

# CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DE SOLO

Rafael Gotardo<sup>1</sup>

Pinheiro Adilson<sup>2</sup>

Vander Kaufmann<sup>3</sup>

Edson Torres<sup>4</sup>

Gustavo Antonio Piazza<sup>5</sup>

**RESUMO:** Este estudo verificou as alterações nas características físicas e químicas do solo de quatro tipos de uso e ocupação dos solos: Agricultura (AG), Mata Atlântica (MA), Mata Atlântica Serra (MAS), Pastagem (PT) e Reflorestamento (RF), na bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em cinco profundidades para determinação de macros e micronutrientes, textura, densidade, porosidade e resistência a penetração. As concentrações de macronutrientes tiveram variações em relação aos diferentes usos de solo, principalmente para concentrações de MO, pH,  $Al^{+3}$ ,  $H^+$  Al e CTC. Áreas de influência agrícola tiveram maiores índices de resistência a penetração e de densidade do solo. Este resultado foi comprovado na análise de agrupamento, no qual as menores distâncias foram encontradas para as classes AG, PT e RF. A análise de componentes principais demonstrou relação entre maiores classes texturais e áreas preservadas. As áreas de AG, PT e RF apresentaram concentrações semelhantes de Mg, Mn, Zn, Cu, Ca, pH e  $K^+$ , e áreas de florestas com MO e P.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacia hidrográfica; Mudança de uso; Solos.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade de Blumenau – FURB, Blumenau (SC), Brasil. E-mail: rafael.piratuba@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Doutor em Física e Química Ambiental. Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade de Blumenau – FURB, Blumenau (SC), Brasil.

<sup>3</sup> Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade de Blumenau – FURB, Blumenau (SC), Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade de Blumenau – FURB, Blumenau (SC), Brasil.

<sup>5</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade de Blumenau – FURB, Blumenau (SC), Brasil.

## CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A HAPLIC CAMBISOL OF THE ATLANTIC RAINFOREST BIOME UNDER DIFFERENT SOIL USAGES

**ABSTRACT:** Changes in the physical and chemical characteristics of soil in four usage and occupation types of soils are investigated: Agriculture (AG), Atlantic rainforest (MA), Mountainous Atlantic rainforest (MAS), Pastureland (PT) and Reforestation (RF) in the hydrographic basin of the stream Concordia. Deformed and undeformed samples were collected from five depths to determine macro- and micro-nutrients, texture, density, porosity and resistance to penetration. Macro-nutrient concentrations exhibited variations with regard to different soil usages, especially for MO, pH,  $Al^{+3}$ ,  $H^+$  Al and CTC concentrations. Areas with agricultural influence had greater penetration resistance indexes and soil densities. Result was provided by grouping analysis, in which least distances were found for classes AG, PT and RF. Analysis of principal components showed relationship between greater textural classes and preserved areas. AG, PT and RF areas provided similar concentrations as Mg, Mn, Zn, Cu, Ca, pH and  $K^+$ , and forest areas with MO and P.

**KEY WORDS:** Hydrographic basin; Soils; Usage change.

### INTRODUÇÃO

Do ponto de vista agrônomo, os atributos físicos, químicos e biológicos determinam a qualidade do solo. No entanto, dependendo do pesquisador, a qualidade pode ser interpretada de forma diferenciada. Segundo Larson e Pierce (1991), por exemplo, solos de boa qualidade são aqueles produtivos e “aptos ao uso”. Para Doran (1997), em uma visão mais conservadora, solos de boa qualidade são aqueles que possuem capacidade de exercer funções de sustentação da diversidade biológica, da saúde de plantas e animais, e das estruturas socioeconômicas. Como visto, o conceito é controverso e com múltiplas definições, sendo a maioria baseado na utilização do solo pelo homem para fins agrícolas (ARAÚJO *et al.*, 2012). De forma geral, o conceito qualidade depende do ecossistema local no qual o solo está inserido.

Desde o início das civilizações, sociedades interagem com a biosfera, modificando os sistemas naturais. Tais modificações estão geralmente associadas à

substituição da cobertura vegetal nativa em áreas agrícolas produtivas (PROKOP; PŁOSKONKA, 2014). Leite *et al.* (2010) discutem sobre os impactos negativos gerados pelas alterações antrópicas nos ecossistemas, principalmente por meio da retirada da vegetação nativa sem planejamento, indicando uma alteração das propriedades físicas e químicas. Vários estudos atribuem essas modificações à diminuição da fertilidade, da porosidade e da infiltração, principalmente devido à compactação do solo (TURNER *et al.*, 2007; MATIAS *et al.*, 2009; TORRES *et al.*, 2011; FREITAS *et al.*, 2015).

