

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLO
VERMELHO DE ALTITUDE SOB USOS E MANEJOS DISTINTOS**

**Cristiano Albino Tomasi
(DISSERTAÇÃO)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA EM
LATOSSOLO VERMELHO DE ALTITUDE SOB USOS E
MANEJOS DISTINTOS**

CRISTIANO ALBINO TOMASI
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2011

DISSERTAÇÃO

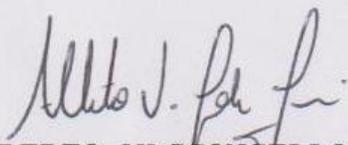
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

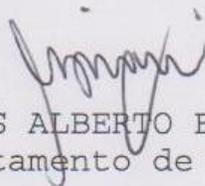
Aprovado em: 31.03.2011
Pela Banca Examinadora

Homologado em:
Por

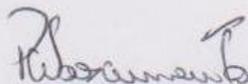


ALBERTO VASCONCELLOS INDA JÚNIOR
Orientador-PPG Ciência do Solo

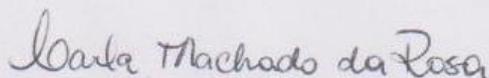
FLÁVIO A. O. CAMARGO
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo



CARLOS ALBERTO BISSANI
Departamento de Solos/UFRGS



PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO
Departamento de Solos/UFRGS



CARLA MACHADO DA ROSA
Bolsista de Pós-Doutorado/UFRGS

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

*Dedico, aos meus pais, José Luiz e Karin (in memorian), por todo amor,
carinho e orientação de vida.*

*Á minha esposa Livia pelo companheirismo, amor e paciência de todas as
horas.*

*Aos meus irmãos Alexandre e Gustavo pela amizade, parceria e pelo afeto
sempre presente.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Dr. Alberto Vasconcelos Inda Júnior pela orientação, confiança e amizade, sempre presente e disponível a prestar todo auxílio necessário durante o desenvolvimento das atividades.

Ao professor PhD. Aino Victor Ávila Jacques por ceder sua propriedade para realização das coletas de campo, pelo acompanhamento durante os trabalhos de coleta e pela agradável companhia e excelente receptividade.

Ao professor Dr. Paulo César do Nascimento pelo apoio e amizade.

Aos professores do Departamento de Solos por todo o conhecimento e experiência transmitidos tanto em sala de aula como nos demais momentos de orientação.

Aos Laboratoristas Luís Antonio e Adão Luís, pela ajuda nas determinações analíticas.

Ao secretário do PPGCS Jader pela presteza e excelente trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica, Victor Hugo e Jéssica por toda ajuda, dedicação e amizade.

Aos alunos e professores do laboratório K 104-B do Instituto de Química/UFRGS, por todo apoio e presteza na realização das análises de matéria orgânica do solo, em especial a Henrique Almeida e Mauro Hirsch.

A todos os meus colegas do PPGCS pelos bons momentos vividos e amizade. Em especial, agradeço a Fernando Viero, Tatiane, Lauri, Alexandra, Jônatan,

Michael, Luciano C., Evelyn, Fernando, Ângela, Joice, Rafael, Elias e Jovana.

Aos colegas da gênese Jessé Fink, Tiago Broetho, Luiz França, Paula Suelen e Rodrigo Tesk.

Aos colegas do manejo do solo pelo auxílio nos trabalhos de laboratório.

Agradeço a minha família, pelo apoio e dedicação incondicional.

Agradeço ainda, a todos que participaram desta etapa da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLO VERMELHO DE ALTITUDE SOB USOS E MANEJOS DISTINTOS^{1/}

AUTOR: Cristiano Albino Tomasi

ORIENTADOR: Prof. Alberto Vasconcellos In da Junior

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos gerados por distintos usos e manejos em solos subtropicais sob seus atributos químicos, matéria orgânica, adsorção de fósforo (CMAP) e área superficial específica (ASE) em ambientes sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN), em diferentes profundidades, em Latossolo Vermelho distroférico da região dos Campos de Cima da Serra, RS. O CN apresentou baixos teores de COT e de seus atributos químicos em relação aos demais ambientes, reflexo da sua constituição mineralógica e do clima local e altos teores de substâncias húmicas (SHs), consequência da ausência de interferência antrópica. Na MN, obteve-se altos teores da fração húmica (HU) devido ao elevado aporte e ciclagem vegetal. A queima superficial do CN determinou diminuição dos teores de COT e aumento da CMAP, em superfície. A fertilização e correção do solo do ambiente LA determinaram altos valores dos atributos químicos. O FP apresentou os mais baixos teores químicos e de COT, que se correlacionou com a alta CMAP. O incremento de COT refletiu em diminuição da CMAP mesmo que os resultados apontam em aumento da ASE fazendo deste (COT), fator preferencial nas reações de adsorção de fósforo no solo. A forma de uso e seus distintos manejos geraram importantes modificações pedoambientais proporcionando informações auxiliares na determinação de parâmetros para sua utilização sustentável.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (79 p.) Março, 2011. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

CHEMICAL ATTRIBUTES AND ORGANIC MATTER IN HIGHLANDS RED OXISOL UNDER DIFFERENT USES AND MANAGERMENTS ^{2/}

AUTHOR: Cristiano Albino Tomasi

ADVISER: Prof. Alberto Vasconcellos In da Junior

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the impacts generated by different uses and management in subtropical soils by its chemical attributes, organic matter, maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) and specific surface area (ESA) in environments under natural grassland (NG), natural grassland burned (NGb), farming (FA), pine forest (PF) and native forest (NF), at different depths in Oxisol of the region of Campos de Cima da Serra, RS. The NG had lower content of TOC and its chemical attributes in comparison with other environments, a reflection of its mineral composition and local climate, and high levels of humic substances (SHs), a consequence of the absence of human interference. In MN, we obtained high levels of the humin fraction (HU) due to high vegetal input and cycling. The burning surface of the NG determined a decrease of TOC concentration and increase of MPAC in the surface. Fertilization and soil remediation of the environment LA determined high values of chemical attributes. The PF had the lowest levels of chemicals and of TOC, which correlated with high CMAP. The increase in TOC a decrease in the MPAC even though the results point to increased ASE doing this, preferential factor (TOC) in the reactions of phosphorus adsorption in soil. The kind of use and their different managements have produced important changes pedoenvironment providing auxiliary information in the determination of parameters for its sustainable use.

^{2/} M.Sc.Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (79 p.) March, 2011. Research supported by CNPq.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Os Campos de Cima da Serra e suas pastagens naturais.....	3
2.2 Alterações pedoambientais por diferentes manejos das pastagens.....	5
2.3 Produção de grãos e silvicultura na região dos Campos de Cima da Serra.....	8
3. HIPÓTESES.....	12
4. OBJETIVOS	13
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5.1 Descrição da área de estudo, seleção dos ambientes e amostragem do solo 15	
5.2 Preparação das amostras	16
5.3 Análise dos atributos químicos.....	17
5.4 Determinação da área superficial específica.....	17
5.5 Carbono orgânico total e fracionamento químico da matéria orgânica do solo 18	
5.6 Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP)	19
5.7 Análise mineralógica	20
5.8 Análise estatística	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6.1 Mineralogia da fração argila	21
6.2 Atributos químicos do solo	22
6.3 Carbono orgânico total e dos compartimentos químicos da matéria orgânica do solo	30
6.4 Área superficial específica (ASE) e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP).....	40
7 CONCLUSÃO.....	43
8 BIBLIOGRAFIA	44
9 APÊNDICES.....	52

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).....	23
2. Valores de “r” e “p” das análises de correlações lineares do COT e $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ com os atributos químicos soma de bases (S), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), cálcio (Ca), capacidade de troca de cátions (CTC), magnésio (Mg), alumínio trocável ($\text{Al}_{\text{troc.}}$), potássio (K) e fósforo (P).....	26
3. Teores de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).....	31
4. Proporções dos teores de C nos compartimentos químicos em relação ao carbono orgânico total (COT) do Latossolo Vermelho em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).....	35
5. Área superficial específica e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) na profundidade de 0-0,05 m sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).....	41
6. Valores de “r” e “p” das análises de correlações lineares entre a CMAP, COT e ASE com as frações húmicas com $n = 15$	42

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Áreas amostradas georeferenciadas.	15
2. Curva de dispersão da fração argila para Latossolo Vermelho distroférico típico.....	17
3. Fluxograma do fracionamento químico da matéria orgânica do solo.....	19
4. Difratoograma de raios X da fração argila desferrificada da camada superficial do Latossolo Vermelho. Ct-Caulinita; Cb-Cristobalita; Qz-Quartzo; Gt-Goethita; Hm-Hematita. Espaçamentos d em nm.	21
5. Difratoograma de raios X da fração óxidos de ferro concentrada da camada superficial do Latossolo Vermelho. Ct-Caulinita; Cb-Cristobalita; Qz-Quartzo; Gt-Goethita; Hm-Hematita. Espaçamentos d em nm.	22

RELAÇÃO DOS APÊNDICES

	Página
1. Atributos químicos em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	53
2. Distribuição dos valores de pH (H ₂ O) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	55
3. Distribuição dos valores de pH (SMP) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	55
4. Distribuição dos valores de alumínio trocável (Al _{troc.}) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	56
5. Distribuição dos valores de cálcio (Ca) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	56
6. Distribuição dos valores de magnésio (Mg) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	57
7. Distribuição dos valores de potássio (K) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	57
8. Distribuição dos valores da soma de bases (S) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	58
9. Distribuição dos valores de saturação por bases (V) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	58
10. Distribuição dos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	59
11. Distribuição dos valores de saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	59
12. Distribuição dos valores de fósforo (P) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	60
13. Distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq),	

lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).....	60
14. Distribuição dos teores de C_{HCl} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	61
15. Distribuição dos teores de C_{SH} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	61
16. Distribuição dos teores de C_{AH} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	62
17. Distribuição dos teores de C_{AF} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	62
18. Distribuição dos teores de C_{HU} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	63
19. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	64
20. Adsorção de fósforo e área superficial específica da TFSA do Latossolo Vermelho distrófico típico na profundidade de 0-0,05 m sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).	65

ÍNDICE DE ABREVIações

AF: Ácido Fúlvico

AH: Ácido Húmico

APP: Área de Preservação Permanente

ASE: Área Superficial Específica

CN: Campo Nativo

CNq: Campo Nativo Queimado

COT: Carbono Orgânico Total

FCP: Capacidade-tampão de fósforo

LA: Lavoura

MN: Mata Nativa

MOS: Matéria Orgânica do Solo

QS: Qualidade do Solo

FP: Florestamento de Pinus

RL: Reserva Legal

SPC: Sistema Plantio Convencional

SPD: Sistema Plantio Direto

1. INTRODUÇÃO

A região dos Campos de Cima da Serra (CCS), no estado do Rio Grande do Sul é, historicamente, uma importante fronteira da produção da pecuária de corte, especialmente pelas suas condições edafoclimáticas e pela qualidade natural das pastagens. Além desta atividade, já consolidada ao longo do tempo, a introdução de novas culturas e o desenvolvimento de novas técnicas de manejo pela pesquisa vem ganhando significativo destaque.

A queima anual das pastagens nativas é a maneira de manejar os campos de maior abrangência nesta região e tem sido repetida ao longo dos anos. A renovação das pastagens e o estímulo ao rebrote após o período do inverno são os principais fatores que condicionam os produtores a adotar esta técnica, já tendo se tornando parte de sua cultura. Entretanto, modificações a longo prazo têm sido constatadas pela pesquisa, como a homogeneização de espécies e a diminuição da fertilidade do solo, devido a perdas de nutrientes e de matéria orgânica do solo.

O sistema plantio direto (SPD) é uma alternativa de manejo do solo já amplamente utilizada nas mais diferentes regiões do Brasil. Com mais de 30 anos de pesquisa, a adoção do SPD pode ser uma eficiente técnica com vistas à manutenção e melhoria das condições naturais de fertilidade e das suas características físicas em áreas de produção de grãos e forragem. Entretanto, na região dos CCS, constata-se ainda a utilização do sistema de plantio convencional (SPC), especialmente em áreas de produção de milho, o que compromete a sustentabilidade deste sistema devido a sua fragilidade natural.

O rápido crescimento da produção florestal, sobretudo com cultivo de pinus, é outro exemplo concreto das mudanças ocorridas na agricultura desta região. O expressivo aumento pela demanda de produtos florestais e a excelente adaptabilidade do pinus na região, devido ao clima mais ameno, com

baixas temperaturas médias anuais, e grandes extensões de área disponíveis para o plantio, são os principais fatores determinantes para esse crescimento.

A expansão de lavouras e de florestamento com pinus vem ocorrendo sistematicamente sobre as áreas de pastagem nativa que, embora tendo sua área reduzida, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias, como, melhoramento das pastagens, diferentes técnicas de manejo e melhoramento genético dos animais, dentre outras, tem conseguido manter estável o volume de carne produzido na região.

Em função desta variabilidade de diferentes formas de uso e manejo do solo, importantes alterações são geradas em sua estrutura e constituição química, física e biológica. Relacionar estas diferentes formas de uso e manejo do solo como forma de interferência antrópica com parâmetros qualitativos e quantitativos expressos no ambiente solo, pode ser uma importante ferramenta na busca por sistemas produtivos sustentáveis.

Diferentes formas de mensurar estas interferências já foram estudadas pela pesquisa científica, entretanto muitas dúvidas ainda permanecem e necessitam ser esclarecidas, principalmente em questões relacionadas ao tempo. Por ser o solo um ambiente formado ao longo de milhões de anos, esta é a principal dificuldade de relacionar e entender quais as conseqüências do uso de determinadas técnicas de cultivo e exploração sobre a formação do solo, bem como a manutenção e melhoria das suas condições naturais.

Devido à importância da dinâmica gerada por diferentes formas de uso e manejo do solo, este trabalho tem como objetivo verificar as alterações dos seus atributos químicos e da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os Campos de Cima da Serra e suas pastagens naturais

Situado na região nordeste do Rio Grande do Sul, na Encosta Superior do Nordeste, o município de André da Rocha funciona como um divisor entre a Serra e o início dos Campos de Cima da Serra. Inserido no bioma Mata Atlântica, é composto por rochas efusivas básicas (basalto) e ácidas (riolito) da Formação Serra Geral.

Apresenta um relevo de Planalto, em que predominam as coxilhas levemente onduladas em sua maior parte, com uma pequena área mais acidentada próxima ao Rio Turvo. A altitude média está na faixa dos 800 metros em relação ao nível do mar. Possui clima temperado com as quatro estações bem definidas. Com um volume de chuva considerado alto e com temperaturas abaixo da média do estado, a região apresenta temperatura média anual de 14,1°C e precipitação de 2.470 mm ano⁻¹ (Streck et al. 2008).

A vegetação dos Campos de Cima da Serra é constituída, principalmente, por gramíneas cespitosas compondo extensas áreas de pastagens nativas. Possui grande biodiversidade vegetal, apesar de aparentemente se mostrar uniforme ao longo de sua extensão (Boldrini, 2006), contendo espécies vegetais de alto valor forrageiro (Fonseca et al., 2006). Em pesquisa de identificação das espécies que compõem as pastagens Nabinger et al., (1999) identificaram aproximadamente 800 espécies de gramíneas e 200 de leguminosas. Em relação às espécies de gramíneas, os gêneros mais recorrentes foram *Agrostis*, *Andropogon*, *Aristida*, *Axonopus*, *Bromus*, *Elyonurus*, *Panicum*, *Paspalum*, *Piptochaetium*, *Poa*, *Schizachyrium* e *Trachypogon* (Brasil, 1973). Wunsch (2005) também cita como ocorrentes

muitas espécies prostradas e eretas das famílias *Cyperaceae*, *Compositae* e *Leguminosae*, entre outras.

Essa diversidade de espécies nos CCS, aliada às condições de solo e clima, norteou a identidade territorial, fazendo da pecuária extensiva a fonte de renda regional mais importante e principal alternativa de produção agropecuária. Entretanto, nas últimas décadas, tem havido uma acentuada alteração na paisagem natural dos CCS.

A substituição da cobertura vegetal nativa por projetos de silvicultura de espécies exóticas e a expansão de áreas agrícolas voltadas à produção de grãos indicam um processo de modificação nos usos tradicionais do solo, com implicações econômicas, ambientais e sócio-culturais importantes, que se expressam em sua paisagem. Os dados do Censo Agropecuário (Censo Agropecuário IBGE, 2006), evidenciam redução de 2,2 milhões de ha com áreas de pastagens, gerando um declínio no número de cabeças dos rebanhos bovinos e ovinos. Em contrapartida, neste mesmo período, houve um aumento próximo a 10% (625 mil ha) sobre as áreas de lavoura, aumento este decorrente da migração advinda das pastagens, reflexo direto na mudança de comportamento da forma de se produzir no meio rural.

Por apresentarem naturalmente grande variabilidade espacial e temporal de seus atributos, a mudança por diferentes usos e práticas de manejo do solo intensifica essa variabilidade dos solos (Lopes, 2008) gerando um aumento no grau de dificuldade na determinação de recomendações técnicas viáveis e sustentáveis a longo prazo, considerando fatores como cultura local, características de clima, aptidão do solo e rentabilidade financeira. Além destes, outro fator que a pesquisa tem intensificado discussões nos últimos anos é a qualidade do solo (QS) devido à estreita relação com a crescente degradação dos recursos naturais (Vezzani e Mielniczuk, 2009), e que, por suas condições ambientais intrínsecas, fazem do fator QS uma importante variável que deve ser obrigatoriamente considerado nos estudos de uso e manejo dos solos desta região.

O estado do Rio Grande do Sul possui como característica intrínseca a baixa produtividade de forragem no período do outono-inverno (Bandinelli et al. 2005). Tradicionalmente, a queima das pastagens com o objetivo de eliminar o material morto em virtude do rigoroso inverno é uma estratégia de

manejo destes campos amplamente utilizada pelos pecuaristas. A adoção desta técnica está no fato de haver um rápido rebrote das pastagens, devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto, esse aumento imediato da disponibilidade dos nutrientes se dá em função da rápida mineralização dos resíduos vegetais, com reflexo a curto prazo mas, tendo seus valores reduzidos aos seus originais ou mesmo inferiores a estes, dependendo das condições ambientais (Santana, 2010).

Em função das diferentes estratégias de manejo das pastagens e sua migração para sistemas de produção agrícola de grãos e silvícolas, as alterações pedoambientais na região dos CCS necessitam ser melhor compreendidas por estudos complementares aos já existentes. Torna-se, portanto, necessário determinar quais os impactos sobre a disponibilidade de nutrientes no solo, quantidade e qualidade da MOS e sobre sua estrutura física para que este importante ecossistema mantenha-se sustentável, continuando a contribuir de forma importante na economia local e regional.

2.2 Alterações pedoambientais por diferentes manejos das pastagens

A principal atividade econômica praticada sobre as áreas de pastagens nos CCS é a pecuária extensiva. A pecuária de corte tem sua produtividade dependente diretamente da qualidade dessas pastagens, as quais apresentam flutuações estacionais na composição e concentração dos nutrientes disponíveis (Wunsch, 2005). A produção e qualidade das gramíneas atingem seu ápice nas estações de primavera e verão porém, no período de inverno ficam envelhecidas e crestadas, pois tem seu potencial limitado por geadas, não suprimindo assim as necessidades nutricionais dos animais (Ferreira et al., 2008).

