para a obtenção do P total do extrato. A fração inorgânica de cada extrato foi obtida por colorimetria (MURPHY & HILEY 1962). A fração orgânica de cada extrato foi obtida pela diferença entre o valor de P total e inorgânico de cada extrator. Após a extração sequencial, foi quantificado os valores de P residual (altamente recalcitrante) através de digestão utilizando ácido perclórico e cloreto de magnésio e determinação do teor de P na fração residual por colorimetria (MURPHY & HILEY 1962). O teor total de P no solo (P total) foi obtido pelo somatório do teor de P total de cada extrator, somado ao teor de P residual obtido.

3.4.3. Adsorção de P

Foi utilizado o método do P remanescente proposto por Alvarez e Fonseca (1990), onde 5 cm^3 de TFSA foram submetidos a agitação em 50 mL de solução de CaCl_2 10 mmol L^{-1}

¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P. Após 1 hora de homogeneização realizamos a filtragem da solução, sendo na sequência determinado o teor de P remanescente por colorimetria. Logo, a medida do P remanescente representa o P livre em solução, sendo inversamente proporcional a adsorção de P pelo solo (OLIVEIRA FILHO et al., 2020).

3.4.4. Determinação dos estoques de P no solo

Os estoques de P foram determinados para todas as frações e para o P total. Para tanto, foram utilizados os teores de P, a espessura dos horizontes (Capítulo I) e a DS para determinar o teor de P acumulado (kg P ha⁻¹) na camada compreendida pelos horizontes hísticos do solo, responsáveis pelo maior armazenamento de C e P. Foi utilizada a equação 1 para a determinação dos estoques.

$$\text{Estoque} = (A \times E \times Ds)/10$$

Em que:

Estoque = estoque de cada fração de P e/ou P total do solo (kg ha⁻¹);

A = conteúdo de P de cada fração e/ou P total do solo (mg kg⁻¹);

E = espessura do horizonte (cm);

Ds = densidade do solo (Mg m³);

Massa equivalente

3.4.5. Análise estatística

Os resultados foram apresentados como valores médios (três repetições por área) em cada profundidade de amostragem (superfície e subsuperfície). Foi utilizado o teste t ($p < 0,05$) e as barras de erro padrão para a comparação entre as áreas dentro de uma mesma profundidade de amostragem (CUMMING et al., 2007). A análise dos dados foi realizada usando o software R (R CORE TEAM, 2019).

3.5. RESULTADOS

Os efeitos dos tempos de drenagem no teor de P total do solo estão apresentados na Figura 11. Foram observados valores de P total que variaram de $289,19 \pm 9,96$ a $466,36 \pm 45,52 \text{ mg kg}^{-1}$, considerando todas as condições estudadas. Nos horizontes superficiais, não se observou nenhum efeito dos tempos de drenagem no teor de P total do solo quando comparado com a área de referência. No entanto, em subsuperfície, foi evidente o efeito dos 20 anos de drenagem na redução do teor de P total, quando comparado a área drenada por 80 anos ($p=0,018$) e a referência ($p=0,015$), indicando um efeito mais significativo da drenagem nas camadas mais profundas dos perfis. Em subsuperfície, foram observadas reduções de 35,6 e 37,9 % no teor de P total no solo submetido a 20 anos de drenagem, quando comparado com a drenagem por 80 anos e a referência, respectivamente.

Os resultados indicaram uma reduzida variação do teor de P na área com um tempo mais prolongado de drenagem (80 anos), assemelhando-se ao ambiente preservado (Floresta) nas duas profundidades de amostragem ($p=0,800$ e $p=0,805$). Em contrapartida, a redução significativa dos teores de P total na área submetida a drenagem por 20 anos deveu-se, principalmente, ao reduzido teor da fração inorgânica de P observada nessa área (Figura 12A). Nesse sistema, o teor de P inorgânico representou apenas 1,68 (superfície) e 1,67 % (subsuperfície) do teor total de P no solo, com maior participação da fração orgânica (13,5 % em superfície e 8,57 % em subsuperfície) (Figura 12B). Isso significa que em 20 Y, ocorreu o predomínio (> 80 %) da fração de P residual (P orgânico e inorgânico altamente recalcitrante) no teor de P total do solo (Figura 13). Essa mesma tendência foi observada para as outras áreas estudadas, que apresentaram valores de P residual superiores a 70 % do teor total de P, assumindo uma dinâmica de estabilidade e semelhança entre as áreas estudadas.

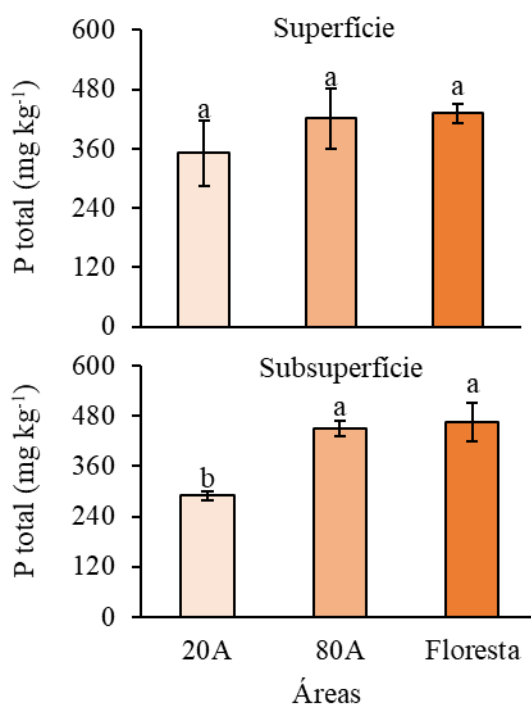


Figura 11. Fósforo total do solo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média ($n = 3$) e a barra

de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

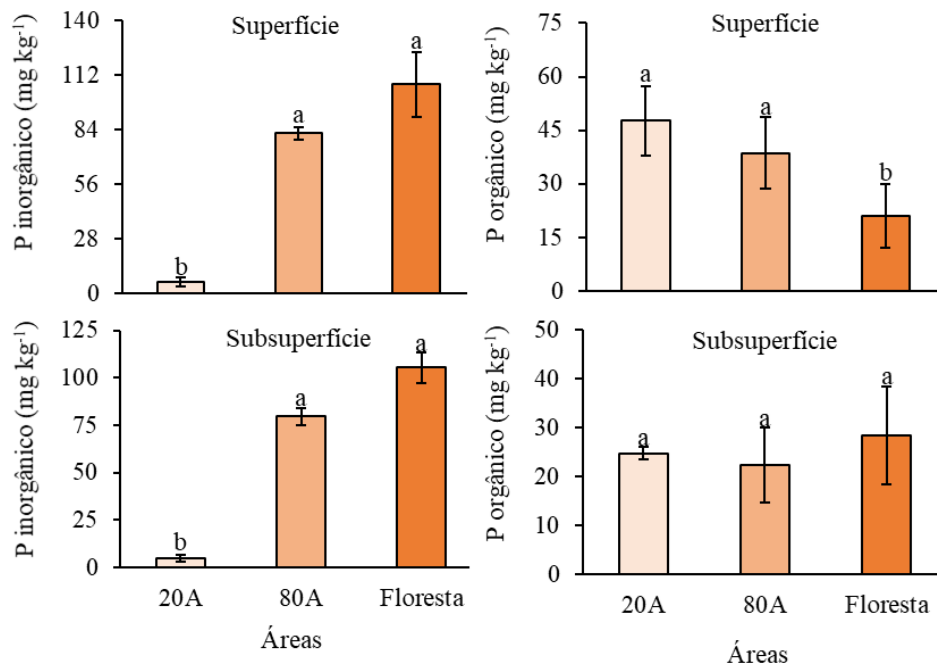


Figura 12. Fósforo inorgânico total (A) e fósforo orgânico total (B) nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 3) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