No Brasil restam 7,0% da cobertura original do bioma Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2015). Em Santa Catarina, o bioma foi transformado desde o início da colonização por meio da fragmentação florestal causada pelas atividades antrópicas da época (SCUSSEL, 2018). De acordo com o primeiro ciclo de levantamento do Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina, no Estado restam 28% da cobertura original de Mata Atlântica (VIBRANS *et al.*, 2013). A transformação dos ambientes naturais em sistemas agrícolas tem provocado a degradação dos solos, principalmente por meio da compactação do solo, redução da atividade biológica e consequente perda de nutrientes e matéria orgânica por erosão (BAGATINI *et al.*, 2011; MORAES *et al.*, 2012; BOLDAJI; KELLER, 2016). Ribon e Tavares Filho (2004) e Šimanský (2017) relatam sobre os efeitos do manejo do solo, principalmente pelo aumento da resistência à penetração e da densidade do solo, e redução da matéria orgânica. Não só os fatores químicos como físicos são limitantes ao crescimento vegetal e à produtividade das culturas (BEUTLER *et al.*, 2006; TWUM; NII-ANNANG, 2015).

A expansão das atividades agrícolas e da pecuária tem impactado as propriedades físicas e químicas do solo em várias regiões do Estado. Estudos têm sido desenvolvidos em escala local no sentido de demonstrar os efeitos das ações antrópicas sobre as diversas tipologias de solo e regiões. Neste contexto, o presente trabalho busca demonstrar o impacto causado pela substituição das áreas de florestas nativas para usos agrícolas, no sentido de entender e auxiliar a gestão sustentável dos recursos hídricos e das áreas agrícolas. Os resultados foram divididos em análise física e química do solo da bacia hidrográfica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na bacia experimental do Ribeirão Concórdia, no município de Lontras (SC), Brasil. A bacia hidrográfica tem uma área de drenagem de 30,74 km<sup>2</sup>, e apresenta relevo ondulado e montanhoso. A altitude em relação ao nível do mar varia de 340 e 900 m, e a precipitação média é de 2.000 mm nas zonas de planícies e 2.200 mm nas zonas de altitude (PINHEIRO *et al.*, 2010). O clima da região segundo Thornthwaite é Mesotérmico Úmido, sem estação seca definida.

Os solos na bacia hidrográfica, segundo Lubitz *et al.* (2013), são, em sua maioria, 66,17% de Cambissolos; 32,91% de Argissolos; e 0,92% de Gleissolos. O uso e ocupação do solo é dado principalmente por floresta nativa (45,1%), agricultura (15,7%), pastagem (17,5%), reflorestamento (14,4%), outros usos (área construída e expostas) (3,9%), regeneração (2,3%), e água (1,1%) (GOTARDO *et al.*, 2018). As principais atividades agrícolas são o cultivo de milho, feijão, arroz irrigado, fumo, mandioca e olerícolas (tomate e repolho), sendo que grande parte dos produtores utiliza técnicas simplificadas, como por exemplo, sistemas de cultivo convencional com revolvimento do solo por meio de aração e gradagem. Áreas de reflorestamento ocorrem principalmente nos locais de maior declividade, sendo as principais espécies o eucalipto e uma pequena parcela (de altitude) por *pinus ssp.* As áreas de pastagem são geralmente perenes, em geral de origem natural e não manejadas.

O trabalho considerou quatro tipologias de uso e ocupação do solo: dois locais em florestas nativas de Mata Atlântica (MA e MAS); uma em Agricultura (AG); uma em Pastagem (PT); e uma em Reflorestamento (RF). As áreas preservadas de Mata Atlântica foram consideradas como testemunha. As duas áreas se diferenciam em relação à altitude, sendo Mata Atlântica (MA) localizada em parte baixa (planície), onde as florestas se apresentam fragmentadas pela agricultura; e outra em parte alta (em estágio avançado de regeneração), chamada de Mata Atlântica Serra (MAS), que se apresenta mais preservada devido à dificuldade de acesso. A MA é um remanescente da Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de sucessão, com 1,88 ha e a uma altitude de 378 metros, em relevo ondulado. MAS possui característica parecida, porém localizada a uma altitude superior (734 m). O solo local é bem drenado e apresenta espessa camada orgânica, fruto da serrapilheira.