Com o objetivo de manter e melhorar os índices de produtividade, os campos são queimados anualmente ao fim do inverno. A prática do uso do fogo incide sobre a vegetação desde tempos remotos, sendo utilizada para os mais diversos fins, como na abertura de novas áreas agrícolas, no controle de pragas de pastagens e lavouras e para eliminar as sobras de pasto envelhecidas (Heringer e Jacques, 2002a). A adoção em larga escala desta

prática se dá em função de fatores como cultura local, baixo custo e rapidez na execução e no tempo de retorno dos resultados, pois é possível constatar o início do rebrote da pastagem queimada após poucos dias de realizado o manejo.

A variabilidade das espécies de que compõem os campos nativos é alterada significativamente quando a vegetação é submetida à queima. As repetidas queimadas tendem a simplificar a composição botânica das pastagens nativas, pois suas substâncias de reserva sofrem esgotamento, persistindo ao fogo somente aquelas mais resistentes, as quais nem sempre possuem o maior potencial produtivo na vegetação original (Evangelista et al., 1999).

No entanto, a literatura mostra muita controvérsia em relação aos efeitos do fogo sobre as propriedades químicas do solo. Em áreas onde a prática da queima é realizada de forma sistemática, a quantidade e a composição dos nutrientes dependem do regime das queimadas. Dados de pesquisas indicam que, em curto prazo, há tendências de elevação do pH (Heringer et al., 2002), aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo disponível, cálcio e magnésio (Moore, 1960) e maior capacidade de retenção de água (Mallik et al., 1984). Entretanto, em longo prazo, a fertilidade do solo é reduzida nas áreas manejadas com fogo, mostrando aumento da acidez potencial do solo e diminuição dos teores de macronutrientes, conforme verificado por Heringer et al. (2002) em áreas manejadas com fogo há 24 anos.

As condições físicas do solo também são afetadas pelo uso do fogo. Logo após o fogo, a vegetação que protege a superfície do solo contra os agentes erosivos é reduzida. A redução da cobertura vegetal aumenta o impacto das gotas da chuva sob a superfície do solo, causando a dispersão de partículas, o selamento superficial do solo e, conseqüentemente, reduzindo a taxa de infiltração de água e aumentando o escoamento superficial. O fogo afeta também as substâncias hidrofóbicas que são formadas durante a queima, formando substâncias cimentantes na camada subsuperficial do solo (Giovannini et al., 1987), podendo resultar na formação de camadas repelentes à água, aumentando o potencial de perdas por erosão (Macedo, 1995).

Na ciência do solo, tem sido expressivo o interesse no entendimento do efeito de sistemas de uso e manejo do solo sobre a dinâmica e qualidade da

matéria orgânica do solo (MOS) (Conceição et al., 2007). Em função da remoção da vegetação nativa do solo e seu cultivo posterior, grande parte da MOS foi afetada, sendo sua fertilidade severamente reduzida (Alves et al., 2008). No caso das pastagens nativas, diversos estudos evidenciam a grande capacidade de acumular C, expressando valores, em alguns casos, muito próximo aos das florestas. Lima et al. (2008), em estudos comparativos de pastagem com mata nativa e eucalipto, obtiveram, em determinados locais, valores com variação não significativa de COT entre ambientes, o que demonstra a grande capacidade de acumulação de C pelas pastagens.

A grande diversidade de espécies, clima, material de origem do solo e seu modo de uso e manejo (Noronha et al., 2010) são alguns dos componentes que dificultam o entendimento da dinâmica de produção e reciclagem da MOS. Neste sentido, é de fundamental importância entender os efeitos do uso da queima, como forma de manejo, sobre a formação e manutenção da MOS, tanto na forma de carbono orgânico total (COT) como de suas diferentes frações húmicas. O efeito do fogo no conteúdo da MOS é variável, pois sua ação depende de diversos fatores como a intensidade do fogo, tipo de vegetação, textura do solo, relevo (Knicker, 2007) e umidade. Além disso, a época/período da realização desta prática também afeta a MOS (Santana, 2010). Outros fatores, como a época do ano em que é realizada a queima, sua temperatura e intensidade bem como a composição química da vegetação queimada, alteram a composição química do produto formado (Potes et al., 2010).

Como forma de avaliar e mensurar a qualidade e quantidade da MOS, diferentes técnicas podem ser utilizadas visando determinar quais os reais efeitos dos distintos manejos, tanto sob áreas de pastagens nativa quanto nas demais formas de utilização do solo.

Pode-se considerar que a MOS contém cerca de 58 % de C, em relação à massa total (Rheinheimer et al., 2008). Assim, como forma de avaliação quantitativa, dois são os métodos utilizados para determinação do teor de COT do solo: por combustão seca e combustão úmida. Em função da rapidez e exatidão a técnica de combustão a seco é atualmente amplamente utilizada. O fracionamento químico é outra alternativa utilizada como forma de avaliar a MOS, tanto quantitativamente como qualitativamente (Castilhos et al.,

2008). As diferentes propriedades físico-químicas da matéria orgânica, como solubilidade, carga de superfície e sorção formam as bases para o processo de fracionamento químico da MOS (Santana, 2010).

De coloração escura e elevado peso molecular, as substâncias húmicas são separadas de acordo com suas características de solubilidade: Ácidos Húmicos (AH, fração extraída em meio ácido e de maior peso molecular, de coloração escura); Ácidos Fúlvicos (AF, solúvel em qualquer pH e de baixo peso molecular, fração com coloração clara); Humina (HU, fração insolúvel em qualquer pH). Em função da maior proporção de grupos funcionais, os AH e AF representam a fração mais reativa da MOS afetando diretamente as propriedades químicas do solo como capacidade de troca de cátions e complexação de metais do solo (Stevenson, 1994). A HU representa a fração mais estável da MOS, considerado a última fase na evolução das transformações ocorridas resultando numa alta interação com a matriz mineral do solo (Anjos et al., 2008).

Apesar do grande volume de informações sobre a caracterização da fração orgânica no solo muito pouco se sabe a respeito dos efeitos das formas de cultivo e manejo dos solos tropicais o que enfatiza a importância da realização deste estudo sobre o referido tema.

2.3 Produção de grãos e silvicultura na região dos Campos de Cima da Serra

A crescente demanda mundial por alimentos vem alterando a matriz produtiva em diversas regiões do mundo. Neste contexto, destaca-se o avanço em larga escala do cultivo de grãos, como a soja e o milho, na região dos CCS no Rio Grande do Sul, a qual tem seu passado baseado na pecuária de corte extensiva. Algumas tecnologias desenvolvidas já são aplicadas em larga escala pelos produtores como sistema de plantio direto (SPD) e a integração lavoura pecuária (ILP). Entretanto, em algumas situações bem específicas, formas de produção de alto potencial de degradação ambiental ainda são constatadas na região dos CCS, como é o caso do cultivo de grãos em sistema de preparo convencional do solo (SPC).

Em condições de pastagem natural, os teores de COT se mantêm

estáveis ao longo do tempo mantendo um equilíbrio entre o carbono adicionado pelas plantas e o carbono perdido (Nicoloso et al., 2008). Entretanto, quando ocorre a migração da pastagem nativa para o SPC grande parte dos estoques de carbono é perdido em função dos processos de aração e gradagem. Os processos que geram transformações do carbono orgânico afetam também os diversos processos físicos, químicos e biológicos do solo (Martins et al., 2009).

Estudos comparativos sob diferentes manejos do solo indicam perdas expressivas de carbono orgânico no SPC. Leite et al. (2003), em estudos de longa duração (16 anos) com a cultura do milho, constataram que o revolvimento do solo foi a principal fonte geradora de perdas de COT, devido a intensificação da atividade biológica, pela modificação do ambiente dos microorganismos, acelerando o processo de degradação do material vegetal por diferentes mecanismos (quebra de agregados, oxidação, aumento da temperatura). Soma-se, a este, as perdas atribuídas pelos processos de erosão do solo.

As mudanças no uso e manejo do solo afetam também os elementos químicos do solo. O fósforo é um nutriente com a capacidade de limitar a produtividade das plantas (Cessa et al., 2009) ocorrendo baixos teores, naturalmente, de fósforo disponível em regiões tropicais (Oliveira et al., 2002). Nos latossolos altamente intemperizados, seu caráter-dreno determina uma alta adsorção de P, pois sua capacidade-tampão de P (FCP) é muito superior ao caráter-fonte (Novais e Smyth, 1999), o que explica a necessidade da aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados como forma de suprir a necessidade das culturas.

Algumas características relacionadas ao manejo do solo podem interferir na disponibilidade do P para as culturas, como o teor de matéria orgânica e quantidade de biomassa microbiana. Segundo Afif et al. (1995), os ácidos orgânicos recobrem a superfície dos minerais, diminuindo a ASE e, conseqüentemente, a adsorção de P. Em relação a biomassa microbiana, esta atua no processo de reciclagem da MOS em compartimentos com expressivas quantidades de P potencialmente disponíveis para as plantas (Mendonça & Oliveira, 2000). Avaliações dos teores de P disponível em diferentes profundidades e em diferentes manejos do solo concluíram que a fração de P orgânico no campo nativo na camada superficial do solo foi superior ao sistema

plantio direto e ao cultivo convencional do solo (Rheinheimer et al, 1998). Os autores atribuíram a alta ciclagem do nutriente devido a elevada taxa de renovação do sistema radicular das espécies, pois não houve adição de fertilizantes fosfatados nos solos avaliados.

Por haver maior concentração de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo é neste local que se evidencia seus efeitos sobre a adsorção do fósforo. Em condições em que o teor de matéria orgânica é muito baixo, seus efeitos são insignificantes ou desprezíveis, sendo a capacidade adsorptiva do fósforo influenciada com maior relevância pelos constituintes inorgânicos do solo (Almeida et al., 2003).

Portanto, evidencia-se a necessidade de entender a dinâmica de adsorção do P nos solos intemperizados, pois, além de determinar parâmetros para a recomendação adequada de fertilizantes a serem utilizados em culturas anuais e perenes, danos ao meio ambiente podem ser evitados.

Outra importante alteração no setor agrícola da região dos CCS vem ocorrendo em função do plantio de espécies florestais em larga escala, especialmente com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. A expansão florestal nesta região ocorre, em sua grande maioria, em áreas de pastagem nativa, ecossistema com rica biodiversidade e que ainda demanda de estudos devido ao pouco conhecimento sobre esta biodiversidade (Mafra et al., 2008).

Um fator preponderante que influenciou a expansão do pinus nos CCS foi a boa adaptabilidade edafoclimática (Ferraz e Motta, 2000), pois a cultura tem como característica a alta demanda por água e baixa exigência em fertilidade e condições físicas do solo.

Devido ao seu papel socioeconômico, a silvicultura com espécies exóticas exerce um importante papel no Brasil, pois é fonte de matéria-prima para produção de madeira, lenha, carvão e celulose, mercado este globalizado com alta demanda e déficit de oferta por matéria prima. A intensificação na fiscalização e controle dos órgãos ambientais sobre as áreas de floresta nativa diminuiu ainda mais a oferta de produtos madeireiros. Além da proibição da extração de madeira de florestas nativas objetivando o comércio, o cumprimento da obrigatoriedade sobre a manutenção de áreas de preservação permanente (APPs) e reserva legal (RL) nas propriedades rurais, independentemente de seu porte, é outro fator determinante na redução da

oferta de matéria prima florestal.

Do ponto de vista edáfico, o uso do solo com a cultura do pinus altera significativamente sua dinâmica nutricional e da MOS (Mafra et al., 2008). Quimicamente, o resíduo vegetal do pinus é diferente em comparação à pastagem nativa (Dick et al., 2007) resultando numa maior retenção de nutrientes minerais em quantidades consideráveis na serrapilheira pois são resíduos de lenta degradação no solo devido aos maiores teores de compostos fenólicos e ligninas estruturais (Carvalho et al., 2008). Outro fator preponderante na decomposição da serrapilheira do pinus são os invernos rigorosos na região dos CCS, pois causam uma menor atividade biológica no solo devido às baixas temperaturas, retardando a degradação das acículas.

O sistema radicular é outra variável a ser considerada na dinâmica da ciclagem do carbono e de nutrientes no solo. Diferentemente da pastagem nativa, o pinus apresenta um sistema radicular permanente e profundo absorvendo elementos das camadas subsuperficiais e retornando-os à superfície pela deposição da serrapilheira (Haag, 1985).

Conforme a revisão proposta, os impactos ambientais causados pelas ações antrópicas devido às alterações geradas pelas distintas formas de uso e manejo das pastagens nativas da região dos Campos de Cima da Serra devem ser melhor entendidas pois, notoriamente, há alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas sob o equilíbrio e sustentabilidade do sistema solo.

3. HIPÓTESES

De acordo com o tema proposto, as hipóteses elaboradas para esta pesquisa, quando avaliados os efeitos de diferentes sistemas de uso e manejos do solo na região dos Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul, são as seguintes:

- ações antrópicas sobre ambientes de campos e florestas nativas alteram os atributos químicos do solo e a área superficial específica, com reflexo na adsorção de fósforo.

- ações antrópicas sobre ambientes de campos e florestas nativas alteram a dinâmica da matéria orgânica do solo em suas diferentes partições;

4. OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar as alterações na camada superficial do solo determinadas por diferentes sistemas de uso e manejo sobre atributos químicos e físicos e na matéria orgânica do solo em áreas de pecuária, produção florestal e de lavoura de grãos comparativamente a áreas de campo nativo e floresta nativa.

Os objetivos específicos são:

- identificar e caracterizar a composição mineralógica do solo em estudo;
- avaliar os atributos químicos do complexo sortivo do solo sob diferentes usos e manejos;
- determinar o teor de carbono total do solo e das frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes usos e manejos;
- determinar a área superficial específica e a capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo sob diferentes usos e manejos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição da área de estudo, seleção dos ambientes e amostragem do solo

A pesquisa foi realizada no município de André da Rocha (28°38'S, 51°34'O) na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra do Estado do Rio Grande do Sul, localizado a 700 m acima do nível do mar. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa com temperatura média anual de 14,1°C e precipitação de 2470 mm ano⁻¹, apresentando as quatro estações do ano bem definidas, com invernos rigorosos e verões amenos. Apresenta um relevo de Planalto em que predominam as coxilhas levemente onduladas em sua maior parte, com uma pequena área mais acidentada próxima ao Rio Turvo. Os solos são desenvolvidos de basaltos da Formação Serra Geral, apresentando textura argilosa e, em sua maioria, são classificados como Latossolos Vermelhos distroféricos típicos (Streck et al., 2008).

A vegetação das áreas de campo nativo é constituída principalmente por espécies das famílias Poaceae, Asteraceae e Fabaceae, totalizando estas três famílias 70% das espécies identificadas (Heringer et al., 2000). Nas matas nativas, predominam as espécies das famílias Myrtaceae, Lauraceae, Aqüifoliaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Rutaceae, Cunnoniaceae, Myrcinaceae, Sapindaceae, Solanaceae e Symplocaceae.

Os ambientes selecionados para as avaliações constaram de: (i) mata nativa (MN); (ii) campo nativo (CN), com tempo estimado de 43 anos de manutenção de sua condição natural; (iii) campo nativo queimado (CNq), com frequência anual de queima pós inverno realizado em um período acima de 100 anos; (iv) lavoura (LA), cultivada há quarenta anos sob sistema de preparo convencional com utilização da sucessão anual soja / aveian / azevém / milho

silagem, sendo a cada 4 anos realizada calagem de acordo com as recomendações técnicas; (v) reflorestamento (FP), com cultivo de *Pinus elliottis* estabelecido há 18 anos sobre campo nativo manejado com queima pós inverno.

Em cada ambiente foi, selecionada uma área representativa de 50 x 50 m em posição semelhante na paisagem e, aleatoriamente, foram demarcados três locais para a abertura de trincheiras de aproximadamente 0,5 x 0,5 m de superfície e 1,0 m de profundidade. De cada uma das trincheiras foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-0,025, 0,025-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,40-0,60 metros.



FIGURA 1. Áreas amostradas georreferenciadas. CN: Campo Nativo; CNq: Campo Nativo Queimado; LA: Lavoura; FP: Florestamento de pinus; MN: Mata Nativa. FONTE: Google Earth, 2006

5.2 Preparação das amostras

As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar em casa de vegetação, moídas e peneiradas em malha de 2 mm para posterior armazenamento desta fração de solo denominada de terra fina seca ao ar (TFSA).

Para separar a fração argila do solo, fração com diâmetro de partícula menor que 0,002 mm, utilizou-se um método físico, onde as partículas do solo foram dispersas por ultra-som e, após, coletou-se as partículas de argila por sedimentação. O equipamento de ultra-som utilizado foi um Vibracel, marca SONICS, modelo VC 750, com uma sonda de 136 mm de comprimento e 13 mm de diâmetro. Este método baseia-se em transformar energia elétrica em vibrações mecânicas pelo contato direto da sonda com a amostra. Este processo gera a formação de bolhas de ar, também denominado de cavitação, que gera uma fina desagregação do solo dispersando estas partículas. Para a determinação da correta energia a ser utilizada no equipamento para a dispersão total das partículas, foi realizada uma curva de calibração em suspensões de 20 g de TFSA e 80 mL de água destilada. O ponto de estabilização da curva de calibração corresponde ao ponto em que ocorre a máxima dispersão de argila (Figura 2). A energia necessária para dispersão de 99% das partículas de argila deste solo foi determinada pela equação $y = a(1 - e^{-bx})$.

O resultado obtido foi de 510 J mL⁻¹ para extrair 604 g kg⁻¹ de solo. Concluído o cálculo da energia de dispersão e, após, a calibração do equipamento, realizou-se a dispersão das amostras e, posteriormente, a coleta de argila por sifonamento em provetas de 1 L, após sedimentação da areia e do silte de acordo com a Lei de Stokes. A argila em suspensão foi floculada com HCl 1 mol L⁻¹, lavada duas vezes em solução de etanol a 50 %, seca em estufa a 60 °C, moída em gral de ágata e acondicionada em frascos plásticos.