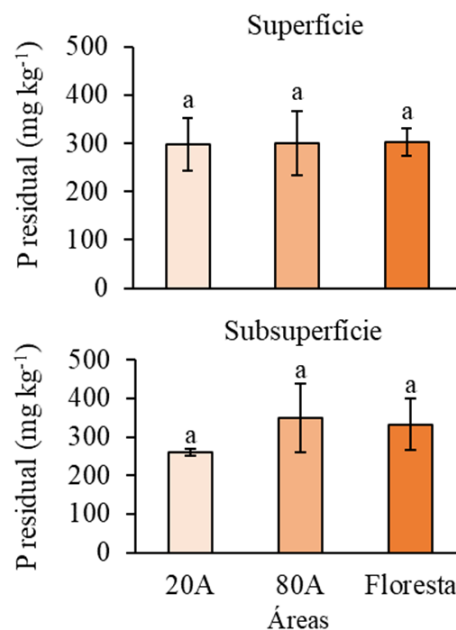


Figura 13. Fósforo residual nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de regeneração natural (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 3) e a barra de

erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

Foram observados efeitos significativos dos tempos de drenagem em todas as frações inorgânicas de P, tanto em superfície quanto em profundidade (Figura 14). Na superfície, verificam-se reduções de 67,7, 95,2 e 66,3 % nos teores das frações inorgânicas de P lábil, moderadamente lábil e recalcitrante, respectivamente, no solo sob drenagem por 20 anos quando comparado a área drenada por 80 anos. Da mesma forma, na mesma profundidade, observou-se reduções de 54,2, 96,4 e 75,5 % nos teores das frações inorgânicas de P (lábil, moderadamente lábil e recalcitrante, respectivamente) na área submetida a drenagem por 20 anos quando comparado com a referência. Em subsuperfície, a dinâmica de redução das frações inorgânicas de P na área de 20 anos de drenagem seguiu a mesma tendência verificada nos horizontes superficiais, quando comparada com as demais áreas estudadas.

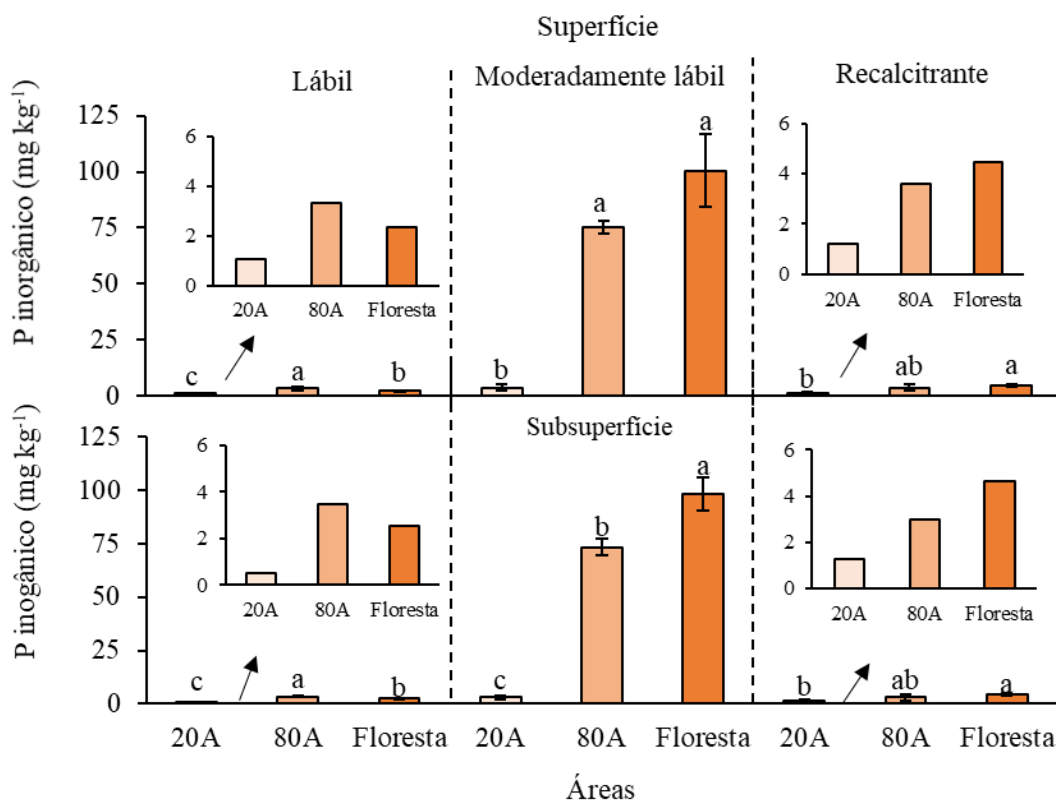


Figura 14. Frações inorgânicas de fósforo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média (n = 3) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

De maneira geral, verifica-se uma redução mais significativa no teor da fração inorgânica de P moderadamente lábil tanto no horizonte superficial quanto no subsuperficial quando comparada as outras frações inorgânicas, indicando um efeito proeminente dos 20 anos de drenagem nesta fração. Tanto na comparação com a área de 80 anos quanto na comparação com a referência, observam-se reduções superiores a 95 % do teor de P inorgânico moderadamente lábil tanto nos horizontes superficiais quanto nos subsuperficiais. Já a redução da fração inorgânica de maior labilidade (P lábil) na área submetida a drenagem

por 20 anos foi mais significativa em subsuperfície, com reduções superiores a 80 % do seu teor, quando comparada aos demais tratamentos avaliados.

No caso das frações orgânicas de P, os efeitos da drenagem foram significativos apenas na fração orgânica de maior labilidade (P lábil), com reduções de 66,6 e 46,3 % no seu teor em superfície quando comparado com a área drenada por 80 anos ($p = 0,020$) e a de referência ($p = 0,040$), respectivamente (Figura 15). Em subsuperfície, a redução do teor de P orgânico lábil na área drenada por 20 anos atingiu o valor de 78,8 % do conteúdo observado na mesma profundidade na área drenada por 80 anos. Frações orgânicas de P de maior estabilidade (moderadamente lábil e recalcitrante) apresentaram poucas alterações em seus conteúdos após os tempos de drenagem, independente da região do perfil observada.