A área de agricultura (AG) é uma área com 0,5 ha de cultivo de milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) durante o verão, e de aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno. Neste local é adotado cultivo convencional com uso de aração, gradagem e plantio “morro abaixo”. No milho a adubação é realizada com adubo formulado N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (9-33-12) sendo usado entre 250-350 kg.ha<sup>-1</sup>, e complementado com 150 kg.ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e 150 kg.ha<sup>-1</sup> de [N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (9-33-12)] com aplicação de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de N (ureia) para o feijão.

A área de pastagem (PT) é coberta por grama batatais (*Paspalumnotatum*), mas também são encontradas outras espécies como: grama forquilha (*Paspalumnotatum fluegge*), capim caninha (*Andropogonlateralis*) e grama missioneira (*Axonopuspressus*). Nesta área é mantida a presença constante de gado.

A área de reflorestamento (RF) está a 357 metros de altitude, sendo que ela possui 0,5 ha de plantio de eucalipto da espécie *Eucalyptus grandis*. O RF foi implantado no ano de 2010 em uma área na qual vinha sendo usada como pastagem. Durante o estudo, as plantas apresentaram um diâmetro à altura do peito (DAP), que variou entre 20 e 30 cm. Este valor está relacionado ao fato de o produtor não ter adotado o manejo da desrama e do desbaste das plantas, e aos sucessivos períodos de estiagens ocorridas na região.

Em cada um dos locais foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em cinco profundidades (0-5, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), totalizando 50 amostras. As amostras indeformadas foram coletadas com cilindros de 3,0 cm de altura por 5,0 cm de espessura, sendo que estas foram acondicionadas em sacos plásticos identificados, posteriormente enviadas ao laboratório para preparação da terra fina seca ao ar (TFSA). No laboratório foram determinadas as características químicas e físicas em cada profundidade para cada um dos usos do solo. Os macronutrientes analisados foram: matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, alumínio (Al<sup>3+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), soma de bases (SB), troca de cátions (CTC), saturação por alumínio (Al), saturação por bases (V) e acidez trocável (H+Al); e os micronutrientes: cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe). Para a determinação destes elementos foram seguidos os métodos analíticos (EMBRAPA, 2007).

As características físicas determinadas foram textura (areia, silte e argila), densidade aparente, porosidade total, microporosidade, macroporosidade

e resistência à penetração em dois pontos de umidade. As análises da densidade aparente, micro e macroporosidade foram realizadas com base nos dados da constituição das curvas de retenção, realizadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). A textura do solo foi determinada através da análise do método da pipeta (EMBRAPA, 2007) e interpretada no triângulo textural. A porosidade foi determinada através das curvas de retenção, segundo Luciano *et al.* (2010). A compactação foi estimada por meio da resistência à penetração ou do índice de compactação do solo (IC) em dois pontos de umidade do solo (10 kPa e 300 kPa), por um penetrógrafo eletrônico de bancada.

Estatisticamente foi realizada a análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilks e pelo  $p$  normal. Utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis em uma distribuição teórica para todos os dados. Por sua vez dados foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste Tukey a 5% de significância. Com o objetivo de separar os usos de solo em grupos com características similares foi realizada a análise de agrupamento. Para verificar a correlação entre as variáveis foi realizada a análise de componentes principais (PCA). Os *softwares* utilizados foram o *Microsoft Office Excel* (2013) e o *Statistica* (STATSOFT, 2004).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

##### 3.1.1 Micronutrientes

As concentrações de macronutrientes apresentaram diferenças significativas entre os usos e as camadas de solo (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de macronutrientes no perfil para os diferentes usos de solo

(Continua)