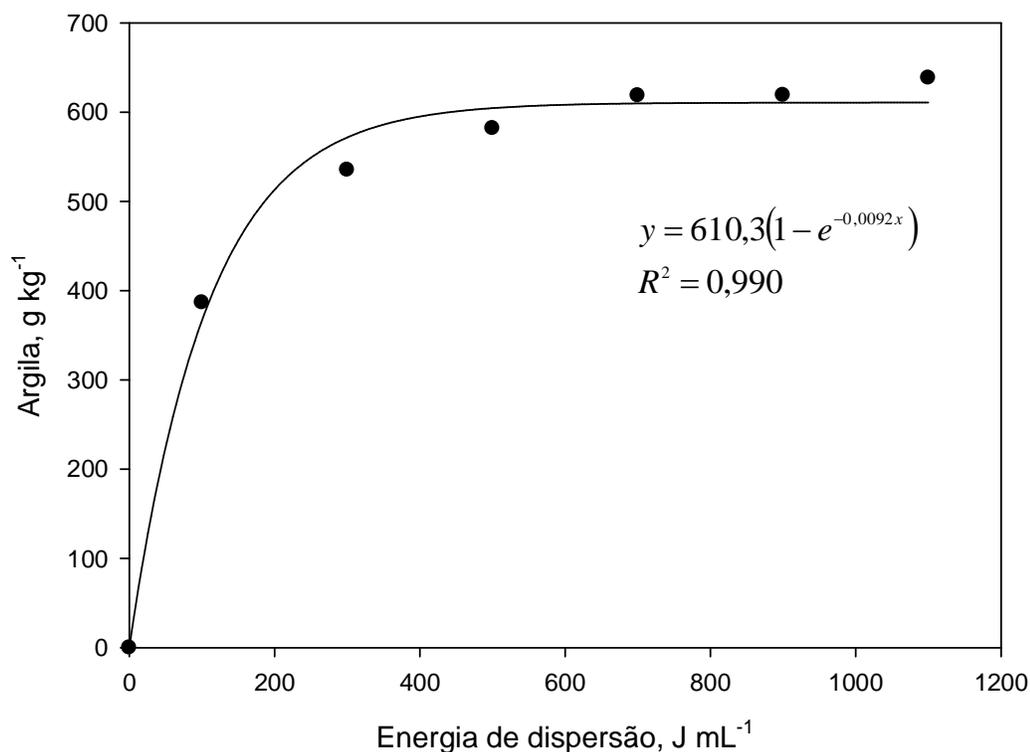


FIGURA 2. Curva de dispersão da fração argila para Latossolo Vermelho distroférico típico.

5.3 Análise dos atributos químicos

As análises químicas na fração TFSA das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo da Faculdade de Agronomia/UFRGS segundo métodos constantes em Tedesco et al. (1995) para os seguintes componentes: pH em H₂O e índice SMP, Ca, Mg, K, Na e Al trocáveis, acidez efetiva, acidez potencial e P (Mehlich). A partir destes, foram calculados os valores de soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC_{pH 7,0}), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

5.4 Determinação da área superficial específica

A área superficial específica (ASE) da fração TFSA foi estimada pelo método de adsorção de água (Quirk, 1955) em amostras das camadas 0-0,05 m. Amostras de 1,0 g de TFSA foram colocadas em vidros pesa filtro previamente pesados. As amostras foram submetidas a uma atmosfera de 0 %

de umidade (UR = 0%) pelo período de 12 dias em dessecadores contendo pentóxido de fósforo, sendo posteriormente pesadas. Após, pelo mesmo período, as amostras foram submetidas a uma atmosfera de 20 % de umidade (UR = 20%) em dessecadores contendo acetato potássico, sendo posteriormente novamente pesadas. Considerando que 1 molécula de água recobre $0,108 \text{ nm}^2$, calculou-se a ASE conforme a seguinte equação:

$$\text{ASE } \text{m}^2 \text{ g}^{-1} = n^\circ \text{ Avogadro } (6,02214 \times 10^{23}) \times 0,108 \text{ nm}^2 \times (\text{g água adsorvida/g amostra})$$

5.5 Carbono orgânico total e fracionamento químico da matéria orgânica do solo

O teor de C orgânico total do solo foi realizada em amostras de 3,0 gramas de solo da fração TFSA, após moagem em gral de ágata ($\emptyset < 0,1 \text{ mm}$), por combustão seca em analisador de carbono SHIMADZU TOC-V.

O fracionamento químico da matéria orgânica do solo foi realizado segundo metodologia proposta por Dick et al, 1998 (Figura 3). Após preparo das amostras TFSA, separou-se uma alíquota com massa de 1,0 g de TFSA acondicionada em tubo plástico de 50 mL. Nestes, foram adicionados 20 mL de solução HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e procedeu-se agitação por 2 horas em agitador horizontal. Após centrifugação (1529 g, 15 minutos), o extrato ácido foi separado e o procedimento foi repetido mais duas vezes, determinando-se ao final o volume total das três extrações. Nas amostras remanescentes, foram efetuadas as extrações com 30 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ sob agitação (3 horas) até o sobrenadante ficar incolor (4 a 7 extrações). O extrato alcalino contendo as substâncias húmicas solúveis (SHs) teve seu volume medido, do qual foi retirada uma alíquota (10 mL) para posterior análise de C. O restante do extrato alcalino foi acidificado a pH 2,0 com HCl 4 mol L^{-1} , deixado em repouso por 24 horas e, após, centrifugado para separação dos ácidos fúlvicos (AF - sobrenadante) e ácidos húmicos (AH - precipitado). O volume do extrato de AF foi medido e uma alíquota de 10 mL foi retirada para análise de C. Para quantificação dos teores de carbono no extrato ácido (C_{HCl}), no extrato das substâncias húmicas solúveis (C_{SHs}) e no extrato de ácidos fúlvicos (C_{AF}) realizou-se a oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio ácido à

60°C, durante 4 horas. Após, determinou-se a absorbância em 580 nm (Shimadzu – UV-160 A) no laboratório de manejo do solo do Departamento de Solos/UFRGS. Utilizou-se a equação: $C_{AH} = C_{SHs} - C_{AF}$ para calcular o teor de C do solo referente aos ácidos húmicos (C_{AH}). Obteve-se o teor de C relacionado na forma de huminas (C_{HU}) pela fórmula: $C_{HU} = C - (C_{SHs} + C_{HCl})$, onde C é o teor de carbono total do solo. Neste cálculo, a fração leve, presente na determinação de C total do solo e que é separada no tratamento com HCl, pode levar a uma superestimação de C_{HU} .

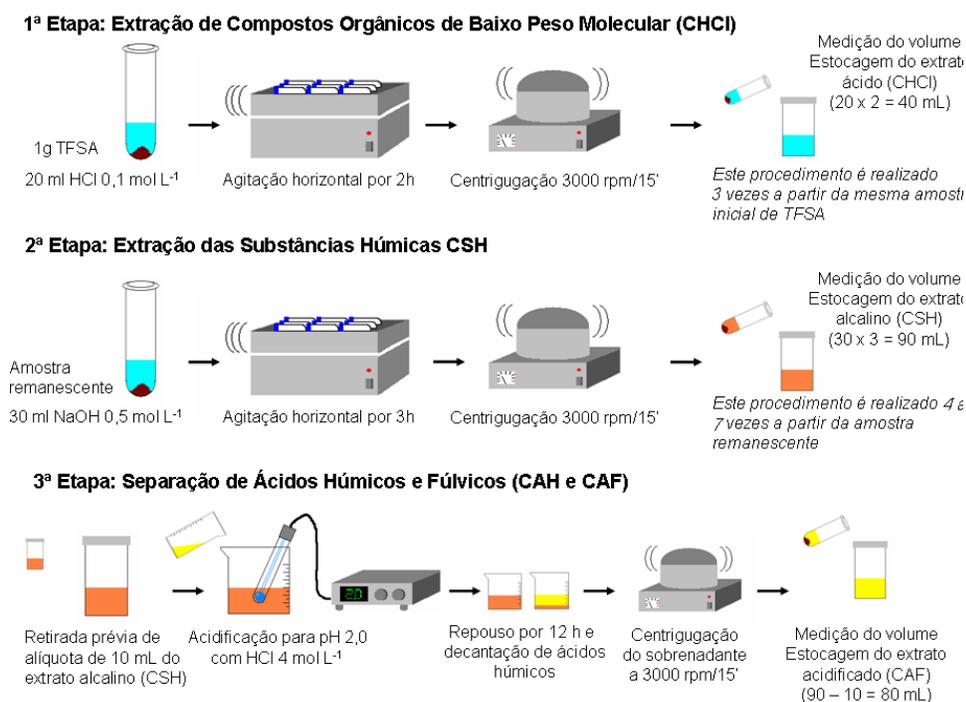


FIGURA 3. Fluxograma do fracionamento químico da matéria orgânica do solo.
Fonte: Silva Neto (2006).

5.6 Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP)

As isotermas de adsorção de fósforo foram realizadas em amostras da fração TFSA, nas camadas de 0-0,05 m segundo metodologia de Fontes et al. (1996). As isotermas foram construídas com seis soluções de fosfato de potássio (KH_2PO_4) nas concentrações de 0, 10, 20, 40, 80 e 160 mg P L⁻¹ em KCl 0,02 mol L⁻¹. Em tubos plásticos de centrífuga de 50 mL, adicionou-se 0,1 g de argila e 10 mL de solução de P (6 amostras com solução nas 6 diferentes concentrações), mantendo a proporção 1:100. Após, os tubos foram agitados

por 2 horas e em seguida centrifugados a 3000 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante foi analisado para P, conforme Murphy e Riley (1962). Obteve-se a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP ou Pmax) pelo ajuste dos valores de P solução e P adsorvido à equação de Langmuir.

5.7 Análise mineralógica

A identificação e análise qualitativa da composição mineralógica da fração argila do solo foi realizada por difratometria de raios X (DRX) (Difratômetro Siemens D 5000, com radiação de $\text{CuK}\alpha$ e filtro de Ni, em voltagem de 40 kV e corrente de 25 mA) em amostra representativa da camada superficial (0-0,20 m) do Latossolo Vermelho. As análises foram efetuadas em lâminas não orientadas da fração argila desferrificada com DCB (intervalo de 2 a $72^\circ 2\theta$) e da fração óxidos de ferro concentrada (intervalo de 15 a $50^\circ 2\theta$). A concentração dos óxidos de ferro foi obtida por tratamento da fração argila com solução de NaOH 5 mol L⁻¹ a quente (Kämpf e Schwertmann, 1982). A razão gibbsita/(gibbsita+caulinita), $\text{Gb}/(\text{Gb}+\text{Ct})$, foi calculada segundo a relação entre a área (A) das reflexões Gb (002) e Ct (001): $\text{AGb}/(\text{AGb}+\text{ACt})$ (Inda Junior e Kämpf, 2005). A razão goethita/(goethita+hematita), $\text{Gt}/(\text{Gt}+\text{Hm})$, foi estimada por meio do cálculo da área das reflexões Gt (110) e Hm (012), multiplicando-se a área da reflexão Gt (110) por 0,30, uma vez que a intensidade da reflexão Hm (012) é de 30% (Inda Junior e Kämpf, 2005).

5.8 Análise estatística

Análises de correlação de Pearson entre os parâmetros avaliados, análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SAS for Windows 9.0.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Mineralogia da fração argila

A composição mineralógica da fração argila desferrificada do solo apresentou, com base na intensidade das reflexões nos difratogramas de raios X, uma dominância do argilomineral caulinita (0,726; 0,447; 0,356; 0,256; 0,234; 0,167; 0,149 nm) associada a quartzo (0,335 nm) e cristobalita (0,404 nm) (Figura 4). Na fração óxidos de ferro concentrada, predominam os óxidos goethita (0,417; 0,266; 0,243; 0,220 nm) e hematita (0,366; 0,269; 0,251; 0,220; 0,184 nm) (Figura 5), com uma pequena predominância do primeiro, conforme a razão $Gt/(Gt+Hm)=0,60$.

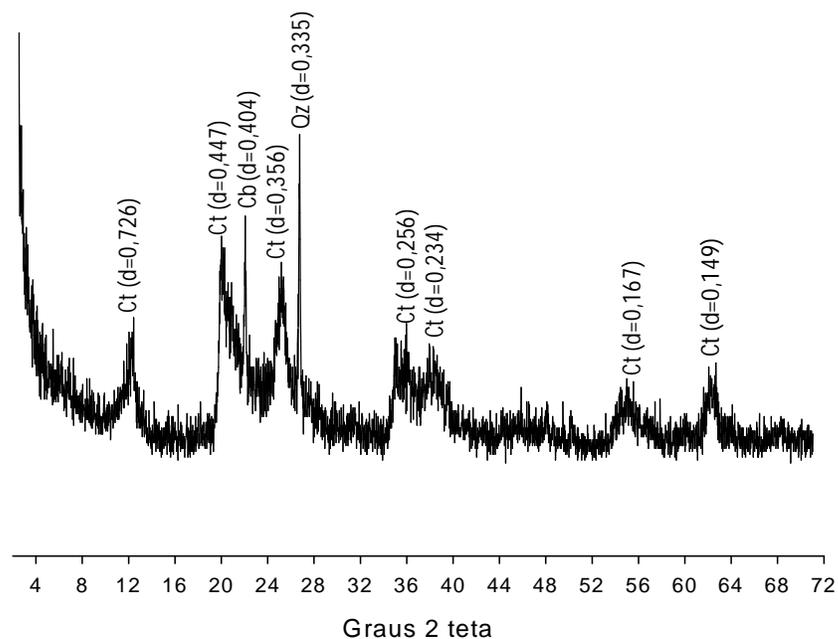


FIGURA 4. Difratograma de raios X da fração argila desferrificada da camada superficial do Latossolo Vermelho. Ct-Caulinita; Cb-Cristobalita; Qz-Quartzo; Gt-Goethita; Hm-Hematita. Espaçamentos d em nm.

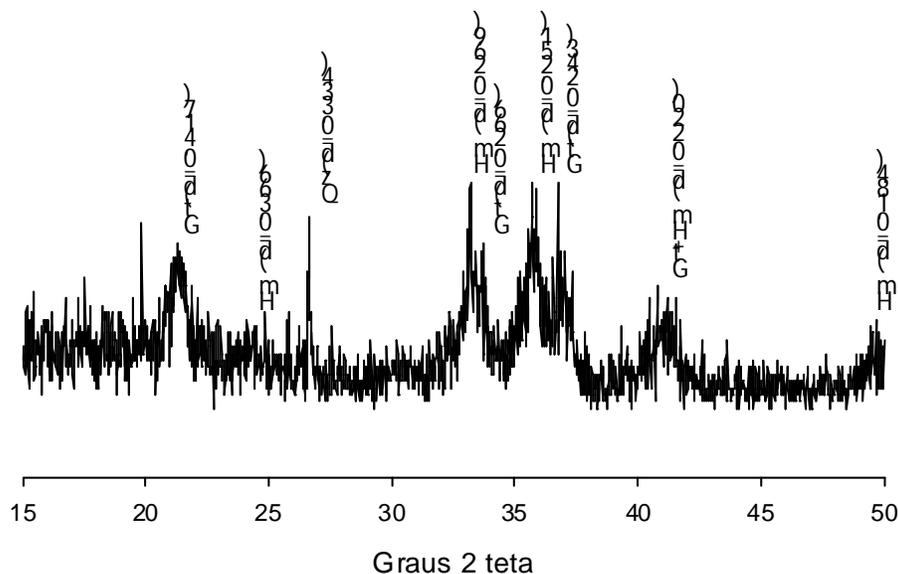


FIGURA 5. Difratograma de raios X da fração óxidos de ferro concentrada da camada superficial do Latossolo Vermelho. Ct-Caulinita; Cb-Cristobalita; Qz-Quartzo; Gt-Goethita; Hm-Hematita. Espaçamentos d em nm.

6.2 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos na camada superficial do solo sob os diferentes usos e manejos são apresentados na Tabela 1 e nos Apêndices 1 a 12. As análises de correlação entre os teores de carbono orgânico total e valores de pH com os demais atributos químicos são mostradas na Tabela 2.

O ambiente campo nativo (CN) foi considerado como o ambiente original representativo das condições naturais da região, uma vez que a expansão das florestas sobre os campos é um processo relativamente recente (1.100 anos) (Overbeck et al., 2007). O solo sob uso com CN apresentou reação ácida, com valores de pH em água muito baixos variando entre 4,8 e 4,5 nas camadas avaliadas. A desaturação foi expressa pelos baixos valores de soma de bases ($0,8 \leq S \leq 6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e saturação por bases ($3 < V < 34$ %), os quais aumentam em superfície devido à biociclagem. A intensa lixiviação dos cátions básicos fez com que estes fossem substituídos no complexo de troca por cátions de natureza ácida como Al e H (Sousa, 2007), conforme mostraram os altos teores de Al trocável ($1,9 \leq Al_{\text{troca}} \leq 5,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e a saturação por Al ($23,4 < m < 76$ %).

TABELA 1. Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN)

Ambientes	Profundidade (m)					
	0-0,025	0,025-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,40-0,60
pH (H₂O)						
CN	4,8 bc	4,7 c	4,7 c	4,7 bc	4,6 bc	4,7
CNq	5,8 a	5,3 b	5,1 b	5,0 b	5,0 b	---
LA	5,6 a	5,6 a	5,8 a	5,8 a	5,6 a	5,3
FP	4,5 c	4,6 c	4,5 c	4,5 c	4,6 bc	5,3
MN	5,1 b	4,8 c	4,7 c	4,6 c	4,5 c	4,8
CV%	3,5	1,9	2,8	2,6	3,3	
K (cmol_c dm⁻³)						
CN	0,94 a	0,79 ab	0,64 a	0,49 a	0,31 a	0,28
CNq	1,02 a	1,02 a	0,72 a	0,43 a	0,23 a	---
LA	0,32 c	0,17 c	0,10 b	0,07 b	0,05 a	0,04
FP	0,09 d	0,07 c	0,07 b	0,06 b	0,04 a	0,03
MN	0,71 b	0,58 b	0,40 ab	0,29 ab	0,27 a	0,53
CV%	13,1	26,7	34,9	44,8	56,8	
Ca (cmol_c dm⁻³)						
CN	3,0 b	2,5 ab	1,4 a	1,1 b	0,7 b	0,3
CNq	6,6 b	3,7 ab	2,5 a	1,7 b	1,3 b	---
LA	7,0 b	6,9 ab	7,7 a	7,6 a	4,6 a	1,5
FP	1,5 b	0,7 b	0,5 a	0,5 b	0,4 b	0,3
MN	17,9 a	11,0 a	5,3 a	1,3 b	0,6 b	0,4
CV%	44,5	68,4	77,9	24,3	46,8	

TABELA 1. Continuação...

Mg (cmol_c dm⁻³)						
CN	2,4 bc	2,0 b	1,1 b	0,8 bc	0,5 b	0,2
CNq	4,6 a	2,8 ab	1,8 b	1,1 b	0,8 b	---
LA	4,2 ab	3,8 a	3,9 a	3,8 a	2,8 a	1,3
FP	0,8 c	0,5 c	0,5 b	0,3 c	0,2 b	0,2
MN	4,9 a	3,5 a	2,1 b	1,1 b	0,6 b	0,3
CV%	20,5	19,2	32,7	19,8	40,4	
Al (cmol_c dm⁻³)						
CN	1,9 b	3,2 b	4,2 ab	4,8 a	5,2 a	5,5
CNq	0,1 c	1,0 c	1,7 bc	2,3 b	2,6 b	---
LA	0,1 c	0,4 c	0,0 c	0,0 c	0,5 c	1,7
FP	5,3 a	5,2 a	5,6 a	5,7 a	5,0 a	3,3
MN	0,3 c	1,0 c	2,6 bc	5,2 a	5,8 a	5,5
CV%	24,3	29,9	38,4	15,5	9,8	
CTC_{pH 7,0} (cmol_c dm⁻³)						
CN	18,6 c	20,9 ab	20,2 ab	21,3 ab	21,7 a	20,2
CNq	18,4 c	14,8 c	13,4 c	12,7 b	12,8 b	---
LA	16,8 c	16,5 bc	15,9 bc	15,2 ab	11,5 b	10,6
FP	25,1 b	23,9 a	23,7 a	23,0 a	21,6 a	12,8
MN	30,4 a	24,1 a	19,7 ab	24,6 a	23,5 a	23,0
CV%	8,4	8,1	10,3	19,0	13,7	
Soma de Bases (cmol_c dm⁻³)						
CN	6,3 bc	5,3 ab	3,1 b	2,5 bc	1,5 b	0,8
CNq	12,3 b	7,5 ab	4,9 ab	3,3 b	2,3 b	---
LA	11,5 bc	10,9 ab	11,7 a	11,4 a	7,5 a	2,8
FP	2,4 c	1,3 b	1,1 b	0,9 c	0,6 b	0,5
MN	23,5 a	15,1 a	7,8 ab	2,7 bc	1,4 b	1,2
CV%	30,9	46,1	55,1	19,8	41,0	

TABELA 1. Continuação...