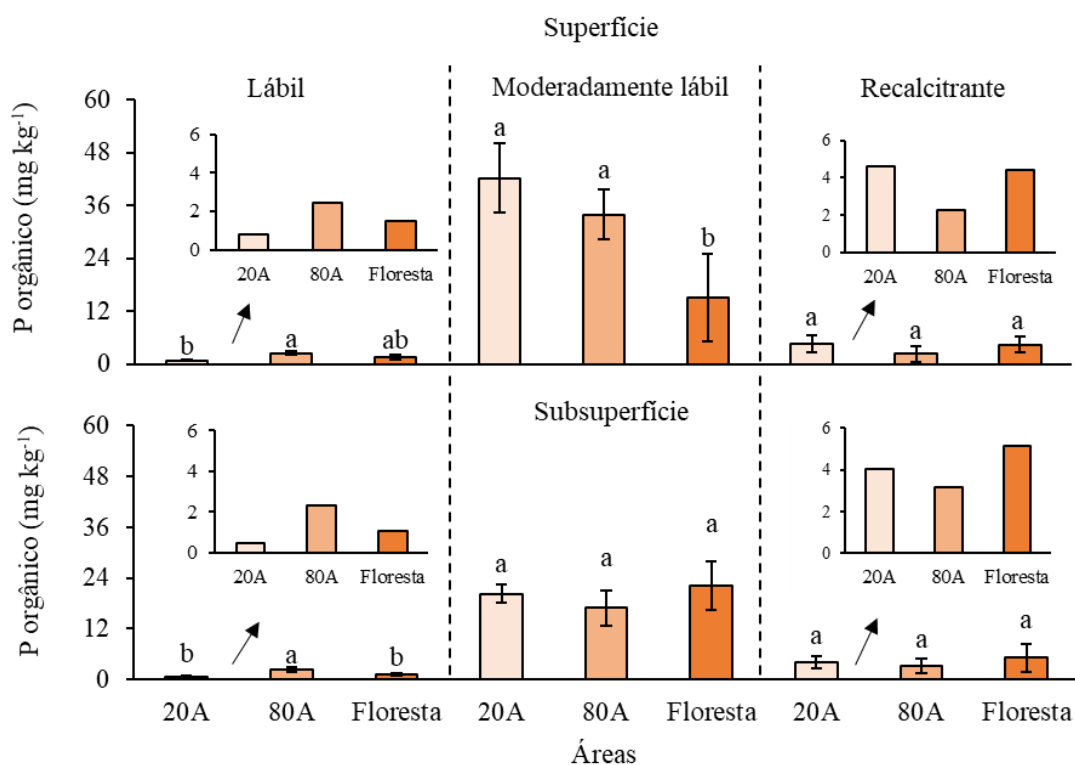


Figura 15. Frações orgânicas de fósforo nos horizontes superficiais e subsuperficiais em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de regeneração natural (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média ($n = 3$) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

Quando se considera o teor de P em termos de estoque do nutriente por volume de solo, observa-se claramente o efeito significativo da drenagem por 20 anos na redução do teor total de P inorgânico (Figura 16A). Verificam-se valores de estoque de P inorgânico total da ordem de 21,5, 283,0 e 362,3 kg P ha⁻¹ para as áreas drenadas por 20 e 80 anos e para a referência, respectivamente. No caso do estoque de P orgânico total, no entanto, os efeitos do tempo de drenagem no acúmulo desta fração no solo não foram significativos, quando comparados a área referência (Figura 16B), porém verificou-se uma superioridade da área drenada por 20 anos, apresentando 12,0 e 47,6 % a mais no estoque de P orgânico quando comparada com a área drenada por 80 anos e a de referência. Observa-se estoques de P orgânico total da ordem de 132,9, 118,6 e 90,0 kg P ha⁻¹ nas áreas drenadas por 20 e 80 anos e na referência, respectivamente.

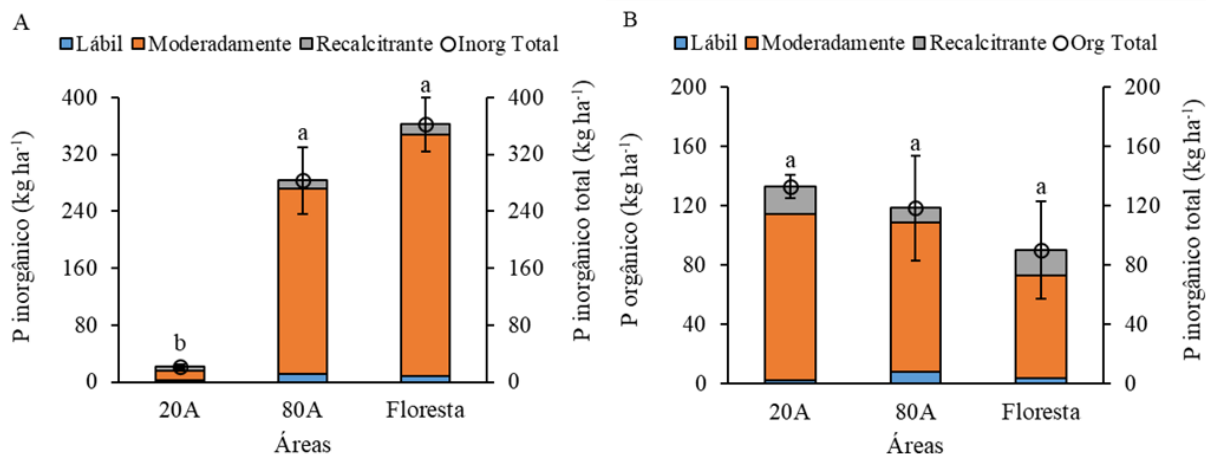


Figura 16. Estoques das frações inorgânicas (A) e orgânicas (B) do fósforo do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média ($n = 3$) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

Os maiores valores de estoque de P orgânico total na área drenada por 20 anos (não significativo, $p > 0,05$), culminou no aumento dos valores de estoque total de P no solo (somatório dos estoques de P inorgânico e orgânico) nessa área, resultando na não significância ($p > 0,05$) do conteúdo de P total do solo entre os tratamentos (Figura 17). Foram verificados valores de estoque de P total do solo da ordem de 1219,5, 1526,1 e 1588,3 kg P ha⁻¹ nas áreas submetidas a drenagem por 20 e 80 anos e na área de referência, respectivamente. Em termos gerais, considerando o somatório de todas as frações de P no solo, a drenagem por longos períodos (20 e 80 anos) não proporcionou efeitos estatisticamente significativos sobre o estoque total de P no solo.

Quanto à adsorção de P, medida pelo P remanescente, verificam-se efeitos significativos da drenagem tanto em superfície quanto em profundidade, somente na área drenada por 20 anos (Figura 18). À medida do P remanescente é inversamente proporcional a adsorção de P pelo solo. Esse padrão significa que um valor de P remanescente alto reflete em baixos valores de adsorção. Dessa forma, ficou claro que, nas duas posições avaliadas (superfície e subsuperfície), a drenagem por 20 anos aumentou a adsorção de P pelo solo, quando comparada com as áreas submetida a drenagem por 80 anos e a referência. Ao que tudo indica, no curto prazo de drenagem (20 anos), a fração mineral do solo passou a atuar de maneira mais significativa, proporcionando uma nova dinâmica do P no solo, sendo governada por processos de adsorção e dessorção das superfícies dos minerais de argila.