Parâmetros	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		..... g kg <sup>-1</sup> .....				
MO (g dm <sup>-3</sup> )	5	36,23 Aa	14,35 Ab	38,96 Aa	30,76 Aa	38,96 Aa
	20	19,82 Ba	10,25 Bb	8,89 Ba	7,52 Ba	28,02 Ba
	40	12,99 Ba	4,78 Bb	4,78 Ba	10,25 Ba	12,99 Ba
	60	8,89 Ba	3,42 Bb	7,52 Ba	7,52 Ba	6,15 Ba
	80	6,89 Ba	3,42 Bb	6,15 Ba	4,78 Ba	11,62 Ba
	100	4,78 Ba	3,42 Bb	4,78 Ba	6,15 Ba	7,52 Ba
P (mg dm <sup>-3</sup> )	5	2,64 Aab	3,32 Aab	1,50 Aab	0,59 Aa	3,34 Ab
	20	1,15 Aab	3,33 Aab	0,91 Aab	0,74 Aa	2,48 Ab
	40	0,24 Aab	1,09 Aab	0,87 Aab	0,36 Aa	1,22 Ab
	60	1,08 Aab	1,02 Aab	0,65 Aab	0,46 Aa	2,10 Ab
	80	0,82 Aab	0,69 Aab	0,71 Aab	0,57 Aa	1,89 Ab
	100	0,68 Aab	0,81 Aab	0,56 Aab	0,56 Aa	0,77 Ab
pH (CaCl <sub>2</sub> ) (0,01 mol L <sup>-1</sup> )	5	3,57 Aa	4,69 Ab	4,59 Aab	4,22 Ab	5,13 Aab
	20	3,84 Aa	4,60 Ab	4,09 Aab	4,53 Ab	4,50 Aab
	40	3,86 Aa	4,80 Ab	4,01 Aab	4,87 Ab	4,05 Aab
	60	3,87 Aa	4,22 Ab	3,95 Aab	4,46 Ab	4,08 Aab
	80	3,91 Aa	4,08 Ab	3,91 Aab	4,16 Ab	4,14 Aab
	100	3,94 Aa	4,05 Ab	3,94 Aab	3,99 Ab	4,99 Aab
Al <sup>3+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	7,10 Aa	0,20 Ab	0,35 Aab	0,35 Ab	0,05 Aab
	20	5,95 Aa	0,35 Ab	2,40 Aab	0,30 Ab	1,45 Aab
	40	6,15 Aa	0,20 Ab	3,30 Aab	0,10 Ab	3,80 Aab
	60	6,40 Aa	2,60 Ab	5,90 Aab	1,45 Ab	4,40 Aab
	80	4,90 Aa	3,90 Ab	6,10 Aab	3,65 Ab	3,10 Aab
	100	7,10 Aa	4,45 Ab	5,95 Aab	5,10 Ab	6,15 Aab

(Continuação)

Parâmetros	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		g kg <sup>-1</sup>				
K <sup>+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	0,01 Aa	0,22 Aa	0,05 Aa	0,16 Aa	0,32 Aa
	20	0,03 Aa	0,21 Aa	0,08 Aa	0,15 Aa	0,10 Aa
	40	0,01 Aa	0,01 Aa	0,01 Aa	0,08 Aa	0,01 Aa
	60	0,01 Aa	0,01 Aa	0,01 Aa	0,12 Aa	0,01 Aa
	80	0,02 Aa	0,02 Aa	0,01 Aa	0,17 Aa	0,01 Aa
	100	0,03 Aa	0,01 Aa	0,05 Aa	0,19 Aa	0,01 Aa
Ca <sup>2+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	0,12 Aa	1,02 Aab	1,82 Aa	3,09 Ab	6,39 Aab
	20	0,07 Aa	1,87 Aab	0,77 Aa	3,29 Ab	3,12 Aab
	40	0,27 Aa	3,22 Aab	0,62 Aa	6,84 Ab	1,80 Aab
	60	0,15 Aa	2,67 Aab	0,57 Aa	4,27 Ab	0,25 Aab
	80	0,20 Aa	1,50 Aab	0,30 Aa	2,15 Ab	0,20 Aab
	100	0,22 Aa	1,27 Aab	0,22 Aa	0,70 Ab	0,22 Aab
Mg <sup>2+</sup> (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	0,12 Aa	0,70 Aa	1,60 Aa	1,56 Aa	0,99 Aa
	20	0,16 Aa	1,23 Aa	1,40 Aa	1,03 Aa	2,59 Aa
	40	0,16 Aa	0,58 Aa	0,21 Aa	0,86 Aa	1,23 Aa
	60	0,16 Aa	0,66 Aa	0,12 Aa	1,15 Aa	0,08 Aa
	80	0,12 Aa	0,86 Aa	0,12 Aa	0,86 Aa	0,04 Aa
	100	0,08 Aa	1,28 Aa	0,12 Aa	0,49 Aa	0,04 Aa
SB (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	0,25 Aa	1,94 Aab	3,47 Aab	4,81 Ab	7,70 Aab
	20	0,26 Aa	3,31 Aab	2,25 Aab	4,47 Ab	5,81 Aab
	40	0,44 Aa	3,81 Aab	0,84 Aab	7,78 Ab	3,04 Aab
	60	0,32 Aa	3,34 Aab	0,70 Aab	5,54 Ab	0,34 Aab
	80	0,34 Aa	2,38 Aab	0,43 Aab	3,18 Ab	0,25 Aab
	100	0,33 Aa	2,56 Aab	0,86 Aab	1,38 Ab	0,27 Aab
CTC (cmol dm <sup>-3</sup> )	5	19,05 Aa	5,76 Ab	8,43 Ab	12,05 Ab	13,32 Ab
	20	19,22 Aa	6,99 Ab	7,09 Ab	7,86 Ab	14,22 Ab
	40	16,64 Aa	6,40 Ab	10,67 Ab	11,20 Ab	14,20 Ab
	60	16,04 Aa	9,00 Ab	13,27 Ab	10,57 Ab	9,47 Ab
	80	16,91 Aa	10,66 Ab	14,51 Ab	11,22 Ab	10,46 Ab
	100	18,45 Aa	13,89 Ab	14,61 Ab	15,23 Ab	12,66 Ab