Saturação por Bases (%)						
CN	33,9 b	25,6 bc	16,2 b	11,8 c	6,8 bc	3,9
CNq	66,7 a	50,5 ab	37,2 ab	25,9 b	17,8 b	---
LA	68,4 a	66,2 a	73,8 a	75,1 a	64,0 a	26,7
FP	9,5 b	5,5 c	4,5 b	4,2 c	3,0 c	4,2
MN	76,4 a	61,4 ab	40,6 ab	12,4 c	6,1 bc	5,4
CV%	18,4	32,3	51,3	17,6	27,4	
Saturação por Al (%)						
CN	23,4 b	37,8 b	58,8 ab	66,0 a	78,0 a	87,6
CNq	1,1 c	12,0 c	25,4 bc	41,8 b	54,0 b	---
LA	0,6 c	3,3 c	0,0 c	0,0 c	7,1 c	37,5
FP	69,2 a	79,8 a	84,1 a	86,0 a	88,6 a	86,1
MN	1,5 c	8,4 c	33,0 bc	66,1 a	80,3 a	81,7
CV%	15,7	24,7	38,4	14,5	13,6	
P (mg dm⁻³)						
CN	5,6 b	4,0 b	3,7 a	2,9 a	2,2 ab	1,6
CNq	6,7 b	3,4 b	2,9 a	2,5 a	2,2 ab	---
LA	18,0 a	15,5 a	10,4 a	3,7 a	2,5 a	2,3
FP	3,7 b	3,0 b	3,0 a	2,3 a	2,0 b	2,7
MN	10,5 b	7,1 b	5,4 a	3,1 a	2,6 a	2,4
CV%	29,4	42,6	56,2	19,8	8,9	

pH em água; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; P: fósforo; CV: Coeficiente de Variação (%)
Média seguidas da mesma letra na coluna não difere estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5%.

TABELA 2. Valores de “r” e “p” das análises de correlações lineares do COT e pH_{H2O} com os atributos químicos soma de bases (S), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), cálcio (Ca), capacidade de troca de cátions (CTC), magnésio (Mg), alumínio trocável (Al_{troc.}), potássio (K) e fósforo (P).

		COT	pH_{H2O}	S	V	m	Ca	CTC	Mg	Al_{troc.}	K	P
COT	r	1,0000	0,0561	0,7081	0,4598	-0,4764	0,6827	0,4241	0,6025	-0,3854	0,6180	0,3617
	p		0,6055	0,5412	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0002	<,0001	0,0006
pH_{H2O}	r	0,0562	1,0000	0,5412	0,7644	-0,7481	0,4635	-0,5735	0,7191	-0,8319	0,0333	0,4623
	p	0,6055		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,7593	<,0001

r: coeficiente de correlação de Pearson; p: probabilidade

A alta capacidade de troca de cátions a pH 7 em todas as camadas ($18,6 < \text{CTC}_{\text{pH}7} < 21,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) está associada positivamente ao conteúdo de matéria orgânica nesse ambiente ($p < 0,001$) e negativamente ao pH do solo ($p < 0,001$) (Tabela 2), conforme verificado em outros solos altamente intemperizados (Ciotta et al., 2003; Dick et al., 2008) e pelas correlações entre essas variáveis determinadas em todas as camadas do solo nos cinco ambientes avaliados.

Os teores de fósforo disponível variaram de médio ($4,1 - 6,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) em superfície a baixo ($2,1 - 4,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) e muito baixo ($\leq 2,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) com o aumento da profundidade, refletindo o efeito da biociclagem conforme verificado para os cátions básicos. Esses atributos químicos do solo sob CN são semelhantes aos verificados em outros estudos nessa região (Heringer et al., 2002; Silva et al., 2008) e expressaram o avançado estágio de intemperização desses solos, condizente com uma composição mineralógica caulínica e oxídica, condicionado principalmente pela elevada precipitação e baixa evapotranspiração médias anuais nessa região.

O estabelecimento de mata nativa (MN) sobre os campos melhorou os níveis de fertilidade, principalmente em superfície. A análise de correlação evidencia o efeito do maior acúmulo de matéria orgânica no solo sob MN na camada 0-0,025 m com o aumento significativo da capacidade de troca de cátions. O teor de Al trocável e a saturação por Al diminuíram significativamente nas camadas mais superficiais do solo (0-0,05 m) sob MN e apresentaram tendência semelhante até 0,10 m de profundidade, embora diferença estatística não tenha sido observada em razão dos altos coeficientes de variação apresentados para este e outros atributos analisados.

De maneira inversa, também nas camadas superficiais, foram constatados incrementos significativos de Ca, Mg e, conseqüentemente, da soma de bases e da saturação por bases. Isso sugere uma ciclagem mais intensa desses elementos no ambiente MN, pela matéria orgânica acumulada na serrapilheira. Esse processo é reforçado pela tendência de aumento verificada nos teores de P disponível no solo sob MN. Por outro lado, a diminuição dos teores de K em superfície está de acordo com estudos que indicam maiores teores de K em solos sob vegetação de campos, em comparação a solos sob vegetação arbórea (Mafra et al., 2008).

A queima anual do campo (CNq) por mais de 100 anos alterou positivamente o pH na camada 0-0,10 m, com aumentos entre 0,4 e uma unidade, devido a concentração de cátions básicos mantendo uma correlação linear positiva entre eles ($p < 0,001$). Na camada mais superficial do solo (0-0,025 m), a queima aumentou significativamente o teor de Mg e a saturação por bases. Tendências semelhantes de alteração foram verificadas para os teores de Ca e K e para a soma de bases tanto na camada mais superficial como em profundidade, as quais também não se confirmaram estatisticamente devido os altos coeficientes de variação (Tabela 1).

Em adição, o regime de queima reduziu os teores de Al trocável e a saturação por Al. Esses resultados contrastam com estudos sobre a ação prolongada do fogo nas características químicas do solo, os quais em sua maioria indicam alterações negativas na fertilidade química dos solos e na qualidade das espécies vegetais (Heringer et al., 2002a; Heringer et al., 2002b; Jacques, 2003; Dick et al., 2008). Em situação semelhante a do presente estudo, comparando os atributos químicos de solo sob campo sem queima e sem roçada e sob campo manejado com queima há mais de 100 anos, Heringer et al. (2002a) observaram que a queima reduziu os teores de Mg e aumentou a acidez potencial.

Deve-se considerar, entretanto, que a amostragem do solo sob CNq foi realizada somente sete dias após a queima. Neste curto prazo, o efeito da formação de cinzas com altas concentrações de cátions básicos e P intensifica a velocidade de mineralização dos nutrientes, determinando uma maior disponibilidade destes elementos no solo para as plantas em comparação ao verificado para o CN (Coutinho, 1990; Rheinheimer, et al., 2003b). Contudo, o monitoramento do regime de queimadas por longos períodos de tempo tem mostrado que o enriquecimento do solo pelo uso do fogo é efêmero e mais restrito à camada 0-0,05 m de profundidade, com retorno às condições originais ou inferiores a elas a partir de 90 dias após a queima (Rheinheimer, et al., 2003b; Dick, et al., 2008).

Destaca-se ainda, que os efeitos benéficos de curto prazo nos atributos químicos de um solo manejado há 100 anos com queima, verificados neste estudo, foram expressivamente inferiores aqueles constatados por Rheinheimer, et al. (2003b) em uma área que vinha sendo conduzida sem

queima há aproximadamente 20 anos. Estes resultados permitem sugerir que mesmo os benefícios imediatos da queima são reduzidos conforme aumenta o tempo de manejo dos campos com o regime de queimada.

O ambiente de florestamento de pinus (FP) há 15 anos, em área de campo nativo foi, o tipo de uso do solo que alterou de maneira mais negativa o conjunto dos atributos químicos avaliados em comparação ao CN (Tabela 1). Embora não difiram significativamente, os valores de pH no FP foram em média 0,2 unidades inferiores ao do CN. Resultados similares foram obtidos em florestamentos de pinus com 8 e 30 anos, estabelecidos sob solo também originalmente muito ácido (Dick et al., 2011). Por outro lado, em áreas cultivadas há 12 e 20 anos sob solos com pH originalmente superior a 5 uma acidificação significativa do solo foi observada (Mafra et al., 2008). Este processo está relacionado a uma combinação de fatores como lixiviação, absorção de cátions básicos, bem como pela liberação de ácidos orgânicos na decomposição das acículas (Mafra et al., 2008; Silva et al., 2009).

Em comparação com a dinâmica solo-planta no solo sob CN, no FP a absorção de cátions e a lixiviação, associada à muito lenta decomposição das acículas do pinus, que não disponibiliza no curto prazo os nutrientes adsorvidos pelas árvores (Chijioke, 1980; Chaves, 2003) podem ter resultado na diminuição expressiva da soma de bases e saturação por bases, com reduções significativas, principalmente, dos teores de K e Mg.

De maneira inversa, incrementos significativos nos teores de Al e na saturação por Al foram verificados em direção às camadas mais superficiais do solo, fato associado ao aumento na solubilidade do Al com a diminuição do pH ($p < 0,001$). Ao contrário da importante absorção de cátions básicos pelo pinus, o P tem uma baixa extração na escala de retiradas totais (La Torraca, 1984), concordando com a similaridade dos teores desse elemento nos solos sob CN e FP.

No ambiente lavoura (LA), conforme esperado, o solo apresentou uma condição de fertilidade química alterada em comparação a condição original de CN (Tabela 1). Essas alterações se devem a correção da acidez do solo pela adição de calcário a cada quatro anos, bem como a fertilização química anual nos cultivos de verão (milho/soja) e, esporadicamente, das culturas forrageiras de inverno (aveia e/ou azevém). Em concordância com

essas práticas de manejo, verificou-se uma elevação homogênea dos valores de pH, para níveis superiores a 5,3, dos teores de Ca, Mg e, conseqüentemente, da soma de bases ($> 10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e da saturação por bases ($< 70 \%$).

Os teores de P disponível foram os mais elevados entre os ambientes avaliados, principalmente até a profundidade de 0,10 m. Em adição, diminuíram expressivamente os teores de Al trocável ($< 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e saturação por Al ($< 8 \%$) até a profundidade de 0,30 m. Ao contrário dos demais cátions básicos, os teores de K diminuíram significativamente no solo sob LA, possivelmente pela elevada demanda desse elemento pela cultura do milho (Costa et al., 2009b). Além disso, quando utilizado como silagem, ocorre uma exportação praticamente total do K absorvido pela cultura até esse período gerando os baixos teores do nutriente nesse ambiente.

6.3 Carbono orgânico total e dos compartimentos químicos da matéria orgânica do solo

Os teores de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos químicos da matéria orgânica do solo (MOS) sob os diferentes usos e manejos são apresentados na Tabela 3. No solo sob campo nativo (CN), os teores de COT foram altos e decresceram em profundidade, apresentando uma variação entre $56,4 \text{ g kg}^{-1}$ na camada superficial e $15,3 \text{ g kg}^{-1}$ na camada inferior. Neste ambiente, o acúmulo de C no solo foi favorecido por uma maior taxa de aporte de resíduos vegetais em comparação à taxa de degradação, bem como pela não interferência antrópica como, por exemplo, a exploração pecuária. Além disso, outro importante fator determinante do estoque original de COT no CN é o clima predominante nessa região, caracterizado por baixas temperaturas na maior parte do ano, as quais propiciam a manutenção do carbono vegetal mesmo nas estações mais quentes do ano.

TABELA 3. Teores de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), forestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambientes	Profundidade (m)					
	0–0,025	0,025–0,05	0,05–0,10	0,10–0,20	0,20–0,30	0,40–0,60
COT (g kg⁻¹)						
CN	56,4 b	40,7 b	31,7 a	28,1 a	25,3 a	15,3
CNq	55,5 b	40,5 b	33,3 a	27,3 a	22,4 ab	---
LA	28,7 b	24,6 c	22,4 b	20,4 b	18,1 b	10,8
FP	31,9 b	22,2 c	21,3 b	21,5 b	18,9 b	9,7
MN	106,4 a	58,1 a	35,2 a	26,6 a	20,8 ab	12,6
CV%	22,7	10,0	6,3	7,0	8,7	
C_{HCl} (g kg⁻¹)						
CN	2,8 a	2,9 a	2,9 a	2,9 a	3,0 b	3,5
CNq	5,7 a	7,0 a	7,2 a	8,5 a	7,6 a	---
LA	3,0 a	3,1 a	3,1 a	3,2 a	3,4 b	3,9
FP	4,3 a	4,4 a	4,1 a	4,1 a	4,1 b	4,2
MN	3,4 a	3,4 a	3,3 a	3,6 a	3,7 b	4,3
CV%	34,9	42,7	41,3	46,6	24,0	
C_{SH} (g kg⁻¹)						
CN	33,0 a	28,0 a	25,0 a	22,5 a	21,0 a	8,2
CNq	18,6 a	16,2 b	15,0 bc	15,3 a	13,9 a	---
LA	21,1 a	17,3 b	18,0 ab	17,0 a	15,0 a	8,7
FP	17,3 a	15,9 b	15,8 abc	16,2 a	15,4 a	15,4
MN	26,8 a	14,0 b	6,8 c	6,2 b	4,6 b	7,6
CV%	29,5	20,3	22,2	19,2	22,3	

TABELA 3. Continuação...

	C_{AH} (g kg⁻¹)					
CN	26,7 a	22,2 a	19,9 a	17,3 a	16,1 a	4,2
CNq	2,2 c	2,3 c	1,7 b	2,3 c	2,3 b	---
LA	18,3 ab	14,9 ab	15,9 a	14,7 a	12,6 a	6,0
FP	9,1 bc	7,9 bc	7,8 b	8,6 b	7,3 b	7,3
MN	7,6 bc	4,3 c	4,9 b	5,0 bc	2,8 b	4,9
CV%	38,7	27,5	26,2	19,4	23,6	
	C_{AF} (g kg⁻¹)					
CN	6,3 b	5,8 bc	5,0 bc	5,2 b	5,0 bc	4,0
CNq	16,4 a	14,9 a	14,8 a	13,3 a	13,7 a	---
LA	2,8 b	2,4 c	2,2 c	2,2 b	2,4 c	6,7
FP	8,2 b	8,0 b	8,0 b	7,6 b	8,1 b	8,2
MN	19,1 a	9,7 b	6,2 bc	6,0 b	4,2 bc	0,8
CV%	23,3	17,9	21,2	29,2	27,5	
	C_{HU} (g kg⁻¹)					
CN	19,7 bc	9,8 bc	3,9 b	2,6 b	1,2 b	3,7
CNq	31,2 b	17,3 b	11,1 b	5,8 b	2,6 b	---
LA	4,7 c	4,2 c	1,3 b	0,6 b	0,0 b	0,0
FP	10,2 c	1,9 c	1,7 b	1,2 b	0,5 b	0,0
MN	76,3 a	40,7 a	25,0 a	16,8 a	12,5 a	0,7
CV%	22,2	32,6	52,3	75,7	77,3	

COT: Carbono Orgânico Total; C_{HCl}, C_{SHs}, C_{AF}, C_{AH} e C_{HU} representam os teores de carbono contido nos extratos ácido, de substâncias húmicas solúveis e de ácidos fúlvicos, e os contidos sob forma de ácidos húmicos e huminas, respectivamente; CV: Coeficiente de Variação (%)

Nesta mesma região, Heringer e Jacques (2002a) avaliaram a influência de diferentes manejos da pastagem nativa sobre o aporte de forragem e material morto e destacaram o fator climático como o principal condicionante do elevado acúmulo de carbono, mesmo em épocas distintas de coleta da vegetação. A qualidade da forragem também afeta diretamente sua produção anual, pois predominam em abundância espécies de hábito ereto, as quais têm importante contribuição no acréscimo da quantidade de material vegetal produzido (Heringer e Jacques, 2002b; Overbeck et al., 2007).

O estabelecimento de mata nativa (MN) sobre os campos gerou incrementos significativos nos teores de COT na profundidade de 0-0,10 m. Isto se deve ao maior aporte de resíduos derivados da vegetação que constitui esse ambiente. Estas características ocorrem em função da grande variação de espécies vegetais, compostas por plantas rasteiras e arbóreas de grande porte, as quais determinam um alto aporte e ciclagem dos resíduos vegetais neste ambiente, corroborando com estudos de Santana (2010), que indicaram uma adição superior de carbono na mata nativa em comparação com a pastagem nativa nessa região.

No campo manejado com regime de queima (CNq), os teores de COT não apresentaram diferenças significativas em relação ao CN, tanto em superfície como em subsuperfície. Overbeck et al. (2007) também mencionam somente um pequeno impacto do fogo na quantidade de forragem produzida por pastagens nativas manejadas com queima. Por outro lado, indicam que a queima superficial das pastagens nativas tem expressivo impacto sobre a qualidade das forragens, principalmente a médio e longo prazo. Tais impactos são verificados pela infestação de espécies invasoras (Jacques, 2003), por perdas do valor nutritivo (Heringer e Jacques, 2002b) e pela uniformização de espécies vegetais (Castilhos e Jacques, 1984; Pillar e Quadros, 1997).

O ambiente LA apresentou os menores teores de COT entre todos os ambientes avaliados ($10,5 < \text{COT} < 28,7 \text{ g kg}^{-1}$), apresentando diferença significativa em relação ao CN em todas as profundidades. Esse comportamento se deve ao revolvimento do solo realizado anualmente, prática do sistema de cultivo convencional adotado neste ambiente, o qual acelera o processo de decomposição do material orgânico em função do aumento do processo de oxidação do carbono (formação de CO_2) (Silva et al., 2008a). Além

do revolvimento, fatores como a erosão e a percolação de partículas finas (Araújo et al., 1995) contribuem para o decréscimo do COT em manejos sob sistema de cultivo convencional.

No solo sob florestamento de pinus (FP), os teores de COT não diferiram estatisticamente da LA. Entretanto, esta condição foi determinada por características inerentes da cultura como alta exigência nutricional do pinus (Chaves e Corrêa, 2003), baixa taxa de decomposição das acículas em função do alto teor de lignina e de compostos fenólicos de sua estrutura (Carvalho et al., 2008; Wiesmeier et al., 2009) e pelo efeito alelopático do pinus inibindo o crescimento de outras espécies de plantas. Estudos conduzidos em florestas de pinus com diferentes idades (8 a 30 anos) também tem mostrado redução nas concentrações de carbono em comparação com o CN (Wiesmeier et al., 2009; Dick et al., 2011). Apesar de o FP apresentar um maior acúmulo de resíduos em superfície, devido a sua maior recalcitrância e tipo de composição estrutural do material vegetal, sua ciclagem e acúmulo no horizonte avaliado (horizonte A) apresentou valores abaixo daqueles determinados em pastagem nativa, corroborando com os dados desta pesquisa. Os autores atribuem ainda a falta de organismos decompositores da macrofauna do solo sobre as acículas de pinus, contribuindo assim para os baixos valores obtidos.