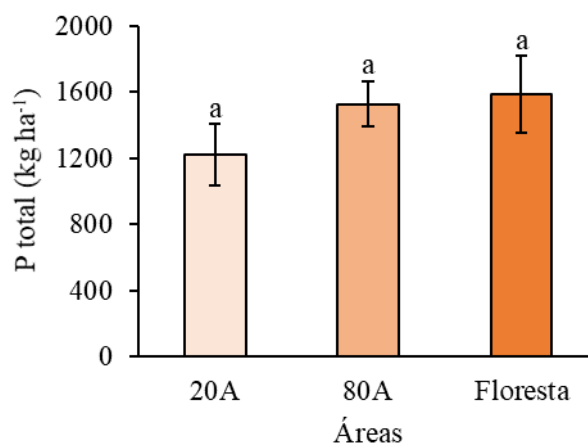


Figura 17. Estoques totais de fósforo do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Floresta) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média ($n = 3$) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

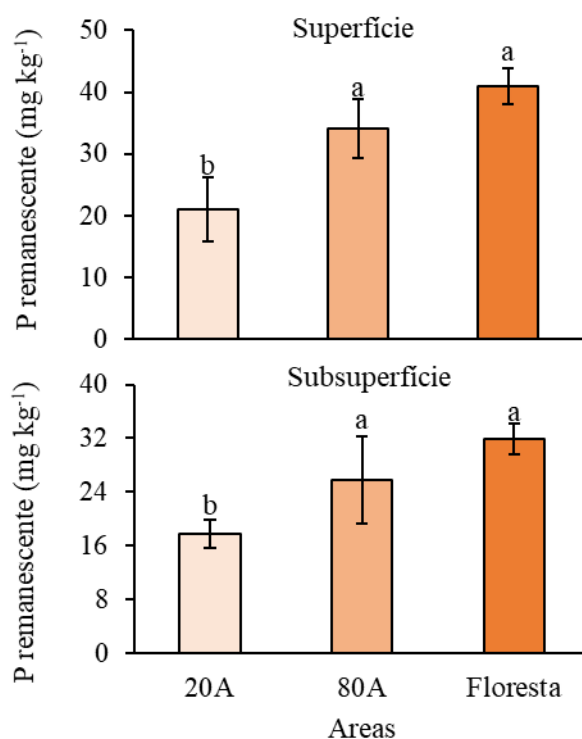


Figura 18. Fósforo remanescente do solo em Organossolos submetidos a drenagem por 20 (20 Y) e 80 anos (80 Y) e em uma área de referência (Forest) no sudeste do Brasil. Cada valor representa a média ($n = 3$) e a barra de erros representa o erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais na comparação entre áreas são similares pelo teste t, a 5 % de significância.

3.6. DISCUSSÃO

Estudos realizados em áreas drenadas de Organossolos têm demonstrado a ocorrência de dois processos fundamentais associados a dinâmica do P no solo: a) a mineralização da fração orgânica do P associada a MOS, em função da maior atividade biológica no ambiente aeróbio, aumentando a disponibilidade de P inorgânico lábil (MUNIR et al., 2017; WANG & MOORE, 2014; WANG et al., 2018; SAURICH et al., 2019) e b) a adsorção de uma parcela do P inorgânico, reduzindo a sua disponibilidade, como resultado da oxidação do ambiente (HERNDON et al., 2019; KOOIJMAN et al., 2020; ZAK et al., 2010). Nesse estudo, no entanto, foi verificada a ocorrência dos dois processos de forma conjunta, notadamente na área submetida a drenagem por 20 anos. A redução do conteúdo da fração P orgânico lábil é um indicativo do consumo biológico dessa fração e mineralização (OLIVEIRA FILHO et al., 2020). Seria esperado, nesse caso, o aumento da fração inorgânica de P de maior labilidade (OLIVEIRA FILHO et al., 2020), o que não ocorreu. Essa fração foi significativamente reduzida, o que indica a ocorrência do processo de adsorção pela matriz mineral do solo, já que foi observado nesse ambiente, um elevado potencial de adsorção de P (baixo P remanescente).

Na área submetida a 20 anos de drenagem, a fração mineral do solo passou a atuar significativamente na adsorção do P pelo solo, controlando, inclusive, uma provável remoção da fração inorgânica de P juntamente com água de drenagem. De acordo com Dak et al. (2010), a presença de P associado a compostos de Fe^{3+} em uma proporção molar Fe:P menor que 10, pode promover uma exportação crítica de P do solo para o lençol freático. Além disso, na área drenada por 20 anos, é esperado uma maior extração do P do solo devido a inclusão do cultivo intercalado de *Cocos nucifera*. Plantas de *Cocos nucifera* em produção (adultas) necessitam de aproximadamente $52,3 \text{ kg P ha}^{-1}$ anual (considerando 205 plantas ha^{-1} e frutos de aproximadamente 1,6 kg) (TEIXEIRA et al., 2005) ou 78,5 g de P por planta (TEIXEIRA & SILVA, 2003) para uma produção adequada, significando em uma considerável extração anual de P do solo, diferindo, portanto, da área drenada por 80 anos que possui o cultivo de *Manihot esculenta* individual.

Provavelmente, em função do maior tempo de drenagem (80 anos), mesmo tendo sido mantida a condição de oxidação por longo período, o bloqueio aos sítios de adsorção de P, seja pelo alto teor de P já adsorvido (OLIVEIRA FILHO et al., 2020) ou pelas frações recalcitrantes da MOS altamente decompostas (KOOIJMAN et al., 2020; SCHMIEDER et al., 2020), atuaram na manutenção do P prontamente disponível em solução, o que explica o aumento da disponibilidade de P inorgânico lábil na área drenada por 80 anos.

Verifica-se que os efeitos da drenagem por 20 anos foram significativos em todas as frações inorgânicas de P, desde a mais lábil à mais recalcitrante. Isso é um indicativo da capacidade tampão do nutriente no solo, atuando no sentido de manter níveis ideais de P lábil em solução, à medida em que o P é adsorvido, deixa o sistema via água de drenagem ou é absorvido pelas plantas presentes (SALES et al., 2017). Dessa forma, na área drenada por 20 anos, todas as frações inorgânicas atuaram na biodisponibilidade do P no solo. No caso da área drenada por maior período (80 anos), a recuperação do teor de P (orgânico e inorgânico) via deposição de resíduos vegetais na superfície e regeneração da turfeira foi evidente (ARSENAULT et al., 2018; WANG et al., 2015), indicando que o efeito da drenagem é mais significativo no curto prazo.