		(Conclusão)				
Parâmetros	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		g kg <sup>-1</sup>				
V (%)	5	1,31 Aa	33,68 Aab	41,16 Aab	39,92 Ab	57,81 Aab
	20	1,35 Aa	47,35 Aab	31,73 Aab	56,87 Ab	40,86 Aab
	40	2,64 Aa	59,53 Aab	7,87 Aab	69,46 Ab	21,41 Aab
	60	2,00 Aa	37,11 Aab	5,24 Aab	52,41 Ab	3,59 Aab
	80	2,01 Aa	22,33 Aab	2,96 Aab	28,34 Ab	2,39 Aab
	100	1,79 Aa	18,43 Aab	5,89 Aab	9,06 Ab	2,13 Aab
Al (%)	5	96,60 Aa	9,35 Aab	9,16 Aab	6,78 Ab	0,65 Aab
	20	95,81 Aa	9,56 Aab	51,61 Aab	6,29 Ab	19,97 Aab
	40	93,32 Aa	4,99 Aab	79,71 Aab	1,27 Ab	55,56 Aab
	60	95,24 Aa	43,77 Aab	89,39 Aab	20,74 Ab	92,83 Aab
	80	93,51 Aa	62,10 Aab	93,42 Aab	53,44 Ab	92,54 Aab
	100	95,56 Aa	63,48 Aab	87,37 Aab	78,70 Ab	95,79 Aab
H+Al (%)	5	18,80 Aa	3,82 Ab	4,96 Ab	7,24 Ab	5,62 Ab
	20	18,96 Aa	3,68 Ab	4,84 Ab	3,39 Ab	8,41 Ab
	40	16,20 Aa	2,59 Ab	9,83 Ab	3,42 Ab	11,16 Ab
	60	15,72 Aa	5,66 Ab	12,67 Ab	5,03 Ab	9,13 Ab
	80	16,57 Aa	8,28 Ab	14,08 Ab	8,04 Ab	10,21 Ab
	100	18,12 Aa	11,33 Ab	13,75 Ab	3,99 Ab	12,39 Ab

MA - Mata Atlântica; AG - Agricultura; PT - Pastagem; RF - Reflorestamento; MAS - Mata Atlântica Serra. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A MO apresentou as maiores concentrações na camada de 0 a 5 cm para todos os usos, sendo estes valores superiores a 40% do total presente no perfil do solo. Segundo Neto *et al.* (2018), o maior teor de MO se concentra na camada superficial do solo, originada principalmente da decomposição dos resíduos vegetais, animais e microrganismos. Na área agrícola foi evidenciada uma baixa concentração de MO no perfil (total de 39,64 mg dm<sup>-3</sup>), sendo 14,35 mg dm<sup>-3</sup> presentes na camada de 0 a 5 cm, e 10,25 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 5 a 20 cm. Ou seja, 62,1% da MO na área agrícola estão presentes na camada de até 20 cm. Os demais locais

apresentaram concentrações totais que variaram de 66,98 mg dm<sup>-3</sup> (mais baixa) para o RF a 98,26 mg dm<sup>-3</sup> (mais alta) para MAS, com concentrações elevadas até 40 cm de profundidade. Piazza *et al.* (2014), em um estudo realizado com dados superficiais especializados do solo na mesma bacia hidrográfica, também encontraram menores concentrações de MO em áreas agrícolas e maiores nas áreas de florestas. A área PT, que se esperava apresentar baixas concentrações de MO, no entanto, apresentou teores consideráveis na camada superficial. Acredita-se que o sistema radicular das gramíneas, também discutidos por Gazolla *et al.* (2015), tenha influenciado nestes valores. Este resultado foi confirmado durante as amostragens de solo, sendo que o solo amostrado apresentou um sistema radicular axial complexo e vigoroso até 20 cm de profundidade.