Em relação à matéria orgânica do solo (MOS) e seus compartimentos químicos, o teor de C_{HCl} nos diferentes ambientes variou entre 2,8 e 8,5 g kg⁻¹ (Tabela 3). No ambiente CN, o teor (C_{HCl}) e a proporção destes compostos lábeis (relação C_{HCl}/C) (Tabela 4) ao longo do perfil do solo atingiram os menores valores entre os usos avaliados. Por serem formadas a partir da atividade microbiana e da exsudação de raízes (Potes et al., 2010), essas moléculas de baixa reatividade no solo exercem pouca influência nas reações ácido-base, na complexação de metais e na agregação das partículas do solo (Silva et al., 2008b), o que pode ter contribuído na expressão dos baixos níveis de fertilidade natural desse ambiente conforme já anteriormente explicado. Para os demais ambientes (CNq, LA, FP e MN) os teores de C_{HCl} não apresentaram diferença significativa pela análise estatística. Entretanto, destaca-se um aumento gradual dos valores da relação C_{HCl}/C em profundidade no CNq e na LA. A hipótese para a ocorrência deste comportamento no CNq baseia-se em uma restrita atividade da macrofauna do

TABELA 4. Proporções dos teores de C nos compartimentos químicos em relação ao carbono orgânico total (COT) do Latossolo Vermelho em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambientes	Prof. (m)	C _{HCl} /COT	C _{SHs} /COT	C _{AF} /COT	C _{AH} /COT	C _{HU} /COT	C _{AH} /C _{AF}
----- % -----							
CN	0-0,025	5,0±1,2	59±6,2	11±2,6	47±3,7	35±5,2	4,3±0,9
	0,025-0,05	7,1±1,6	70±11	14±3,9	55±7,4	23±13,0	3,9±0,5
	0,05-0,10	9,3±1,7	79±7,4	16±7,4	62±12,1	12±7,7	4,5±2,1
	0,10-0, 20	10,0±1,6	80±6,9	19±8,2	61±2,8	9,3±8,1	3,7±1,5
	0,20-0,30	12,0±1,3	83±2,8	19±5,6	63±4,5	4,8±3,5	3,5±1,1
	0,40-0,60	22,0±0,0	53±0,0	26±0,0	27±0,0	24±0,0	1,1±0,0
Média 0-0,60 m		9,9±11	70±58	17±4,7	53±5,2	18±6,3	3,5±1,0
CNq	0-0,025	10±4,2	33±3,7	29±4,3	3,7±4,5	56±7,7	0,1±0,2
	0,025-0,05	17±9,4	39±8,0	36±1,2	5,8±3,2	43±16,7	0,2±0,1
	0,05-0,10	22±11,3	44±8,9	44±2,3	5,1±2,2	34±19,0	0,1±0,1
	0,10-0, 20	32±18,6	56±6,7	48±8,5	8,9±11,3	21±10,9	0,2±0,3
	0,20-0,30	34±9,6	62±8,9	60±4,0	10±2,9	11±12,0	0,2±0,1
	0,40-0,60	---	---	---	---	---	---
Média 0-60 cm		23±10,6	47,2±7,2	44±4,0	6,8±4,8	33±13,2	0,2±0,1
LA	0-0,025	11±2,7	73±12,9	9,9±7,3	63±6,7	15±14,9	8,4±4,2
	0,025-0,05	12±1,5	70±5,1	9,5±5,4	61±8,9	17±5,5	7,9±4,2
	0,05-0,10	14±1,4	80±6,4	9,3±5,2	71±7,2	5,4±7,3	9,3±4,6
	0,10-0, 20	16±2,0	83±4,7	10,9±5,2	72±1,1	0,9±6,9	7,5±3,1
	0,20-0,30	19±2,2	84±8,0	13±7,0	70±13,8	0,0±0,0	7,1±4,9
	0,40-0,60	36±0,0	81±0,0	25±0,0	56±0,0	0,0±0,0	1,2±0,9
Média 0-0,60 m		18±1,6	79±6,2	13±5,0	66±6,3	6,5±5,8	7,0±3,7

TABELA 4. Continuação...

FP	0-0,025	14±0,7	54±6,7	26±3,5	28±5,2	32±6,3	1,1±0,2
	0,025-0,05	20±1,6	71±9,4	36±4,3	35±5,1	8,4±8,3	1,0±0,1
	0,05-0,10	19±0,9	74±9,4	37±3,6	36±6,5	6,7±10	1,0±0,2
	0,10-0,20	19±0,7	75±2,5	35±2,6	40±1,6	5,2±2,5	1,1±0,1
	0,20-0,30	22±3,1	80±14,8	43±3,7	38±11,3	0,0±0,0	0,9±0,2
	0,40-0,60	43±0,0	158±0,0	84±0,0	74±0,0	0,0±0,0	0,9±0,0
Média 0-0,60 m		23±1,2	86±7,0	43±3,0	42±5,0	8,7±4,5	1,0±0,1
MN	0-0,025	3,1±0,3	24±7,0	18±1,1	5,9±7,3	73±7,4	0,3±0,4
	0,025-0,05	5,9±1,5	24±8,7	17±2,9	7,0±9,3	70±10,1	0,4±0,6
	0,05-0,10	9,5±3,1	20±16,1	18±4,0	14±8,3	71±19,1	0,9±0,7
	0,10-0,20	13±4,7	24±22,5	23±9,3	19±10,6	62±26,3	0,9±0,6
	0,20-0,30	17±4,3	22±20,5	20±13,1	13±11,0	60±24,2	0,6±0,4
	0,40-0,60	33±0,0	60±0,0	5,9±0,0	39±13,1	5,8±0,0	6,5±2,1
Média 0-0,60 m		14±2,3	29±12,5	17±5,1	16±9,9	57±14,5	1,6±0,8

Média ± desvio padrão (1sd), C_{HCl}/C , C_{SHS}/C , C_{AF}/C , C_{AH}/C e C_{HU}/C representam a proporção dos teores de carbono contido nos compostos de baixo peso molecular, nas substâncias húmicas solúveis, frações de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, huminas em relação ao carbono total do solo.

solo nas camadas mais superficiais, determinada pelas condições adversas de temperatura pelo fogo. Conforme a interferência do fogo sobre os microorganismos diminui ao longo do perfil, a atividade destes intensifica-se e, conseqüentemente, aumentam os teores de C_{HCl} .

Na LA, o aumento da relação C_{HCl}/C ao longo do perfil do solo pode ter sido determinado pelas suas características químicas de maior labilidade em comparação com as demais frações húmicas. Por estarem associadas com menor força à fração mineral devido ao tipo de ligação formada, por pontes de cátions de esfera externa, as partículas são transportadas com maior facilidade para as camadas mais profundas do solo, concentrando-se em profundidade (Dick et al., 1998).

Os teores de carbono das frações humificadas do solo (C_{SH}) são apresentadas na Tabela 3. O CN apresentou os maiores teores entre os ambientes avaliados ($33,0 < C_{SH} < 21,0 \text{ g kg}^{-1}$). Esses valores são decorrentes da ausência de alterações antrópicas na estrutura física do solo, característica esta de solos com MOS altamente estabilizada.

Valores de referência da relação C_{AH}/C_{AF} têm sido propostos como parâmetro de estabilidade da MOS (Kononova, 1982). De acordo com o autor, solos férteis e de ambientes temperados apresentam valores próximos ou superiores a 1. Já em ambientes tropicais composto por solos altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural expressa, em parte, pelos baixos níveis de bases trocáveis, diminuem consideravelmente a intensidade dos processos de humificação determinando seus baixos valores para esta relação, menores que 1.

Neste estudo, observa-se que sob CN os valores determinados para a relação C_{AH}/C_{AF} foram superiores a 1, em todas as profundidades (Tabela 4), apesar de quimicamente este ambiente ser classificado como de baixa fertilidade natural. Entretanto, em função da ausência de atividade antrópica e pelo clima temperado desta região obteve-se valores de MOS altamente estabilizada. Em estudos com cana-de-açúcar em um Cambissolo Háplico, Canellas et al. (2003) obtiveram valores de C_{AH}/C_{AF} menores que 1 na fração orgânica de solos tropicais, corroborando com o índice da relação C_{AH}/C_{AF} proposto por Kononova (1982). Dessa maneira, os ácidos húmicos atuam como marcadores naturais do processo de humificação, refletindo as condições

pedoambientais que estão submetidas e a forma como o solo é manejado (Canellas et al. 2003).

Inversamente ao CN, os valores da relação C_{AH}/C_{AF} no CNq foram os menores entre todos os ambientes avaliados ($0,1 < C_{AH}/C_{AF} < 0,2$ %). Por se tratar de áreas localizadas geograficamente próximas e, portanto, submetidas às mesmas condições ambientais e edáficas, as diferenças na relação C_{AH}/C_{AF} determinadas entre estes ambientes sugerem alterações geradas exclusivamente em função da prática da queima do material vegetal de superfície por longos períodos consecutivos de tempo (mais de 100 anos).

No ambiente LA, foram verificados os maiores valores para a relação de C_{AH}/C_{AF} ($1,2 < C_{AH}/C_{AF} < 9,3$ %). Apesar da menor concentração de COT na LA em relação aos demais usos, o carbono presente nesse ambiente foi o que apresentou maior estabilidade. Nesse ambiente, o aumento da relação C_{AH}/C_{AF} indicou uma maior mobilidade do carbono na forma de AF devido as suas características estruturais de maior solubilidade (Martins et al., 2009).

O teor de C_{SHs} na MN diferiu do CN a partir da profundidade de 0,05 m. Mesmo possuindo uma maior variabilidade de espécies vegetais, capaz de aportar e ciclar maiores quantidades de resíduos, os resultados apontam menores valores de C_{SHs} em subsuperfície sob MN. Na literatura, diferentes resultados são encontrados em relação a estas diferenças, mostrando solos sob pastagens com teores de C_{SHs} iguais ou superiores aos encontrados em ambientes de mata. Costa et al. (2009a) sugerem que valores mais elevados de matéria orgânica humificada decorrem do aporte constante de resíduos vegetais de melhor qualidade, o que gera uma rápida ciclagem dos resíduos pela preferência dos microorganismos em degradá-los. Os valores de C_{SHs} não diferiram estatisticamente entre os ambientes CNq, LA e FP, mas foram sempre inferiores ao CN, o que ressalta as alterações geradas pela influência dos diferentes usos e manejos sobre as SH.

Na avaliação das frações das substâncias húmicas, pelos teores de ácidos fúlvicos (C_{AF}) e ácidos húmicos (C_{AH}), o ambiente CN apresentou em média maior teor de C_{AH} ($4,2 < C_{AH} < 26,7$ g kg^{-1}) quando comparado com CNq ($1,7 < C_{AH} < 2,2$ g kg^{-1}). Comportamento inverso ocorreu com o C_{AF} , onde os teores no CNq foram significativamente superiores aos obtidos sob CN. Portanto, nesses dois ambientes, a distribuição nos compartimentos húmicos

difere: C_{AF}/C varia entre 11 e 26 % no CN e entre 29 e 60 % no CNq (Tabela 4). Adicionalmente, a razão C_{AH}/C_{AF} foi sempre maior no ambiente CN.

Estes resultados indicam uma diferente dinâmica de formação dos AH e dos AF. A maior proporção de micelas húmicas de maior tamanho (AH) no CN indicam uma maior estabilização da MOS neste ambiente. A hipótese baseia-se na proposta de estrutura de matéria orgânica de Kleber et al. (2007), onde os grupos hidrofílicos se localizam na parte externa e a fração hidrofóbica ocupam o interior da micela da MOS. Portanto, o tamanho da micela está diretamente relacionado com o tamanho de sua porção hidrofóbica, conferindo seu maior ou menor grau de estabilidade (Santana, 2010).

No ambiente LA, os teores de C_{AH} não diferiram estatisticamente do CN, porém apresentaram tendência de redução. Entretanto, mesmo expressando comportamento semelhante para os teores C_{AF} em relação ao CN, no ambiente LA o decréscimo destes teores foi acentuado, atingindo os mais baixos valores dentre todos os ambientes. Oliveira Júnior et al. (2008) destacam que em sistema de plantio convencional os AF, por englobarem moléculas de menor massa molar e apresentarem mais grupos carboxílicos, são mais reativos e, conseqüentemente, mais propensos a perdas por lixiviação que os AH corroborando com os resultados deste estudo.

Os teores de C_{AH} sob FP e MN não diferiram entre si, mas ambos apresentaram valores inferiores ao CN. Em relação ao C_{AF} , na camada de 0-0,05 m constataram-se altos teores desta fração sob MN, os quais são atribuídos à diferença na vegetação, visto que este ambiente é igualmente inalterado por ação antrópica. Nas demais profundidades, o comportamento de formação de AF na MN e no FP assemelharam-se ao CN.

Os teores de carbono na fração húmica (C_{HU}), com maior contribuição nas camadas mais superficiais para o COT do solo, decresceram em profundidade em todos os ambientes (Tabela 4), concordando com resultados obtidos por Melo e Schaefer (2009). Em geral, a variação de C_{HU}/COT foi inversa à observada para C_{SHS}/COT destacando-se os elevados teores de C_{HU} no ambiente MN, tanto em quantidade como em proporção do COT. Este compartimento, por ser estruturalmente composto em maior quantidade por lignina e celulose são quimicamente mais recalcitrante. Steveson (1982) atribui este acúmulo a necessidade da presença de fungos

basidiomicetos nestes ambientes, capazes de decompor estas estruturas. Outro fator preponderante para estes resultados deve-se a ausência de ação antrópica na MN, pois a manutenção da estruturação do solo gera uma maior associação da HU com a fração mineral do solo, conferindo uma maior estabilidade desta fração nesse ambiente.

Quando avaliado o comportamento da HU no ambiente LA, nota-se que este apresentou os teores mais baixos de C_{HU} , tanto em quantidade como em proporção (C_{HU}/COT). Por depender diretamente dos microorganismos para realizar sua síntese, a concentração de HU é maior nas camadas mais superficiais do solo nos ambientes onde não há o revolvimento (CN, CNq e MN), e diminui com o aumento da profundidade. Em função do revolvimento anual do solo, característico do ambiente LA, a atividade microbiana nas camadas mais superficiais do solo diminui, bem como os teores de C_{HU} .

6.4 Área superficial específica (ASE) e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP)

Na camada de 0-0,05 m de profundidade, os valores de ASE na fração terra fina seca ao ar do solo nos diferentes ambientes decresceram significativamente conforme a seguinte sequência $MN > CNq > LA \cong FP > CN$ (Tabela 5). Esses valores de ASE relacionaram-se positivamente ($p < 0,0001$) com os teores de COT e, por conseqüência, com os teores de carbono nos compartimentos químicos humina (C_{HU}) e ácidos fúlvicos (C_{AF}), uma vez que estes tem suas concentrações de C aumentadas com o incremento de COT no solo (Tabela 6).

A relação positiva entre a ASE e o COT, obtida neste estudo pelo método da adsorção de água, contraria relações inversas verificadas em diversos estudos onde a ASE foi estimada por adsorção de N_2 (Afif et al., 1995; Almeida et al., 2003). Isso se deve, possivelmente, ao bloqueio imposto pela matéria orgânica do solo às superfícies minerais, o qual restringe a passagem do N_2 durante o processo de adsorção. Por outro lado, no método de adsorção de água, além de não restringir a penetração de água às superfícies minerais, a MOS também participa como adsorvente de água, elevando a estimativa da ASE.

TABELA 5. Área superficial específica e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) na profundidade de 0-0,05 m sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambiente	ASE_{TFSA}	Adsorção de P
	---- m ² g ⁻¹ ----	---- mg kg ⁻¹ ----
CN	52,98 c	2.459 b
CNq	59,09 b	3.014 ab
LA	55,16 bc	2.441 b
FP	54,85 bc	3.500 a
MN	69,08 a	2.361 b

Também na camada 0-0,05 m de profundidade, a CMAP na fração terra fina decresceu significativamente na seqüência FP > CNq > CN \cong LA \cong MN (Tabela 5). De maneira geral, as magnitudes dos valores de adsorção obtidos, decorrem da mineralogia caulínica e oxídica, característica de solos em avançado estágio de intemperização (Fontes et al., 1996; Almeida et al., 2003). Em adição, devido sua área superficial específica, destaque deve ser dado à capacidade adsorviva de P pela goethita (Almeida *et al.*, 2003; Fink et al, 2011), a qual é o óxido de Fe predominante no solo dos ambientes avaliados nesse estudo (Figura 5).

Neste sentido, parece ser contraditória a diminuição significativa da CMAP com o aumento dos valores de ASE no solo sob os diferentes usos e manejos avaliados (Tabela 6). Entretanto, da mesma forma que incrementou os valores de ASE em ambientes onde o solo, possivelmente, não apresenta variações mineralógicas consideráveis, o aumento de COT determinou uma diminuição na CMAP (Tabela 6). Este comportamento pode ser atribuído ao bloqueio das superfícies minerais, da mesma forma que discutido anteriormente para o N₂ na estimativa da ASE, ou pela ocupação dos sítios de adsorção pelos grupos funcionais da matéria orgânica (Rheinheimer et al, 2003a). Tal fato foi observado por Fontes et al. (1992) que atribuíram ao recobrimento da superfície dos óxidos de ferro por ácidos húmicos o bloqueio dos sítios de adsorção e, portanto, agindo como fator preponderante no mecanismo de sorção do fósforo.

TABELA 6. Valores de “r” e “p” das análises de correlações lineares entre a CMAP, COT e ASE com as frações húmicas com n = 15.

		CMAP	COT	C-HCl	C-SH	C-AH	C-AF	C-HU	ASE
CMAP	r	1,0000	-0,6826	-0,0003	-0,4431	-0,2709	-0,2941	-0,5733	-0,5685
	p		0,0050	0,9992	0,0981	0,3288	0,2874	0,0255	0,0270
COT	r		1,0000	0,0309	0,3148	0,0494	0,6690	0,9479	0,8575
	p			0,9130	0,2532	0,8613	0,0064	<0,0001	<0,0001
ASE	r			0,1451	-0,0595	-0,2686	0,7197	0,9137	1,0000
	p			0,6059	0,8330	0,3331	0,0025	<0,0001	

r: coeficiente de correlação de Pearson; p: probabilidade. CMAP: Capacidade máxima de adsorção de fósforo; COT: Carbono orgânico total; ASE: Área superficial específica; ; C_{HCl}, C_{SHs}, C_{AF}, C_{AH} e C_{HU} representam os teores de carbono contido nos extratos ácido, de substâncias húmicas solúveis e de ácidos fúlvicos, e os contidos sob forma de ácidos húmicos e huminas, respectivamente.

7 CONCLUSÃO

A composição mineralógica da fração argila do solo é predominantemente de caulinita e óxidos de ferro goethita e hematita, caracterizando o solo em grau avançado de intemperização.

O CN, ambiente representativo das condições naturais locais apresentou baixos níveis de fertilidade, expressos por reações ácidas, desaturação expressiva, alto teor de alumínio trocável e altos valores de saturação por alumínio. Alterações do CN para outros usos e manejos, com exceção do FP, proporcionaram melhoria dos níveis de fertilidade do solo. Os atributos químicos do solo sob os diferentes usos e manejos são expressivamente condicionados pelo conteúdo de MOS.