Frações orgânicas de maior estabilidade (moderadamente lábil e recalcitrante) e o P residual foram pouco afetadas no curto (20 anos) e no longo prazo (80 anos) de drenagem. Nos Organossolos, mesmo com reduzida atividade biológica, a fração orgânica do P é

formada pelo acúmulo de monoésteres estabilizados por pontes de Ca^{2+} (WANG et al., 2019). Esse padrão, associado a reduzida mineralização (SCHMIEDER et al., 2020) e, ocasionalmente, a presença de lençol freático alto (NEGASSA et al., 2020), tendem a acumular um montante significativo de P orgânico nos solos de *peatlands*, tornado esse ambiente um sumidouro e grande reservatório de P.

O forte efeito da adsorção pela matriz mineral do solo (fração argila) e, possivelmente, a saída de P inorgânico junto a água de drenagem e a absorção pelas plantas de *Cocos nucifera* no sistema drenado por 20 anos, afetou negativamente os estoques de P inorgânico nessa área, representando menos que 10 % do estoque de P no solo. Nesse caso, o teor de P orgânico foi superior ao inorgânico, corroborando com os resultados de Negassa et al. (2020) e Schmieder et al. (2020). Na condição de maior tempo de drenagem (80 anos), verifica-se uma maior participação da fração inorgânica no teor total de P, como proposto por Prietzel et al. (2010), padrão similar ao observado sob condições naturais, o que pode indicar que, sob condições tropicais, a fração inorgânica do P é a principal responsável pelo fluxo e dinâmica desse nutriente em Organossolos.

3.7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos fornecem novas evidências sobre a dinâmica do P em áreas de Organossolos submetidas a drenagem por longos períodos. No curto prazo (20 anos), processos de adsorção e mineralização (redução do P orgânico lábil) ocorrem simultaneamente, com a drenagem afetando significativamente todas as frações inorgânicas de P (lábil, moderadamente lábil e recalcitrante), independentemente da posição no perfil (superfície ou subsuperfície). Em contrapartida, independentemente do tempo e da posição avaliada no perfil de solo, a drenagem não afetou os teores das frações orgânicas de maior recalcitrância e o P residual.

O processo de adsorção controla a disponibilidade do P em Organossolos submetidas à drenagem, reduzindo a disponibilidade de P somente no curto prazo. Em longo prazo (80 anos), a adsorção é reduzida, provavelmente, devido ao bloqueio dos sítios de adsorção, mantendo a disponibilidade de P elevada. Em longo prazo, a drenagem não afetou as frações de P, que assumiram características semelhantes a área de referência, o que indica a ocorrência de um processo de regeneração do teor de P, via deposição de material vegetal, com o predomínio da fração P residual, altamente recalcitrante, no conteúdo total de P no solo.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Práticas de cultivo que envolvam a drenagem e o revolvimento do solo afetam negativamente as propriedades dos Organossolos. A implementação de tais práticas no manejo do solo resultou em redução dos estoques de carbono e nitrogênio do solo. O revolvimento diminui o teor de matéria orgânica devido à sua oxidação acelerada, aumentando a densidade do solo. A drenagem, além da perda de matéria orgânica por subsidência, promove o desenvolvimento do processo de sulfuração nos solos com elevados teores de SO_4^{-2} , devido à oxidação de materiais do solo que contêm sulfetos.

A drenagem dos Organossolos, também, interfere nos processos de adsorção e mineralização do P (redução do P orgânico lábil), afetando significativamente todas suas frações inorgânicas (lábil, moderadamente lábil e recalcitrante), independentemente da posição no perfil (superfície ou subsuperfície). Em contrapartida, a drenagem não afetou os conteúdos das frações orgânicas de maior recalcitrância e o P residual.

A disponibilidade de P, em Organossolos submetidos à drenagem, é controlada pelo processo de adsorção, reduzindo a disponibilidade de P. Porém, a adsorção é reduzida ao longo do tempo, provavelmente, devido ao bloqueio dos sítios de adsorção, mantendo a disponibilidade de P elevada. No longo prazo, a drenagem não afetou as frações de P, que assumiram características semelhantes a área de referência, o que indica a ocorrência de um processo de regeneração do teor de P, via deposição de material vegetal, com o predomínio da fração P residual, altamente recalcitrante, no conteúdo total de P no solo.

Os resultados encontrados nesse estudo e técnicas corretas de manejo de Organossolos, principalmente para os Organossolos Tiomórficos, como cultivo em canteiros, cultivos perenes e utilização de cobertura vegetal, devem ser transferidas aos produtores, visando conscientizar sobre a importância da manutenção da matéria orgânica do solo nas formas mais recalcitrantes, assim como o aporte de material vegetal, garantindo a ciclagem e manutenção de C e N armazenados no perfil de solo. Evitando, assim, as emissões de gases de efeito estufa, da mesma forma com o P, garantindo também a utilização desses solos para fins agrícolas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSENAULT, J.; TALBOT, J.; MOORE, T. R. Environmental controls of C, N and P biogeochemistry in peatland pools. **Science of the Total Environment**, v. 631-632, p. 714-722, 2018.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; MARTINELLI, L. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey: **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141-6160, 2013.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p. 151-163, 1996.

BEEK, C. L.; EERTWEGH, G. A. P. H.; SCHAİK, F. H.; VELTHOF, G. L.; OENEMA, O. The contribution of dairy farming on peat soil to N and P loading of surface water. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 70, p. 85-95, 2004.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n.7, p. 1459-1466, 1995.

BROUNS, K.; KEUSKAMP, J. A.; POTKAMP, G.; VERHOEVEN, J. T. A.; HEFTING, M. M. Peat origin and land use effects on microbial activity, respiration dynamics and exoenzyme activities in drained peat soils in the Netherlands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 95, p. 144-155, 2016.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K.; Carbon sequestration in soils. **Journal Soil Water Conservation**, v. 54, p. 383-389, 1999.

BRUUN, T. B.; ELBERLING, B.; CHRISTENSEN, B. T. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 6, p. 888-895, 2010.

CIPRIANO-SILVA, R.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 26-38, 2014.

COUWENBERG, J.; DOMMAIN, R.; JOOSTEN, H. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. **Global Change Biology**, v.16, n. 6, p. 1715–1732, 2010.

CUMMING, G.; FIDLER, F.; VAUX, D. L. Error bars in experimental biology. **The Journal of Cell Biology**, v. 177, n. 1, p. 7-11, 2007.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. D. M.; SILVA, C. R. D.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. D. **Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF, 2001.

DUBALL, C.; VAUGHAN, K.; BERKOWITZ, J. F.; RABENHORST, M. C.; VANZOMEREN, C.M. Iron monosulfide identification: Field techniques to provide evidence of reducing conditions in soils. **Soil Society of America Journal**, v. 84, n. 2, p. 303-313, 2020.

FANNING, D. S.; RABENHORST, M. C.; FITZPATRICK, R. W. Historical developments in the understanding of acid sulfate soils. **Geoderma**, v. 308, p. 191-206, 2017.

FERREIRA, T. O.; OTERO, X. L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. Redox Processes in Mangrove Soils under in Relation to Different Environmental Conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 2, p. 484-491, 2007.