A baixa concentração de MO das áreas agrícolas foi associada ao tipo de manejo adotado, que ainda é o convencional. Este tipo de manejo promove a incorporação do material orgânico residual, aumentando a mineralização e reduzindo as concentrações de MO na camada superficial. Esta relação também foi encontrada por Sales *et al.* (2016) em um estudo sobre qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional. Além disso, áreas agrícolas são formadas por culturas anuais que fornecem baixas quantidades de material orgânico quando comparados às culturas perenes, como florestas. Por exemplo, Francelli e Dourado Neto (2004) e Maman *et al.* (2007), estudando a conversão de energia solar em matéria seca, verificaram taxas de crescimento máximo do milho de 6,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MO, bem abaixo das áreas de florestas, que podem chegar a um volume de até 9,4 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

As concentrações de P não variaram estatisticamente entre as camadas, entretanto os valores absolutos têm diferença entre a MA e o RF. Este resultado pode ser atribuído à exigência de P pelo eucalipto na fase inicial do desenvolvimento (DIAS *et al.*, 2015). Este resultado demonstra que apesar das sucessivas aplicações de P nas diversas regiões da bacia hidrográfica, este apresenta uma baixa dinâmica no solo, já que não houve alterações significativas nas concentrações ao longo do perfil, comparado com os outros usos. De acordo com a literatura, a maioria dos solos brasileiros é carente de P em função do material de origem do solo (MENDES, 2012).

Apesar de não apresentar diferença significativa entre as camadas, os solos estudados são relativamente ácidos em função dos baixos valores de pH (Tabela 1). Nas áreas agrícolas o resultado pode estar relacionado com a falta de calagem ou com a baixa mobilidade dos reagentes aplicados. Em um estudo sobre os efeitos da calagem para o crescimento radicular e da produtividade das culturas, Caires (2013) relatou a pouca influência da calagem em camadas de solo abaixo de 5 cm de profundidade. Para maiores profundidades, no entanto, Pauletti *et al.* (2014) encontraram influências da calagem nas camadas profundas do solo. Soratto e Crusciol (2008) relatam influência da calagem do solo em pequenas distâncias do local da aplicação. Entre os locais monitorados neste estudo, as diferenças de pH ocorreram entre MA, AG e RF, sendo que os demais usos não apresentaram diferença significativa. MA apresentou uma característica mais de ácida, com pH médio de 3,83. Nos demais usos a acidez foi menor, com valores dentro dos limites para o desenvolvimento das culturas. Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul os valores de referência variam de 5,5 a 6,5 (CQFSRSSC, 2016). AG teve valores maiores tendo em vista técnicas de aplicação de corretivos. O mesmo ocorreu para RF que pode ser explicado pela aplicação de corretivos no início do plantio, sendo que o reflorestamento, durante o período de amostragem, encontrava-se com seis anos de idade, e o efeito residual da calagem é de 5 a 10 anos.

O RF e a AG apresentaram as menores concentrações de  $Al^{3+}$ , com uma média de 1,83 e 1,95  $cmol\ dm^{-3}$ , respectivamente. O uso de adubos e corretivos no início do plantio, como é o caso de RF e AG, pode ter sido responsável pela redução da acidez do solo e das concentrações do  $Al^{3+}$  (RODRIGHERO *et al.*, 2009). MA apresentou a maior concentração média, com 6,27  $cmol\ dm^{-3}$ . Foi observado que áreas com menor influência antrópica tendem a possuir pH mais elevado e maiores concentrações de  $Al^{3+}$ , já que em solos ácidos (pH abaixo de 5,0) o  $Al^{3+}$  se torna mais solúvel.

Os valores de  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  não apresentam diferença significativa entre os usos e nem nas camadas de solo. De acordo com Castro *et al.* (2012), o  $Mg^{2+}$  não é retido, ficando predisposto à lixiviação e assim se distribui no perfil. Em relação ao  $K^+$ , Bernardi *et al.* (2015) relatam que concentrações de macronutrientes primários

em solos brasileiros normalmente são baixas devido às características litológicas. As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  diferiram entre os usos, com médias de 0,17 e 0,72  $\text{cmol dm}^{-3}$  nas áreas de MA e PT, respectivamente. O RF apresentou as maiores concentrações médias com 3,39  $\text{cmol dm}^{-3}$  e as áreas de AG e MAS com concentrações de 1,93 e 2,00  $\text{cmol dm}^{-3}$ , não diferindo estatisticamente. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo são resultados do manejo do solo, principalmente pela correção do solo com a aplicação de calcário (CAIRES; JORIS, 2016).