A alteração das condições químicas do solo pelos seus diferentes usos e manejo afeta a dinâmica de formação das frações da MOS. A prática da queima propiciou incremento da fração AF. As condições físicas do solo no ambiente Lavoura (SPC) foi determinante para a degradação de uma baixa quantidade da fração HU. A estrutura de planta da cultura do pinus influenciou diretamente na dinâmica da MOS determinando elevados teores da fração C_{HCl} .

O incremento de COT nos solos dos diferentes ambientes determinou aumento da ASE e diminuição da CMAP pelo recobrimento da superfície dos minerais.

8 BIBLIOGRAFIA

AFIF, E. et al. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, v.159, p.207-211, 1995.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.6, p.985-1002, 2003.

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, P.; BODDEY, R. Dinâmica do Carbono em Solos sob pastagens. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.561-568.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G; FONTANA, A. Matéria Orgânica e Pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.65-86.

ARAUJO, Q. R.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M.; LOURES, E. G.; REGAZZI, A. J.; FONTES, L. E. F.; CASALI, V. W. D. Atividade microbiana e fracionamento da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho Amarelo variação Uma, submetido à queima e à percolação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.242, p.391-404, 1995.

BANDINELLI, D. G.; GATIBONI, L. C.; TRINDADE, J. P. P.; QUADROS, F. L. F.; KAMINSKI, J.; FLORES, J. P. C.; BRUNETTO, G.; SAGGIN, A. Composição florística de pastagem natural afetada por fontes de fósforo, calagem e introdução de espécies forrageiras de estação fria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.84-91, 2005.

BOLDRINI, I. I. Diversidade Florística nos campos do Rio Grande do Sul. In: **Anais 57º Congresso Nacional de Botânica**. Sociedade Botânica do Brasil. Gramado, 2006. p.321-324.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M. REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. , p.935-944, 2003.

CARVALHO, A. M. X.; VALE, H. M. M.; FERREIRA, E. M.; CORDERO, A. F. P.; BARROS, N. F.; COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, número especial, p.2707-2716, 2008.

CASTILHOS, Z.M.S.; JACQUES, A. V. A. **Produção e composição botânica de uma pastagem natural submetida a tratamentos de introdução de trevo vesiculoso Cv. Yuchi (*Trifolium vesiculosum* SAVI), ceifa e queima**. 109f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia/Plantas Forrageiras, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, T. B. A. G.; COSTA, P. F. P. C.; CASAGRANDE, W. B.; ROSA, C. M. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicomposto de origem animal e vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, número especial, p.2669-2675, 2008.

CESSA, R. M. A.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O. BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1153-1162, 2009.

CHAVES, R. C.; CORRÊA, G. F. Micronutrientes no sistema solo-Pinus caribaea Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p.769-778, 2003.

CHIJIJOKE, E.O. **Impact on soils of plant growing species in tropic**. FAO, Rome, 1980. 121 p.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Núcleo Regional Sul. Evangraf, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M. DIECKOW, J.; BAYER, C.; NETO, L. M.; MIELNICZUK, J. Eficiência do politungstato de sódio no fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1301-1310, 2007.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M. Óxidos de Ferro. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed). **Química e Mineralogia do Solo**. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009a. v.1, p.505-562.

COSTA, S.; SOUSA, E. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1291-1301, 2009b.

COUTINHO, L. M. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Brasília, v.12, n.68, p.22-30, 1990.

DICK, D. P.; GOMES, J.; ROSINHA, P. B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.603-611, 1998.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: composição, reações e técnicas de caracterização. In: POLETO, C.; MERTEN, G. (Org.). **Qualidade de Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p.65-80.

DICK, D. P.; LEITE, S. B.; DALMOLIN, R. S. D. Impacto da introdução de Pinus nas características químicas e na composição da matéria orgânica de Neossolos de Campos de Cima da Serra, RS. In: **Anais CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO**, Gramado, 2007.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.633-640, 2008.

DICK, D. P.; LEITE, S. B.; DALMOLIN, R. S. D.; ALMEIDA, H. C.; KNICKER, H. Pinus afforestation in South Brazilian highlands: soil chemical attributes and organic matter composition. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.2, p.175-181, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. Boletim técnico. 431p.

DÜMIG, A.; SCHAD, P.; KOHOK, M.; BEYERLEIN, P.; SCHWIMMER, W.; KÖGEL-KNABNER, I. A mosaic of nonallophanic Andosols, Umbrisols and Cambisols on rhyodacite in the southern Brazilian highlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.145, n.1-2, p.158-173, 2008.

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A.; CURI, N.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, E. G. Produção de matéria seca de pastagens nativas localizadas em áreas de Cambissolo e Latossolo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.987-992, 1999.

FERRAZ, C.; MOTTA, R.S. Exploração florestal , sustentabilidade e o mecanismo de desenvolvimento limpo. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n.20, p.83-98, 2000.

FERREIRA E. T.; NABINGER, C.; FREITAS, A. D.; ELEJALDE, D. G.; SCHIMITT, F.; BRAMBILLA, D. M. Melhoramento do campo nativo: tecnologias e o impacto no sistema de produção. In: **Anais CICLO DE PALESTRAS EM**

PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS. Canoas, 2008. p.27-87.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; SILVEIRA, V. H.; OLIVEIRA, J. S. Adsorção de fósforo em solos tropicais e subtropicais com mineralogias distintas. In: **Anais VIII Reunião Sul-brasileira de Ciência do Solo.** Santa Maria, 2010, submetido.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.656-659, 2006.

FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America journal**, Madison, v.56, n.3, p.982-990, 1992.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, p.37-51, 1996.

GIOVANNINI, G., LUCCHESI, S., GIACHETTI, M. The natural evolution of a burned soil: a three-year investigation. **Soil Science**, Ottawa, v.143, n.3, p.220-226, 1987.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.

HERINGER, I. **Efeitos do fogo por longo período e de alternativas de manejo sobre o solo e a vegetação de uma pastagem natural.** 2000. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia/Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A.; BISSANI, C. A. B.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.2, p.309-314, 2002.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Acumulação de forragem e material morto em pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo em relação às queimadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Porto Alegre, v.31, n.2, p.599-604, 2002a.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Qualidade da forragem de pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p.399-406, 2002b.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**, 2006. <http://www.ibge.gov.br> , acessado em 10.12.2010.

INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1139-1147, 2005.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: Efeitos sobre o solo e vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, n.1, v.33, p.177-181, 2003.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5-M- NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays Clay Miner.**, Ottawa, v.30, p.401-408, 1982.

KLEBER, M.; SOLLINS, P.; SUTTON, R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.85, n.1, p.9-24, 2007.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.85, n.1, p.91-118, 2007.

KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza propiedades y métodos de investigación**. 1ª ed. Barcelona: Oikos-tau, 1982. 364p.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S.; M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1053-1063, 2008.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho-escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5 , p.821-832, 2003.

LOPES, F.; MIELNICZUK, J.; OLIVEIRA, E.; TORNQUIST, C. G. Evolução do uso do solo em área piloto da região de Vacaria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.10, p1038-1044, 2008.

MACEDO, M. C. M. A utilização do fogo e as propriedades físicas e químicas do solo. In: **Anais Simpósio sobre manejo de pastagens**. Piracicaba, 1995. p.315-345.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; FILHO, O. K.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J. A. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.217-224, 2008.

MALLIK, A. V.; GIMINGHAN, C. H.; RAHMAN, A. A. Ecological effects heather burning water infiltration, moisture retention, and porosity of surface soil. **Journal of Ecology**, Oxford, v.72, n.3, p.767-776, 1984.

MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas

frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.3, p.655-660, 2009.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Ottawa, v.7, p. 317-27, 1960.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Matéria Orgânica em Solos Desenvolvidos de Rochas Máficas no Nordeste de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.1, p.53-60, 2009.

MENDONÇA, E. S.; OLIVEIRA, F. H. T. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. **Anais Simpósio Sobre Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Sistema Plantio Direto**. Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais. Ponta Grossa, 2000. p.70-81.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. 4ª ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.107-148.

MOORE, L. A. W. The influence of annual burning on a soil in the derived savanna zone of Nigeria. In: **INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE TRANSACTIONS**. Madison, 1960. p.257-260.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. In: **Anal. Chemical Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.

NABINGER, C.; MARASCHIN, G. E.; MORAES, A. Campos in southern Brazil In: **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Cambridge: University Press, 1999. p. 355-376.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.2425-2433, 2008.

NORONHA, N. C.; ANDRADE, C. A.; LIMONGE, F. C.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; PICCOLO, M. C.; FEIG, B. J. Recovery of degraded pasture in Rondônia: macronutrients and productivity of *brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1711-1720, 2010.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; CANTARUTTI, R. B & BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2002. v.2, p.393-486.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Brazil's

neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**. Hanover, v.9, p.101-116, 2007.

PILLAR, V. P.; QUADROS, F. L. F. Grassland-forest boundaries in southern Brazil. **Coenoses**, Gorizia, v.12, p.119-126, 1997.

POTES, M. L.; DICK, D. P.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; ROSA, A. S. Matéria orgânica em Neossolos de altitude: influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1. p.23-32, 2010.

QUIRK, J.P. Significance of surface areas calculated from water vapour sorption isotherms by the use of the BET equation. **Soil Science**, Baltimore, v.80, n.6, p.423-430, 1955.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4 , p.713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.41-49, 2003a.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.49-55, 2003b.

RHEINHEIMER, D. O. S.; CAMPOS, B. C.; GIACOMINI, S. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; BORTOLUZZI, E. C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p.435-440, 2008.

SANTANA, G. S. **Compartimentos químicos e físicos da matéria orgânica de Latossolo em sistemas de manejo de pastagens dos Campos de Cima da Serra, RS**. 2010, 81 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.477- 486, 2003.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; DALLA ROSA, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.329-337, 2006.

SILVA, L. B.; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e sua resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1167-1171, 2008a.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase

sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2008b. p. 59-83.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; JUNIOR, F. B. R.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, 2006.

SILVA NETO, L. F. **Óxidos de ferro, matéria orgânica e adsorção de fósforo em dois latossolos sob diferentes sistemas de manejo**. 2006, 64 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOUSA, D. M. G. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: Wiley, 1994. 496p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. As principais classes de solos no Rio Grande do Sul. In: **Solos do Rio Grande do Sul**. 2a ed., Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. p.37-122.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

WIESMEIER, M.; DICK, D. P.; RUMPEL, C.; DALMOLIN, R. S. D.; HILSCHER, A.; KNICKER, H. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under Pinus taeda plantations in Southern Brazilian grasslands (Campos). **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.60, n.3, p.347-359, 2009.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudos da erosão na microbacia do Cerveiro (Piracicaba, SP). II – Interpretação a tolerância de perda de solo utilizando o método do Índice de Tempo de Vida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.815-824, 2008.

WUNSCH, C. Microminerais para bovinos de corte nas pastagens nativas dos Campos de Cima da Serra, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n 4, p.903-908, 2005.

9 APÊNDICES

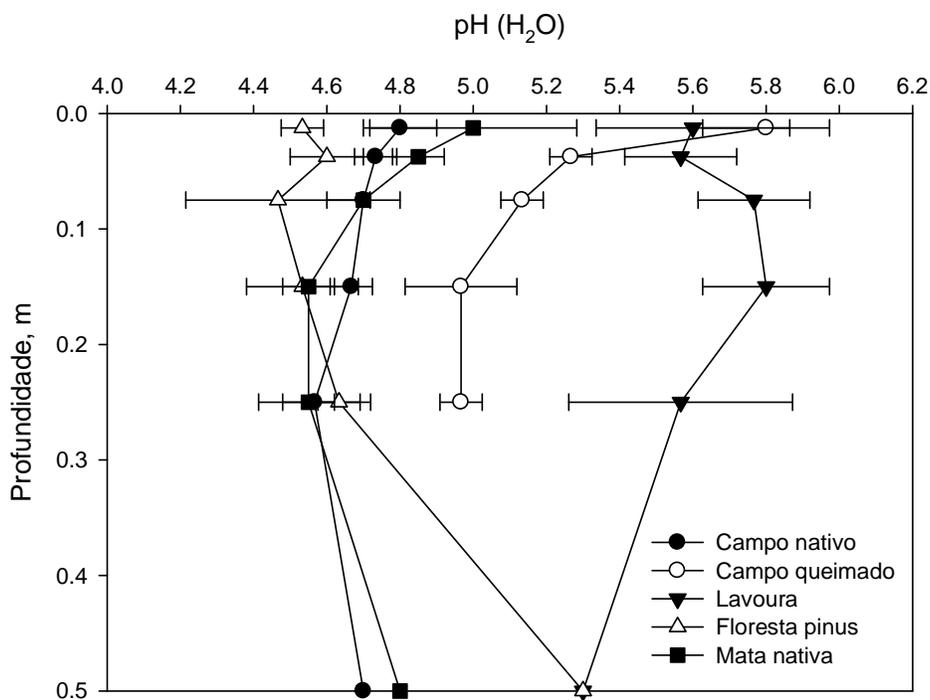
APÊNDICE 1. Atributos químicos em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambientes	Prof. (m)	pH _{H2O}	P	K	Ca	Mg	Al _{iroc.}	CTC	SB	V	m
		----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----		
CN	0–0,025	4,8±0,1	5,6±0,8	0,94±32,7	3,0±0,4	2,3±0,2	1,9±0,5	18,6±0,4	6,3±0,4	33,9±1,7	23,4±6,2
	0,025–0,05	4,7±0,1	4,0±0,5	0,79±76,2	2,4±0,6	2,0±0,7	3,1±0,7	20,8±2,2	5,2±1,0	25,6±7,3	37,8±9,9
	0,05–0,10	4,7±0,1	3,7±0,6	0,63±55,4	1,3±0,8	1,0±0,8	4,1±0,8	20,2±3,7	30±1,5	16,1±9,4	58,8±17,8
	0,10–0,20	4,6±0,1	2,9±0,8	0,49±37,5	1,1±0,3	0,8±0,3	4,7±0,4	21,3±2,8	2,4±0,4	11,8±3,7	66,0±6,4
	0,20–0,30	4,5±0,2	2,2±0,3	0,31±50,5	0,7±0,2	0,4±0,2	5,2±0,2	21,7±1,5	1,4±0,2	6,8±1,1	77,9±3,4
	0,40–0,60	4,7±0,0	1,6±0,0	0,28±0,00	0,3±0,0	0,2±0,0	5,5±0,0	20,2±0,0	0,7±0,0	3,9±0,0	87,5±0,0
Média 0-60 m		4,7±0,1	3,4±0,5	0,57±42,1	1,5±0,4	1,2±0,4	4,1±0,5	20,5±1,8	3,2±0,6	16,4±3,9	58,6±7,3
CNq	0–0,025	5,8±0,2	6,7±1,6	1,02±0,0	6,6±0,4	4,6±0,6	0,1±0,2	18,4±0,5	12,9±1,0	66,7±4,1	1,1±0,9
	0,025–0,05	5,2±0,1	3,4±0,2	1,02±0,0	3,6±0,6	2,7±0,3	1,0±0,3	14,8±1,2	7,4±0,8	50,5±5,9	11,9±3,7
	0,05–0,10	5,1±0,1	2,9±0,5	0,73±41,1	2,4±0,5	1,7±0,3	1,6±0,4	13,4±0,8	4,9±0,6	37,2±7,1	25,3±6,2
	0,10–0,20	4,9±0,2	2,4±0,3	0,43±40,1	1,7±0,3	1,1±0,3	2,3±0,4	12,6±1,2	3,2±0,4	25,9±4,4	41,8±6,6
	0,20–0,30	4,9±0,1	2,1±0,2	0,23±32,7	1,2±0,6	0,7±0,4	2,5±0,5	12,8±0,9	2,2±0,9	17,8±7,5	54,0±15,0
	0,40–0,60	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Média 0-60 m		5,2±0,1	3,5±0,5	0,68±22,8	3,2±0,5	2,2±0,4	1,5±0,3	14,4±0,9	6,0±0,8	39,6±5,8	26,8±6,5
LA	0–0,025	5,6±0,3	18,0±3,4	0,32±8,3	7,0±0,7	4,1±0,2	0,0±0,1	16,8±0,6	11,4±0,8	68,3±4,1	0,6±1,0
	0,025–0,05	5,5±0,2	15,5±6,2	0,17±14,8	6,9±0,6	3,7±0,1	0,3±0,5	16,5±1,2	10,8±0,6	66,1±8,4	3,3±4,3
	0,05–0,10	5,7±0,2	10,4±5,7	0,09±6,1	7,7±1,0	3,9±0,5	0,0±0,0	15,8±0,3	11,7±1,4	73,8±7,9	0,0±0,0
	0,10–0,20	5,8±0,2	3,7±0,5	0,06±4,6	7,6±1,1	3,7±0,2	0,0±0,0	15,2±1,3	11,4±1,2	75,1±2,5	0,0±0,0
	0,20–0,30	5,5±0,3	2,5±0,2	0,04±2,1	4,6±1,4	2,8±0,8	0,5±0,4	11,5±1,6	7,4±2,1	64,0±8,8	7,1±6,2
	0,40–0,60	5,3±0,0	2,3±0,2	0,03±0,0	1,5±0,0	1,3±0,0	1,7±0,0	10,6±0,0	2,8±0,0	26,7±0,0	37,4±0,0
Média 0-60 m		5,6±0,2	8,7±2,7	0,12±6,0	5,9±0,8	3,3±0,3	0,4±0,2	14,4±0,9	9,3±1,0	62,3±6,3	8,0±1,9

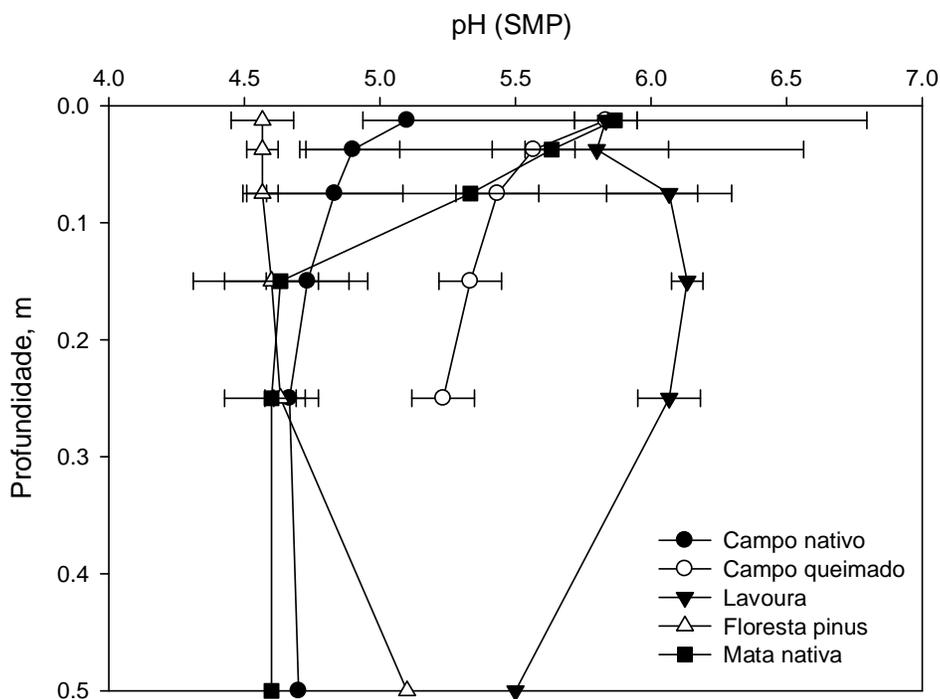
APÊNDICE 1. Continuação...