FERREIRA, T. O.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil. **Catena**, v. 70, n. 1, p. 79-91, 2007.

GNATOWSKI, T.; SZATYŁOWICZ, J.; BRANDYK, T.; KECHAVARZI, C. Hydraulic properties of fen peat soils in Poland. **Geoderma**, v. 154, n. 3-4, p. 188-195, 2010.
GNAZDOWSKI, Z. Interpretation of principal components analysis. **Zeszyty Naukowe WWSI**, v. 11, n. 16, p. 43-65, 2017.

GRZYWNA, A. The degree of peatland subsidence resulting from drainage of land. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 16, p. 559, 2017.

HERNDON, E. M.; KINSMAN-COSTELLO, L.; DUROE, K. A.; MILLS, J.; KANE, E. S.; SEBESTYEN, S. D.; THOMPSON, A. A.; WULLSCHLEGER, S. D. Iron (oxyhydr)oxides serve as phosphate traps in tundra and boreal peat soils. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 2, p. 227-246, 2019.

HOLDEN, J.; EVANS, M. G.; BURT, T. P.; HORTON, M. Impact of land drainage on peatland hydrology. **Journal Environmental Quality**, v. 35, n. 5, p. 1764-1778, 2006.

HOYT, A. M.; CHAUSSARD, E.; SEPPALAINEN, S. S.; HARVEY, C.F. Widespread subsidence and carbon emissions across Southeast Asian peatlands. **Nature Geoscience**, v. 13, p. 435-440, 2020.

HU, J.; LIAO, X.; VARDANYAN, L. G.; HUANG, Y.; INGLETT, K. S.; WRIGHT, A. L.; REDDY, K. R. Duration and frequency of drainage and flooding events interactively affect soil biogeochemistry and N flux in subtropical peat soils. **Science of the Total Environment**, v. 727, p. 1-11, 2020.

HUNGATE, B. A.; DUKES, J. S.; SHAW, M. R.; LUO, Y.; FIELD, C. B.; Nitrogen and climate change. **Science**, v. 302, n. 5650, p. 1512-1513, 2003.

HUTH, V.; GUNTHER, A.; BARTEL, A.; HOFER, B.; JACOBS, O.; JANTZ, N.; MEISTER, M.; ROSINSKI, E.; URICH, T.; WEIL, M.; ZAK, D.; JURASINSKI, G. Topsoil removal reduced in-situ methane emissions in a temperate rewetted bog grassland by a hundredfold. **Science of the Total Environment**, v. 721, p. 1-8, 2020.

IUSS WORKING GROUP, W. **World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** World Soil ed. Rome: FAO, 2014.

JACKSON, R. B.; LAJTHA, K.; CROW, S. E.; HUGELIUS, G.; KRAMER, M. G.; PIÑEIRO, G. The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 419–445, 2017.

JOOSTEN, H.; TAPIO-BISTRO, M. L.; TOL, S. Peatlands: guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. FAO. Available in: <http://www.fao.org/3/a-an762e.pdf>. Accessed 24 Jun 2020.

KAISER, K.; MIKUTTA, R.; GUGGENBERGER, G. Increased stability of organic matter sorbed to ferrihydrite and goethite on aging. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 3, p. 711–719, 2007.

KINDLER, R.; SIEMENS, J.; KAISER, K.; WALMSLEY, D. C.; BERNHOFER, C.; BUCHMANN, N.; CELLIER, P.; EUGSTER, W.; GLEIXNER, G.; GRÜNSWALD, T.; HEIM, A.; IBROM, A.; JONES, S. K.; JONES, M.; KLUMPP, K.; KUTSCH, W.; LARSEN, K. S.; LEHUGER, S.; LOUBET, B.; MCKENZIE, R.; MOORS, E.; OSBORNE, B.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SAUNDERS, M.; SCHMIDT, I.; SCHRUMPF, M.; SEYFFERTH, J.; SKIB U.; SOUSSANA, J. F.; SUTTON, M. A.; TEFS, C.; VIWINCKELS, B.; ZEEMAN, M.; KAUPENJOHANN, M. Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance. **Global Change Biology**, v. 17, n. 2, p. 1167–1185, 2011.

KLØVE, B.; BERGLUND, K.; BERGLUND, Ö.; WELDON, S.; MALJANEN, M. Future options for cultivated Nordic peat soils: Can land management and rewetting control greenhouse gas emissions? **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 85-93, 2017.

KÖCHY, M.; HIEDERER, R.; FREIBAUER, A. Global distribution of soil organic carbon—part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. **Soil**, v. 1, n.1, p. 351–365, 2015.

KOOIJMAN, A. M.; CUSSEL, C.; HEDENAS, L.; LAMERS, L. P. M.; METTROP, I. S.; NEIJMEIJER, T. Re-assessment of phosphorus availability in fens with varying contents of iron and calcium. **Plant and Soil**, v. 447, p. 219-239, 2020.

LAL, R.; GRIFFIN, M.; APT, J.; LAVE, L.; GRANGER MORGAN, M. G. Managing soil carbon. **Science**, v. 304, n. 5669, p. 393, 2004.

LEIFELD, J.; KLEIN, K.; WUST-GALLEY, C. Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatlands degradation. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-9, 2020.

LEIFELD, J.; WÜST-GALLEY, C.; PAGE, S. Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. **Nature Climate Change**, v. 9, p. 945-947, 2019.

LI, D.; NIU, S.; LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta- analysis. **New Phytologist**, n. 195, v. 1, p. 172-181, 2012.

LIIMATAINEN, M.; VOIGT, C.; MARTIKAINEN, P. J.; HYTONEN, J.; REGINA, K.; OSKARSSON, H.; MALJANEN, M. Factors controlling nitrous oxide emissions from managed northern peat soils with low carbon to nitrogen ratio. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 122, p. 186-195, 2018.

LOGINOW, W.; WISNIEWSKI, W.; GONET, S.S.; CIESCINSKA, B. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. **Polish Journal of Soil Science**, v. 20, n. 1, p. 47-52, 1987.

LUMBRERAS, J. F.; GOMES, J. B. V. Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento Ambiental do Município do Rio de Janeiro. **Sergipe: Embrapa Tabuleiros Costeiros/Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 326p. 2004.

LUO, Y.; SU, B.; CURRIE, W. S.; DUKES, J. S.; FINZI, A.; HARTWIG, U.; HUNGATE, B.; MCMURTRIE, R. E.; OREN, R.; PARTON, W. J.; PATAKI, D. E.; SHAW, M. R., ZAK, D. R.; FIELD, C. B. Progressive nitrogen limitation of ecosystem responses to rising atmospheric carbon dioxide. **BioScience**, v. 54, p. 731– 739, 2004.

LYNN, W. C.; MCKINZIE, W. E.; GROSSMAN, R. B. Q. Field laboratory tests for characterization of Histosols. In: AANDAHL, A. R. editor. Histosols: their characteristics, classification, and use. Madison: **Soil Science Society of America**, v. 6, p. 11-20, 1974.