A SB, CTC, V%, Al%,  $\text{Al}^{3+}$  e H+Al não apresentaram diferenças significativas entre as camadas do solo, entretanto as diferenças ocorreram entre os usos. Para a SB os valores médios foram de 8,55  $\text{cmol dm}^{-3}$  para a MA e de 27,16  $\text{cmol dm}^{-3}$  para o RF. As maiores concentrações de CTC foram encontradas na MA com 17,72  $\text{cmol dm}^{-3}$  e a menor para a área de AG com 8,78  $\text{cmol dm}^{-3}$ . Resultado similar foi encontrado por Piazza *et al.* (2014) no mesmo local de estudo, não mostrando tendências. Este resultado mostra o equilíbrio da área MA devido à contribuição da serrapilheira. Os altos valores do CTC em MA estão ligados às altas concentrações de MO, que segundo Peixoto (2008), possui relação com o percentual de CTC total no solo.

A porcentagem da saturação por bases (V%) teve valores elevados em RF com 42,68%, enquanto a MA apresentou apenas 1,85%. Já a saturação por alumínio (Al%) apresentou valores elevados na MA (96,01%) e baixo no RF (27,87%). A MA também apresentou os maiores teores de acidez trocável (H+Al) (17,40%). Resultados similares foram encontrados por Freitas *et al.* (2014). Já as menores concentrações de H+Al foram para o RF e AG com 5,19% e 5,89%, respectivamente. De acordo com Campos *et al.* (2012), os altos valores de Al e H+Al estão relacionados com regime hídrico, onde as melhores condições de drenagem promovem a lixiviação das bases trocáveis.

### 3.1.2 Micronutrientes

O Zn apresentou concentrações que variaram de 0,90  $\text{mg dm}^{-3}$  (MAS) a 13,50  $\text{mg dm}^{-3}$  (RF) (Tabela 2). A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre usos e profundidades. Valores encontrados estão abaixo dos 60  $\text{mg kg}^{-1}$  estabelecidos como tóxicos às plantas, em solos arenosos e argilosos

(CQFSRSSC, 2016). Concentrações de Cu, no entanto, variaram entre usos, de 0,95 mg dm<sup>-3</sup> para MAS e 5,38 mg dm<sup>-3</sup> para o RF. As concentrações de Mn diferiram entre as profundidades, porém não entre as tipologias de uso. As maiores concentrações foram determinadas no perfil de 0 a 40 cm (Tabela 2), nas áreas de RF e AG, e as menores para MA. Abaixo de 40 cm não houve diferença significativa.

As concentrações de Fe diferiram entre usos e profundidades. No perfil, maiores concentrações estão presentes na camada superficial de 0 a 5 cm, com por exemplo, RF com 156,20 mg dm<sup>-3</sup>, MAS com 155,00 mg dm<sup>-3</sup>, MA com 151,10 mg dm<sup>-3</sup> e a PT com 99,70 mg dm<sup>-3</sup>. A AG apresentou concentração de acordo para aquelas encontradas para solos brasileiros (de 35 mg dm<sup>-3</sup>) (FREITAS *et al.*, 2014).

**Tabela 2.** Micronutrientes nos diferentes usos do solo para as profundidades de 0 a 100 cm (Continua)

Espécie química	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		.....g kg <sup>-1</sup> .....				
Cobre (Cu)	5	1,50 Aab	2,50 Abc	2,30 Aab	5,10 Ac	1,90 Aa
	20	2,50 Aab	4,30 Abc	3,80 Aab	4,10 Ac	0,60 Aa
	40	3,00 Aab	4,30 Abc	2,80 Aab	3,60 Ac	0,70 Aa
	60	2,70 Aab	3,90 Abc	2,70 Aab	6,40 Ac	0,70 Aa
	80	2,60 Aab	2,40 Abc	3,10 Aab	9,80 Ac	1,00 Aa
	100	2,90 Aab	2,40 Abc	2,30 Aab	3,30 Ac	0,80 Aa
Zinco (Zn)	5	1,40 Aa	3,10 Aa	2,90 Aa	13,50 Aa	1,30 Aa
	20	2,40 Aa	9,80 Aa	3,10 Aa	7,00 Aa	1,30 Aa
	40	1,80 Aa	4,70 Aa	1,00 Aa	1,70 Aa	0,90 Aa
	60	1,30 Aa	1,60 Aa	1,60 Aa	4,30 Aa	1,00 Aa
	80	1,30 Aa	1,80 Aa	1,40 Aa	2,90 Aa	0,90 Aa
	100	1,30 Aa	1,70 Aa	1,10 Aa	2,30 Aa	1,10 Aa
Manganês (Mn)	5	9,70 Aba	13,90 Aba	67,10 Aba	110,80 Aba	86,60 Aba
	20	12,00 Aa	107,40 Aa	47,30 Aa	105,40 Aa	77,60 Aa
	40	5,60 Aba	86,90 Aba	15,40 Aba	82,00 Aba	16,30 Aba
	60	4,60 Ba	10,00 Ba	8,20 Ba	13,30 Ba	11,30 Ba
	80	2,20 Ba	3,10 Ba	6,80 Ba	3,30 Ba	8,80 Ba
	100	2,80 Ba	3,90 Ba	3,80 Ba	2,10 Ba	7,90 Ba