	0-0,025	4,5±0,1	3,7±0,5	0,09±8,5	1,4±0,2	0,8±0,1	5,3±0,5	25,1±2,9	2,3±0,3	9,5±1,3	69,2±0,8
	0,025-0,05	4,6±0,1	3,0±0,4	0,07±2,6	0,7±0,4	0,5±0,1	5,2±0,7	23,9±1,2	1,3±0,4	5,5±2,0	79,7±7,7
FP	0,05-0,10	4,4±0,3	2,9±0,4	0,06±2,1	0,5±0,2	0,4±0,1	5,5±0,2	23,7±1,4	1,0±0,3	4,5±1,5	84,0±3,9
	0,10-0,20	4,5±0,2	2,3±0,6	0,05±3,5	0,5±0,1	0,3±0,1	5,7±0,3	22,9±4,0	0,9±0,1	4,1±1,3	86,0±1,9
	0,20-0,30	4,6±0,1	1,9±0,1	0,04±3,6	0,3±0,1	0,2±0,1	5,0±0,4	21,6±1,3	0,6±0,1	3,0±0,6	88,5±1,8
	0,40-0,60	5,3±0,0	2,7±0,0	0,03±0,0	0,3±0,0	0,2±0,0	3,3±0,0	12,8±0,0	0,5±0,0	4,2±0,0	86,0±0,0
	Média 0-60 m	4,7±0,1	2,8±0,3	0,06±3,4	0,6±0,2	0,4±0,1	5,0±0,3	21,7±1,8	1,1±0,2	5,1±1,4	82,2±2,7
	0-0,025	5,3±0,6	10,4±4,3	0,71±62,1	17,9±7,1	4,9±1,4	0,2±0,3	30,4±2,7	23,5±7,6	76,4±20,1	1,5±2,0
	0,025-0,05	5,3±0,8	7,1±0,8	0,58±9,6	11,0±7,5	3,5±0,8	1,0±0,9	24,0±2,1	15,1±8,1	61,4±27,4	8,4±7,3
MN	0,05-0,10	5,0±0,6	5,3±2,6	0,40±94,8	5,3±5,9	2,0±0,9	2,5±2,2	19,7±1,6	7,7±6,6	40,6±36,8	33,0±28,7
	0,10-0,20	4,8±0,5	3,1±0,5	0,28±89,0	1,3±0,7	1,1±0,4	5,2±1,1	24,5±6,3	2,7±1,1	12,3±7,9	66,0±14,0
	0,20-0,30	4,7±0,3	2,6±0,2	0,27±67,4	0,5±0,4	0,6±0,2	5,7±0,3	23,5±4,9	1,4±0,6	6,1±2,7	80,3±8,2
	0,40-0,60	4,8±0,0	2,4±0,0	0,53±0,0	0,4±0,0	0,3±0,0	5,5±0,0	23,0±0,0	1,2±0,0	5,3±0,0	81,7±0,0
	Média 0-60 m	5,0±0,4	5,2±1,4	0,46±68,2	6,1±3,6	2,1±0,6	3,4±0,8	24,2±2,9	8,6±4,0	33,7±18,9	45,1±10,0

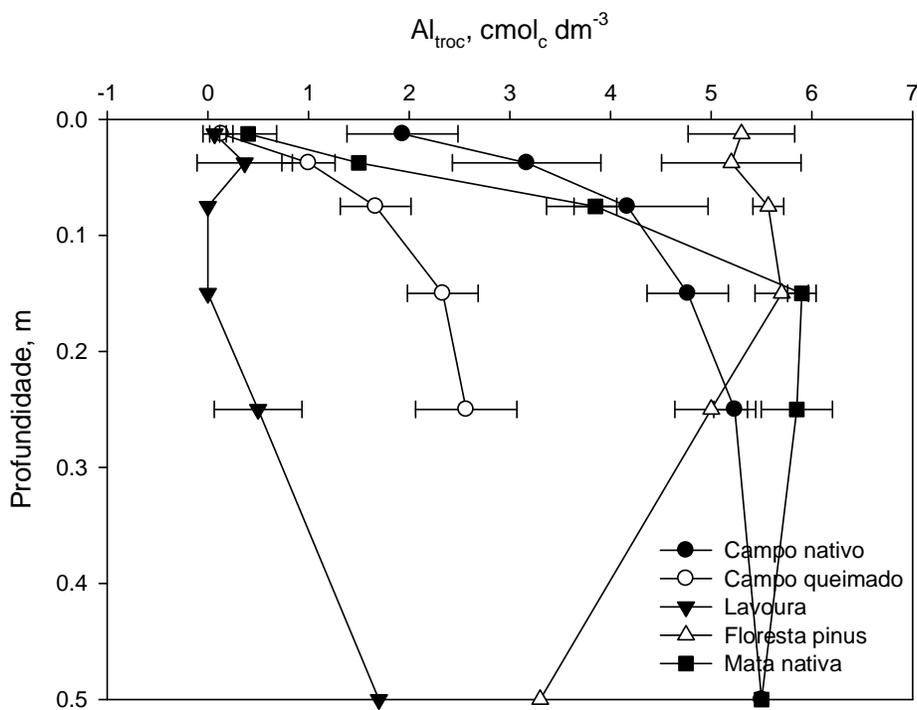
Média ± desvio padrão (1sd); pH em água e em solução SMP; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al_{troc.}: alumínio trocável; CTC a pH 7,0; SB: soma de bases; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.



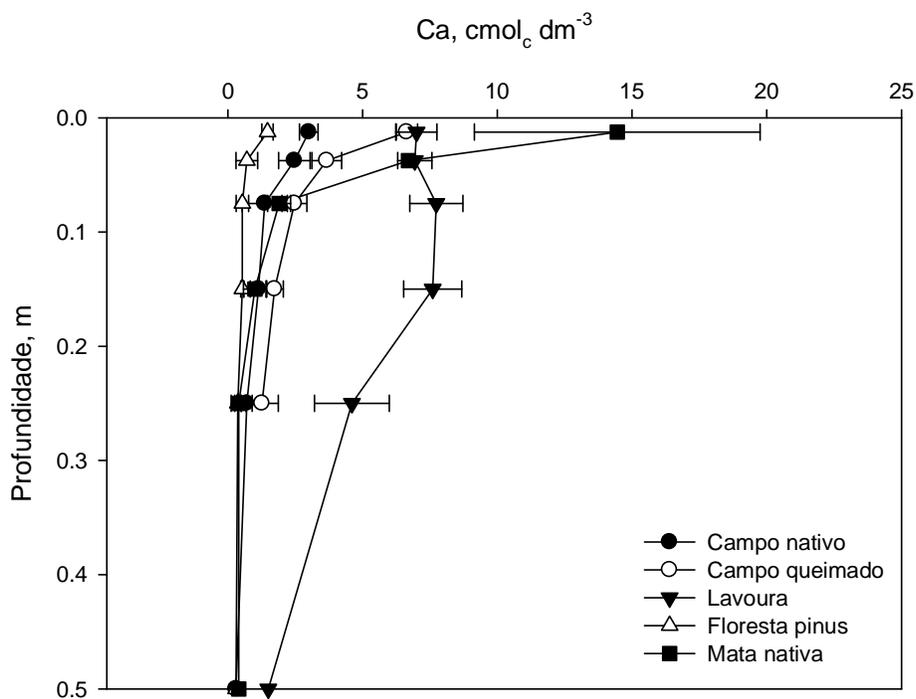
APÊNDICE 2. Distribuição dos valores de pH (H₂O) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



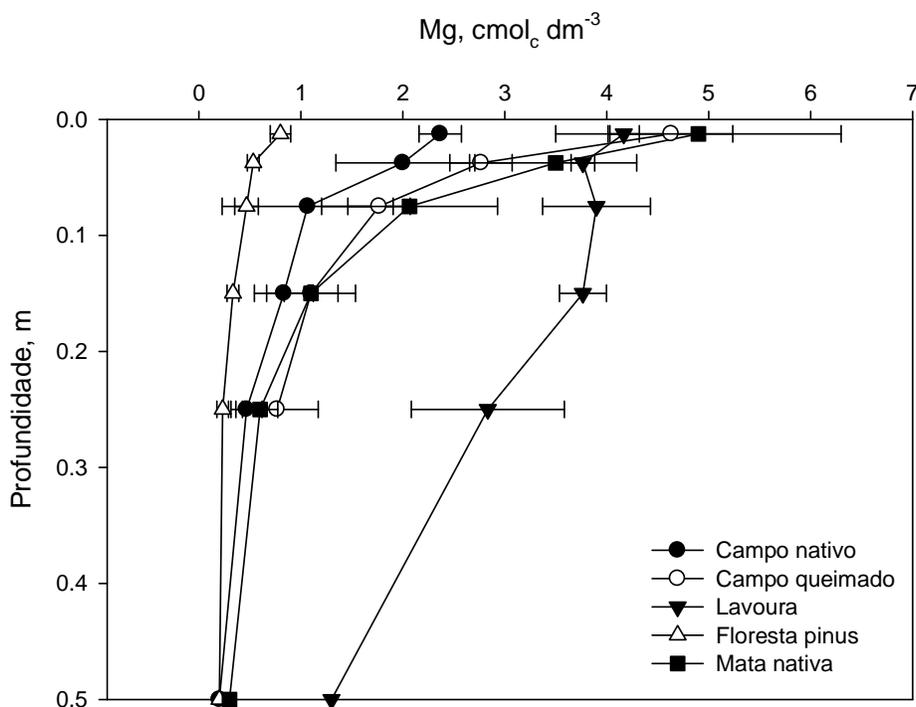
APÊNDICE 3. Distribuição dos valores de pH (SMP) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



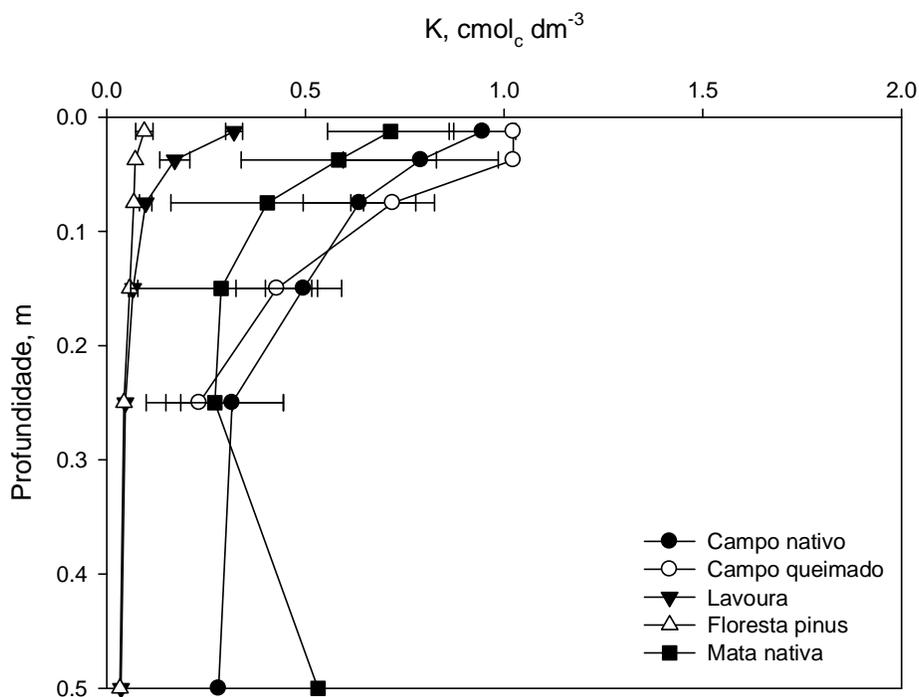
APÊNDICE 4. Distribuição dos valores de alumínio trocável (Al_{troc}) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



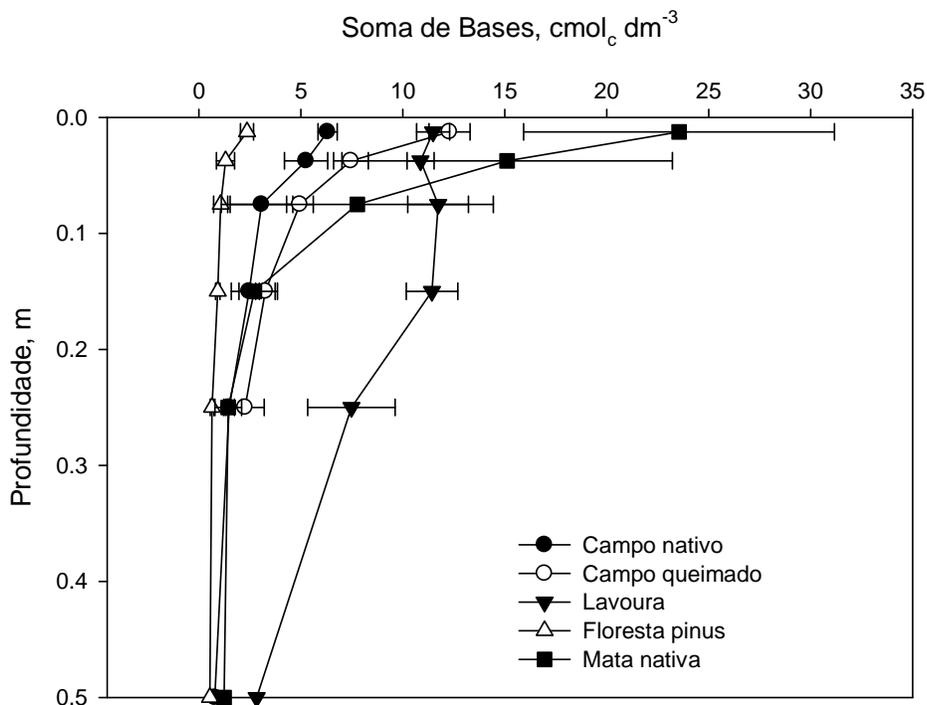
APÊNDICE 5. Distribuição dos valores de cálcio (Ca) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



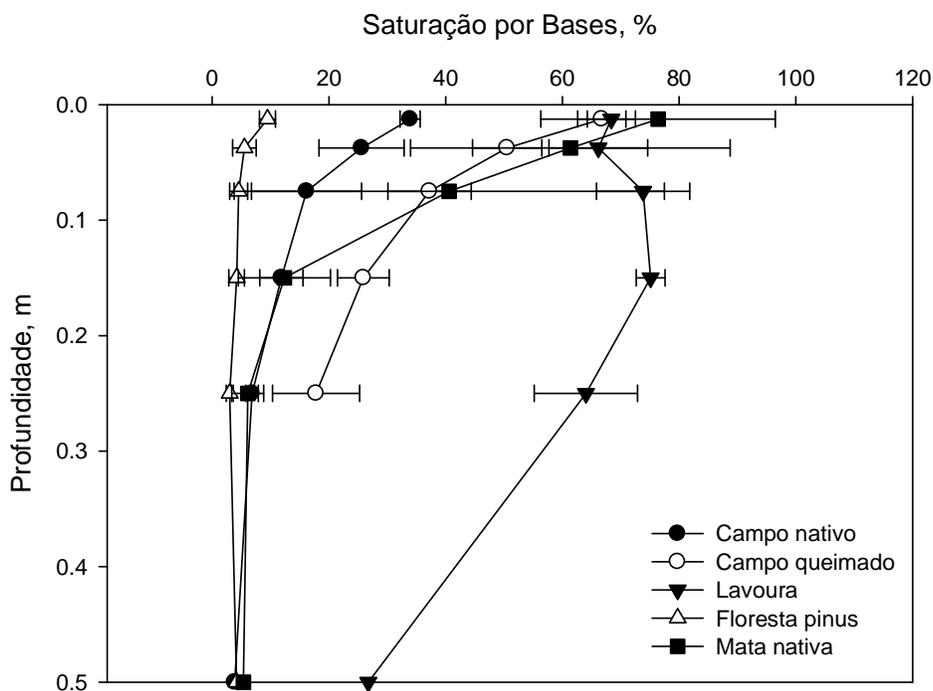
APÊNDICE 6. Distribuição dos valores de magnésio (Mg) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



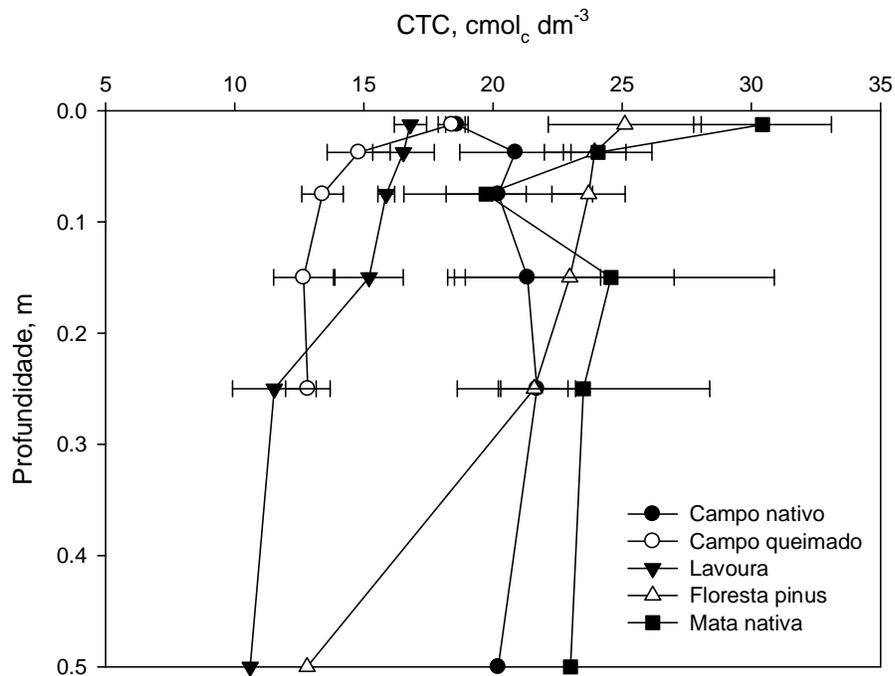
APÊNDICE 7. Distribuição dos valores de potássio (K) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