MELVILLE, M. D.; WHITE, I.; QUIRK, R. Acid sulfate soils: Management. In **Encyclopedia of Soil Science**, 3rd Ed.; Lal, R., Ed.; Taylor and Francis: New York, p. 31–35, 2017.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SILVA, E. F.; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, R. P. Quantificação e distribuição especial de carbono orgânico na paisagem e em perfis de solos no município do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Solos**, v. 39, p. 1-21, 2003.

MINASY, B.; BERGLUND, Ö.; CONNOLLY, H. C.; VRIES, F.; GIMONA, A.; KEMPEN, B.; KIDD, D.; LILJA, H.; MALONE, B.; MCBRATNEY, A. Digital mapping of peatlands – a critical review. **Earth – Science Reviews**, v. 196, p. 102870, 2019.

MORRISON, E.; NEWMAN, S.; BAE, H. S.; HE, Z.; ZHOU, J.; REDDY, K. R.; OGRAM, A. Microbial genetic and enzymatic responses to an anthropogenic phosphorus gradient within subtropical peatlands. **Geoderma**, v. 268, p. 119-127, 2016.

MUNIR, T. M.; KHADKA, B.; XU, B.; STRACK, M. Mineral nitrogen and phosphorus pools affected by water table lowering and warming in a boreal forested peatland. **Ecohydrology**, v. 10, n. 8, p. 1-15, 2017.

NEGASSA, W.; MICHALIK, D.; KLYSUBUN, W.; LEINWEBER, P. Phosphorus speciation in long-term drained and rewetted peatlands of Northern Germany. **Soil Systems**, v. 4, n. 11, p. 1-20, 2020.

OLIVEIRA FILHO, J. S.; FERRARI, A. C.; PEREIRA, M. G.; PINTO, L. A. S. R.; ZONTA, E.; MATOS, T. S. Phosphorus accumulation in soil after successive applications of swine

manure: a long-term study in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 62, p. 1-12, 2020.

PARVIN, S.; BLAGODATSKAYA, E.; BECKER, J. N.; KUZYAKOV, Y.; UDDIN, S.; DORODNIKOV, M. Depth rather than microrelief controls microbial biomass and kinetics of C-, N-, P- and S-cycle enzymes in peatlands. **Geoderma**, v. 324, p. 67-76, 2018.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; VALLADARES, G. S.; Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P.V., ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Eds.), **Tópicos em ciência do solo. 4. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG**, p. 233–276, 2005.

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. **Revista Agrarian**, v. 13, n. 48, p. 211-221, 2020.

PRIETZEL, J.; THIEME, J.; PATERSON, D. Phosphorus speciation of forest-soil organic surface layers using P K-edge XANES spectroscopy. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 6, p. 805-807, 2010.

RABENHORST, M. C.; MEGONIGAL, J. P.; KELLER, J. Synthetic iron oxides for documenting sulfide in marsh pore water. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1383 – 1388, 2010.

RUMPEL, C.; ALEXIS, M.; CHABBI, A.; CHAPLOT, V.; RASSE, D. P.; VALENTIN, C.; MARIOTTI, A. Black carbon contribution to soil organic matter composition in tropical sloping land under slash and burn agriculture. **Geoderma**, v. 130, n. 1-2, p. 35–46, 2006.

SALES, M. V. S.; ALEIXO, S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Structural equation modeling for the estimation of interconnections between the P cycle and soil properties. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 109, p. 193-207, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. revista e ampliada Brasília, DF: Embrapa, p. 590, 2018.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, ed. 7, p. 102, 2015.

SAURICH, A.; TIEMEYER, B.; DON, A.; FIEDLER, S.; BECHTOLD, M.; AMELUNG, W.; FREIBAUER, A. Drained organic soils under agriculture - The more degraded the soil the higher the specific basal respiration. **Geoderma**, v. 355, p. 1-13, 2019.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, n. 1, p. 81–91, 2014.

SCHMIEDER, F.; GUSTAFSSON, J. P.; KLYSUBUN, W.; ZEHETNER, F.; RIDDLE, M.; KIRCHMANN, H.; BERGSTROM, L. Phosphorus speciation in cultivated organic soils revealed by O K-edge XANES spectroscopy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 183, n. 3, p. 367-381, 2020.

SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; DE ARAUJO CARVALHO, M.; CALEGARI, M. R.; SCHIAVO, J. A.; DE PAULA SÁ, N.; ANJOS, L. H. C.; PESSENDA, L. C. R. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 95, p. 102301, 2019.

SOARES, P. F. C. Variação de atributos e dinâmica de carbono e nitrogênio em Organossolos em função de uso e manejo agrícola no Rio de Janeiro. **Dissertação**, 2011.

SOARES, P. F. C.; ZUCHELLO, F.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, A. P. P. Soil attributes and c and n variation in histosols under different agricultural usages in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 31, p. 1349-1362, 2015.

SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. Caracterização e classificação de solos tiomórficos da várzea do rio Coruripe, no Estado de Alagoas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 25, n. 4, p. 977-986, 2001a.

SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 25, n. 4, p. 811-822, 2001b.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 57, n. 2, p. 109-117, 1977.

TAFT, H. E.; CROSS, P. A.; EDWARDS-JONES, G.; MOORHOUSE, E. R.; JONES, D. L. Greenhouse gas emissions from intensively managed peat soils in a arable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 237, p. 162-172, 2017.

TEAM, R. C. R: a language and environment for statistical computing (**version 3.5. 3, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing**), 2019.

TEIXEIRA, L. A. J.; BATAGLIA, O. C.; BUZETTI, S.; FURLANI JUNIOR, E. Fertilizer and lime recommendation for coconut (*Cocos nucifera L.*) in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 519-520, 2005.

TEIXEIRA, L. A. J.; SILVA, J. A. A. Mineral nutrition of populations and hybrids of coconuts (*Cocos nucifera L.*) grown in Bebedouro (SP), Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 371-374, 2003.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa. 573p, 2017.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)**. Ithaca, Microcomputer Power, 500p, 2002.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M.; EBELING, A. G.; MOUTA, R. O. Humic substance fractions and attributes of histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 5-6, p. 763-777, 2007.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; BENITES, V. M.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; GUARESCHI, R. F. Carbon and Nitrogen stocks and humic fractions in Brazilian Organosols. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 285p. 2001.

VEGAS-VILARRÚBIA, T.; BARITTO, F.; MELEAN, G. A critical examination of some common field tests to assess the acid-sulphate condition in soils. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 1, p. 60-68, 2008.

WANG, G.; BAO, K.; YU, X.; ZHAO, H.; LIN, Q.; LU, X. Forms and accumulation of soil P in a subalpine peatland of Mt. Changbai in Northeast China. **Catena**, v. 92, p. 22-29, 2012.

WANG, J. Y.; SONG, C. C.; WANG, X. W.; SONG, Y. Y. Changes in labile soil organic carbon fractions in wetland ecosystems along a latitudinal gradient in Northeast China. **Catena**, v. 96, p. 83-89, 2012.