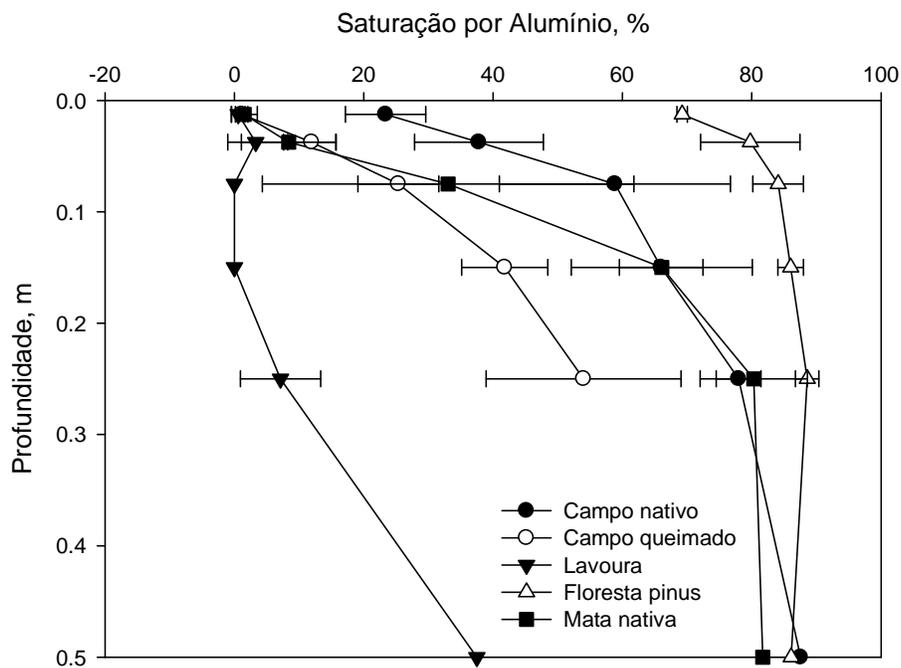
APÊNDICE 8. Distribuição dos valores da soma de bases (S) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



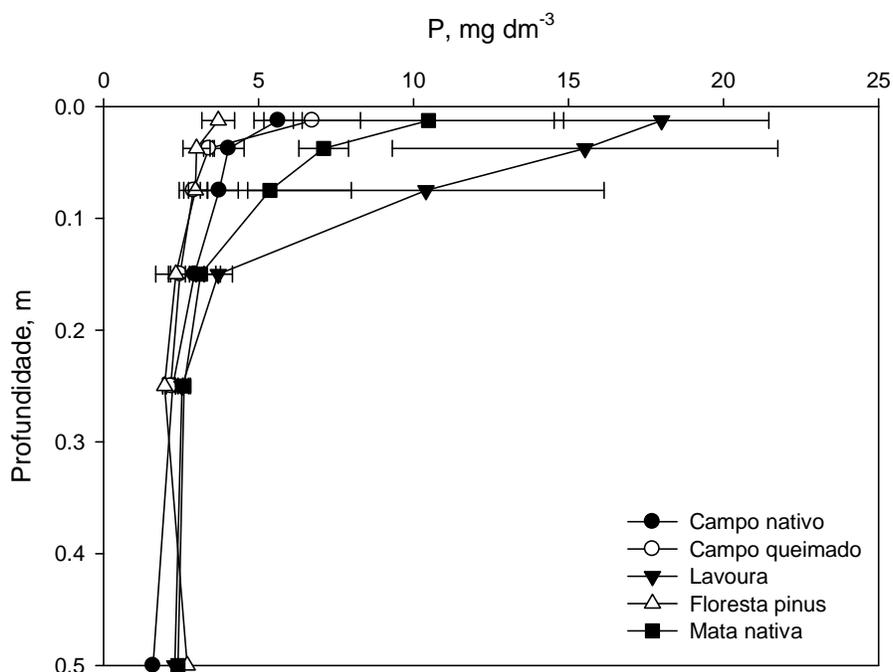
APÊNDICE 9. Distribuição dos valores de saturação por bases (V) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



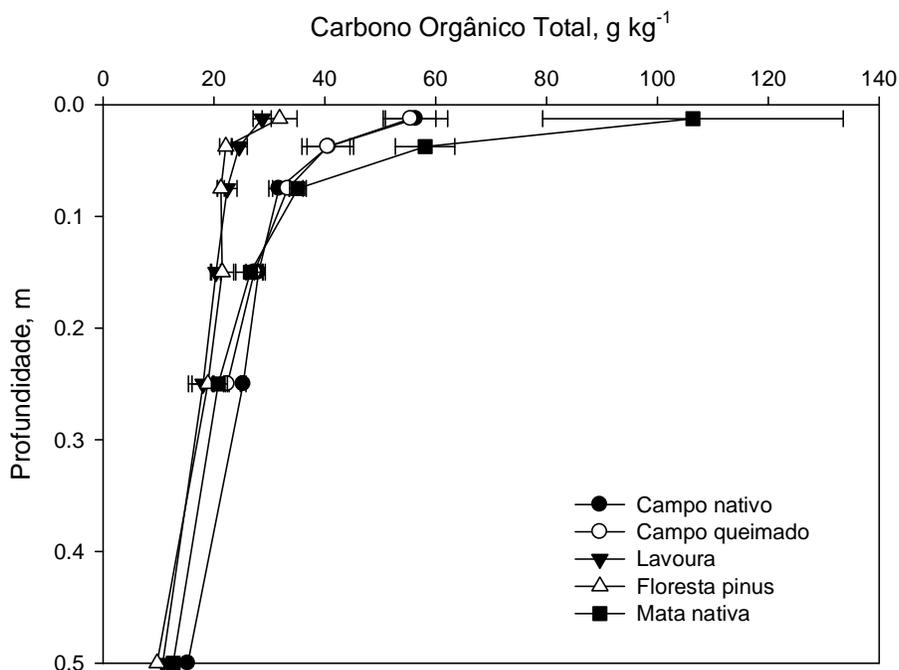
APÊNDICE 10. Distribuição dos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



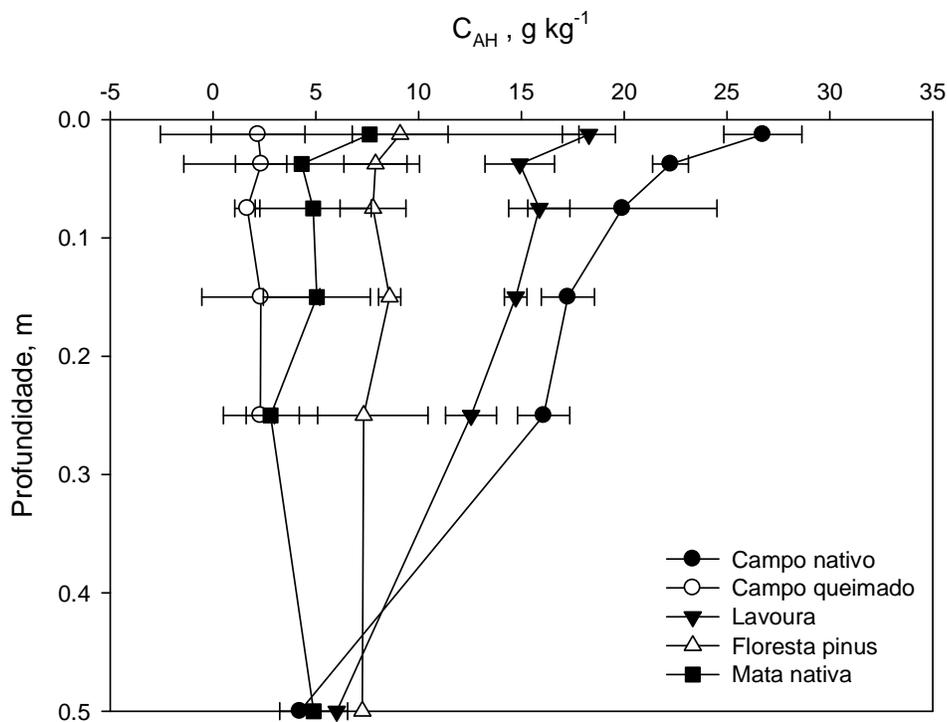
APÊNDICE 11. Distribuição dos valores de saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



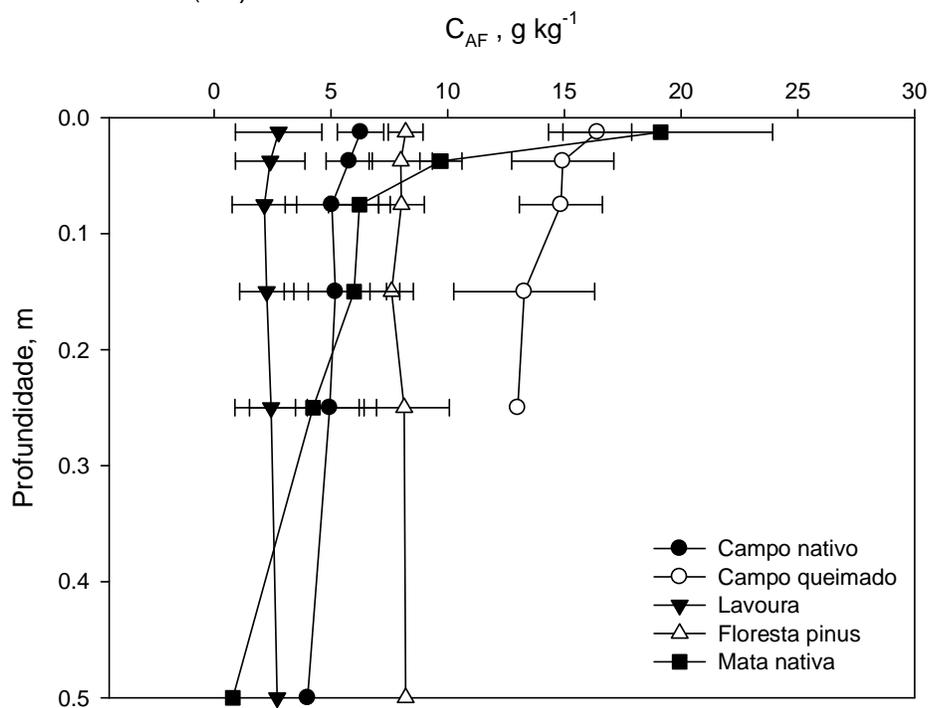
APÊNDICE 12. Distribuição dos valores de fósforo (P) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



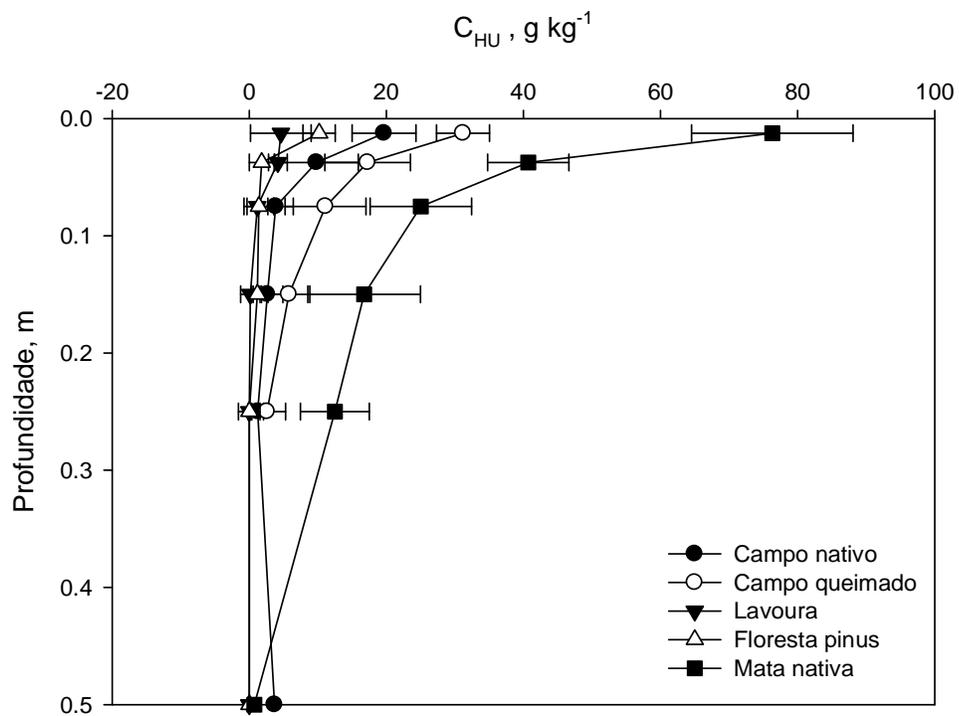
APÊNDICE 13. Distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT) em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



APÊNDICE 16. Distribuição dos teores de C_{AH} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



APÊNDICE 17. Distribuição dos teores de C_{AF} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).



APÊNDICE 18. Distribuição dos teores de C_{HU} em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

APÊNDICE 19. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono (C) em Latossolo Vermelho distroférico típico em diferentes profundidades sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambientes	Prof. (m)	----- g.kg ⁻¹ -----				
		C _{HCl}	C _{SH}	C _{AF}	C _{AH}	C _{HU}
CN	0 – 0,025	2,8 ± 0,4	33,0 ± 2,0	6,3 ± 1,0	26,7 ± 1,9	19,7 ± 4,7
	0,025 – 0,05	2,9 ± 0,4	28,0 ± 1,9	5,8 ± 1,0	22,2 ± 0,9	9,8 ± 6,1
	0,05 – 0,10	2,9 ± 0,4	25,0 ± 3,0	5,0 ± 2,0	19,9 ± 4,6	3,9 ± 2,5
	0,10 – 0,20	2,9 ± 0,4	22,5 ± 1,8	5,2 ± 2,2	17,3 ± 1,3	2,6 ± 2,3
	0,20 – 0,30	3,0 ± 0,3	21,0 ± 1,1	5,0 ± 1,5	16,1 ± 1,3	1,2 ± 0,9
	0,40 – 0,60	3,4 ± 0,0	8,2 ± 0,0	3,9 ± 0,0	4,2 ± 0,0	3,7 ± 0,0
Média 0-60 m		3,0 ± 0,3	22,8 ± 1,6	5,2 ± 1,3	17,7 ± 1,7	6,8 ± 2,7
CNq	0 – 0,025	5,7 ± 2,6	18,6 ± 2,9	16,4 ± 1,5	2,2 ± 1,8	31,2 ± 3,9
	0,025 – 0,05	7,0 ± 3,8	16,2 ± 4,3	14,9 ± 2,2	2,3 ± 1,2	17,3 ± 6,2
	0,05 – 0,10	7,2 ± 3,6	15,0 ± 3,7	14,8 ± 1,8	1,7 ± 0,6	11,1 ± 5,9
	0,10 – 0,20	8,5 ± 4,5	15,3 ± 1,8	13,3 ± 3,0	2,3 ± 2,8	05,8 ± 3,1
	0,20 – 0,30	7,6 ± 2,0	13,9 ± 1,8	13,7 ± 1,1	2,3 ± 0,7	02,6 ± 2,7
	0,40 – 0,60	---	---	---	---	---
Média 0-60 m		7,2 ± 3,3	15,8 ± 2,9	14,6 ± 1,9	2,2 ± 1,7	13,5 ± 4,4
LA	0 – 0,025	3,0 ± 0,6	21,1 ± 2,5	2,8 ± 1,9	18,3 ± 1,3	4,6 ± 4,4
	0,025 – 0,05	3,1 ± 0,5	17,3 ± 1,4	2,4 ± 1,5	14,9 ± 1,7	4,2 ± 1,4
	0,05 – 0,10	3,1 ± 0,5	18,0 ± 2,2	2,2 ± 1,4	15,9 ± 1,5	1,2 ± 1,5
	0,10 – 0,20	3,3 ± 0,5	17,0 ± 1,6	2,2 ± 1,2	14,7 ± 0,5	0,1 ± 1,5
	0,20 – 0,30	3,4 ± 0,6	15,0 ± 0,4	2,4 ± 1,6	12,6 ± 1,2	0,0* ± 1,6
	0,40 – 0,60	3,9 ± 0,0	8,7 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	0,0* ± 0,0
Média 0-60 m		3,3 ± 0,5	16,2 ± 1,4	3,1 ± 1,8	13,7 ± 1,0	1,0 ± 1,4
FP	0 – 0,025	4,3 ± 0,3	17,3 ± 2,9	8,2 ± 0,7	9,1 ± 2,3	10,2 ± 0,3
	0,025 – 0,05	4,4 ± 0,2	15,9 ± 2,9	8,0 ± 1,4	7,9 ± 1,5	1,8 ± 0,2
	0,05 – 0,10	4,1 ± 0,3	15,8 ± 2,4	8,0 ± 1,0	7,8 ± 1,6	1,4 ± 0,2
	0,10 – 0,20	4,1 ± 0,3	16,2 ± 1,3	7,6 ± 0,9	8,6 ± 0,5	1,2 ± 0,1
	0,20 – 0,30	4,1 ± 0,2	15,5 ± 5,1	8,1 ± 1,9	7,3 ± 3,1	0,0* ± 0,3
	0,40 – 0,60	4,2 ± 0,0	15,4 ± 0,0	8,1 ± 0,0	7,3 ± 0,0	0,0* ± 0,0
Média 0-60 m		4,2 ± 0,2	16,1 ± 2,4	8,0 ± 1,0	8,0 ± 1,5	2,4 ± 0,2
MN	0 – 0,025	3,4 ± 1,2	26,7 ± 5,0	19,1 ± 4,8	7,6 ± 10,8	76,3 ± 1,8
	0,025 – 0,05	3,4 ± 0,1	14,0 ± 6,0	9,7 ± 0,9	4,3 ± 5,7	40,7 ± 5,9
	0,05 – 0,10	3,3 ± 1,0	6,8 ± 5,5	6,2 ± 1,3	4,9 ± 2,8	25,0 ± 7,1
	0,10 – 0,20	3,6 ± 1,0	6,2 ± 5,8	6,0 ± 2,0	5,0 ± 2,6	16,8 ± 8,2
	0,20 – 0,30	3,7 ± 0,1	4,6 ± 4,3	4,2 ± 2,3	2,8 ± 2,3	12,5 ± 5,0
	0,40 – 0,60	4,3 ± 0,0	7,6 ± 0,0	0,8 ± 0,0	4,9 ± 1,6	0,7 ± 0,0
Média 0-60 m		3,6 ± 0,8	11,0 ± 6,0	6,8 ± 1,9	4,9 ± 4,2	28,7 ± 6,4

Média ± desvio padrão (1sd), C_{HCl}, C_{SHs}, C_{AF}, C_{AH} e C_{HU} representam os teores de carbono contido nos extratos ácido, de substâncias húmicas solúveis e de ácidos fúlvicos, e os contidos sob forma de ácidos húmicos e huminas, respectivamente. *valor não detectado pelo método.

*valor não detectado pelo método

APÊNDICE 20. Adsorção de fósforo e área superficial específica da TFSA do Latossolo Vermelho distrófico típico na profundidade de 0-0,05 m sob campo nativo (CN), campo nativo queimado (CNq), lavoura (LA), florestamento de pinus (FP) e mata nativa (MN).

Ambientes	Repetição	Adsorção de P	ASE_{TFSA}
		-- mg kg ¹ --	-- m ² g ⁻¹ --
CN	1	2564	54,37
	2	3225	52,55
	3	2439	52,03
Média 0-0,05 m		2742	52,98
CNq	1	3448	57,72
	2	2083	60,41
	3	2857	59,15
Média 0-0,05 m		2796	59,09
LA	1	2631	53,43
	2	2380	55,30
	3	3225	56,73
Média 0-0,05 m		2746	55,15
FP	1	3571	55,69
	2	4166	53,53
	3	3703	55,31
Média 0-0,05 m		3813	54,85
MN	1	2439	64,30
	2	2631	70,28
	3	1351	72,64
Média 0-0,05 m		2140	69,08

P: fósforo; ASE_{TFSA}: Área superficial específica da terra fina seca ao ar