WANG, L.; AMELUNG, W.; PRIETZEL, J.; WILLBOLD, S. Transformation of organic phosphorus compounds during 1500 years of organic soil formation in Bavarian Alpine forests - A 31P NMR study. **Geoderma**, v. 340, p. 192-205, 2019.

WANG, M. TALBOT, J. MOORE, T. R. Drainage and fertilization effects on nutrient availability in an ombrotrophic peatland. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 1255-1263, 2018.

WANG, M., MOORE, T. R.; TALBOT, J.; RILEY, J. L. The stoichiometry of carbon and nutrients in peat formation. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 2, p. 113-121, 2015.

WANG, M.; MOORE, T. R. Carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium stoichiometry in an ombrotrophic peatland reflects plant functional type. **Ecosystems**, v. 17, p. 673-684, 2014.

WANG, Q.; ZHANG, P. J.; LIU, M.; DENG, Z. W. Mineral-associated organic carbon and black carbon in restored wetlands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 75, p. 300-309, 2014.

WANG, Z.; LIU, S.; HUANG, C.; LIU, Y.; BU, Z. Impact of land use change on profile distributions of organic carbon fractions in peat and mineral soils in Northeast China. **Catena**, v. 152, p. 1-8, 2017.

WEISSERT, L. F.; DISNEY, M. Carbon storage in peatlands: a case study on the Isle of Man. **Geoderma**, v. 204-205, p. 111-119, 2013.

WÖSTEN, J. H. M.; ISMAIL, A. B.; VAN WIKJ, A. L. M. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. **Geoderma**, v. 78, n. 1-2, p. 25-36, 1997.

WÖSTEN, J. H. M.; RITZEMA, H. P. Land and water management options for peatland development in Sarawak, Malaysia. **International Peat Journal**, v. 11, p. 59-66, 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1998.

ZAK, D.; WAGNER, C.; PAYER, B.; AUGUSTIN, J.; GELBRECHT, J. Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. **Ecological Applications**, v. 20, n. 5, p. 1336-1349, 2010.

ZHANG, J. B.; SONG, C. C.; YANG, W. Y. Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions through soil profiles. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 660–667, 2006.

ZOU, X. M.; RUAN, H. H.; FU, Y.; YANG, X. D.; SHA, L. Q. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation–incubation procedure. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 1923–1928, 2005.

7. ANEXOS

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº 1

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mata Antropizada.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hd1 – 0-16 cm Preto (10YR 2,5/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd2 – 16-43 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 43-81 cm⁺ Cinzento (10YR 5/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado pouco, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hd1: 4,92; Hd2: 4,80; Cg: 3,45

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hd1 e Hd2 de acordo com von Post: 9 (quase completamente decomposta).



Figura 19. Perfil 1. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata, no município do Rio de Janeiro.

PERFIL N^o 2

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM– Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mata antropizada.

DESCRIÇÃO POR – Hugo Fagundes, Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hd1 – 0-20 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd2 – 20-32cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd3 – 32-50 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 50-79 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado pouco, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hd1: 5,30; Hd2: 5,12; Hd3: 4,22; Cg: 3,56

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes H1, H2 e H3 de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta), 9 (quase completamente decomposta) e 10 (completamente decomposta).



Figura 20. Perfil 2. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata no município do Rio de Janeiro.

PERFIL Nº 3

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mata Antropizada.

DESCRIÇÃO POR – Hugo Fagundes, Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hd1 – 0-14 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd2 – 14-44 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 44-63 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado pouco, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hd1: 4,99; Hd2: 4,39; Cg: 3,6

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hd1 e Hd2 de acordo com von Post: 9 (quase completamente decomposta).



Figura 21. Perfil 3. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de mata no município do Rio de Janeiro.

PERFIL N^o 4

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM– Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mandioca.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-15 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2 – 15-40 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 40-67 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); franco argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado comum, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,43; Hdp2: 4,59; Cg: 3,73

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1 e Hdp2 de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta) e 9 (quase completamente decomposta), respectivamente.



Figura 22. Perfil 4. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.

PERFIL Nº 5

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mandioca.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-13 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); moderada, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2 – 13-27 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd – 27-47 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 47-65 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); franco argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado comum, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,32; Hdp2: 4,47; Hd: 4,45; Cg: 3,47

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1, Hdp2 e Hd de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta), 9 (quase completamente decomposta) e 9 respectivamente.



Figura 23. Perfil 5. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.

PERFIL N^o 6

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM– Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Mandioca.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-12 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); moderada, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2 – 12-20cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; dura, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd – 20-44 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 44-76 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); argilossiltosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado comum, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,82; Hdp2: 4,97; Hd: 4,54; Cg: 3,83

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1, Hdp2 e Hd3 de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta), 10 (completamente decomposta) e 9 (quase completamente decomposta), respectivamente.



Figura 24. Perfil 6. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.

PERFIL N^o 7

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Coqueiro perene.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-16 cm Preto (10YR 3/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); fraca, muito pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Hdp2 – 16-57 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); moderada, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 57-75 cm⁺ Cinzento (2,5Y 5/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; mosqueado comum, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,83; Hdp2: 4,0; Cg: 3,45

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1 e Hdp2 de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta).



Figura 25. Perfil 7. Organossolo Tiomórfico Sápico típico, localizado em área de cultivo de coco (*Cocos nucifera*) consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.

PERFIL Nº 8

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Coqueiro perene.

DESCRIÇÃO POR – Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-18 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); moderada, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2 – 18-47 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 47-73 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado comum, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,30; Hdp2: 3,85; Cg: 3,58

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1, Hdp2 de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta).



Figura 26. Perfil 8. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de coco (*Cocos nucifera*) consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.

PERFIL N^o 9

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do senhor Miyata, Colônia Japonesa, Estrada Retra do Rio Grande, Santa Cruz, Rio de Janeiro.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Baixada com aproximadamente 2% de declive.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA – Sedimentos quaternários.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos organogênicos sobrepostos.

ALTITUDE: 5m.

RELEVO – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM– Muito mal drenado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Hidrófila.

CLIMA: Tropical – Aw.

USO ATUAL – Coqueiro perene.

DESCRIÇÃO POR – Hugo Fagundes, Otavio Queiroz, Eduardo Neto e Marcos Gervasio Pereira.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 – 0-13 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); moderada, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2 – 13-38cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hd – 38-60 cm Preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento escuro (10YR 4/1, seco); forte, pequena, granular; macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg – 60-83 cm⁺ Cinzento (2,5Y 4/1); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, muito plástica e pegajosa; mosqueado pouco, pequeno e distinto (10YR 5/8).

OBS:

Valores de pH dos horizontes descritos: Hdp1: 4,64; Hdp2: 4,16 Hd: 3,56; Cg: 3,32

Grau de decomposição do material orgânico dos horizontes Hdp1, Hdp2 e Hd de acordo com von Post: 8 (muito fortemente decomposta), 9 (quase completamente decomposta) e 10 (completamente decomposta).



Figura 27. Perfil 9. Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, localizado em área de cultivo de coco (*Cocos nucifera*) consorciado com mandioca (*Manihot esculenta*) no município do Rio de Janeiro.