(Conclusão)

Espécie química	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		.....g kg <sup>-1</sup> .....				
Ferro (Fe)	5	151,10 Bab	35,50 Aa	99,70 Bab	156,20 Bab	155,00 Bba
	20	123,70 Aab	67,50 Aa	97,70 Aab	63,80 Aab	109,00 Aba
	40	98,20 Aab	56,10 Aa	51,90 Aab	45,90 Aab	131,50 Aba
	60	53,30 Aab	34,10 Aa	51,60 Aab	37,50 Aab	147,20 Aba
	80	30,10 Aab	30,00 Aa	51,50 Aab	35,90 Aab	143,50 Aba
	100	31,30 Aab	30,80 Aa	49,20 Aab	26,40 Aab	116,50 Aba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

#### 3.2.1 Análise Granulométrica

Solos foram classificados em Argilosos e Franco Argilosos (Tabela 3). Em relação à concentração de areia, não houve diferença entre as profundidades, apenas nos usos do solo, sendo que maiores concentrações de areia foram encontradas em MAS com média de 397,98 g kg<sup>-1</sup> no perfil, seguido pela MA com 115,64 g kg<sup>-1</sup> e RF com 212,42 g kg<sup>-1</sup>, os demais usos não apresentaram diferença estatística.

**Tabela 3.** Teor de areia, silte e argila nos diferentes usos e profundidades, bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia, Lontras (SC) (Continua)

Parâmetro	Perfil (cm)	MA	AG	PT	RF	MAS
		.....g kg <sup>-1</sup> .....				
Areia	5	138,06 Aa	368,96 Ab	284,04 Aab	355,17 Aab	422,84 Ac
	20	142,83 Aa	384,53 Ab	317,36 Aab	330,28 Aab	399,44 Ac
	40	124,06 Aa	274,42 Ab	249,75 Aab	186,36 Aab	399,04 Ac
	60	108,00 Aa	237,70 Ab	170,58 Aab	168,48 Aab	403,75 Ac
	80	87,75 Aa	195,52 Ab	157,40 Aab	160,09 Aab	396,69 Ac
	100	93,18 Aa	151,11 Ab	164,25 Aab	74,11 Aab	366,19 Ac

Parâmetro	Perfil (cm)	(Conclusão)				
		MA	AG	PT	RF	MAS
		..... g kg <sup>-1</sup> .....				
Silte	5	385,44 Aa	458,54 Aa	529,41 Aa	494,33 Aa	401,16 Aa
	20	419,67 Aba	434,97 Aba	441,37 Aba	425,22 Aba	400,56 Aba
	40	414,44 Aba	393,08 Aba	440,75 Aba	349,14 Aba	394,46 Aba
	60	328,50 Aba	338,30 Aba	435,92 Aba	327,02 Aba	359,67 Aba
	80	354,75 Aa	335,48 Aa	392,60 Aa	270,41 Aa	411,81 Aa
	100	325,32 Ba	273,39 Ba	432,25 Ba	258,38 Ba	364,81 Ba
Argila	5	476,50 Aa	172,50 Aa	186,55 Aa	150,50 Aa	176,00 Aa
	20	437,50 Aba	180,50 Aba	241,27 Aba	244,50 Aba	200,00 Aba
	40	461,5 Aba	332,5 Aba	309,5 Aba	464,5 Aba	206,5 Aba
	60	563,50 Aba	424,00 Aba	393,50 Aba	504,50 Aba	236,58 Aba
	80	557,50 Aba	469,00 Aba	450,00 Aba	569,50 Aba	191,50 Aba
	100	581,50 Ba	575,50 Bab	403,50 Bab	667,51 Ba	269,00 Bb
Classe textual		Argiloso	Franco argiloso	Franco argiloso	Argiloso	Franco

**Legenda:** Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

As concentrações de argila diferiram tanto em profundidade como em usos. As menores concentrações de argila se encontram na camada superficial e aumentam nas camadas mais profundas. Valores médios variam de 232,41 g kg<sup>-1</sup> na camada superficial (5 cm) com um aumento gradativo até 449,40 g kg<sup>-1</sup> (100 cm). Este resultado é fruto do processo de eluviação, no qual as partículas mais finas (argilas) são translouçadas dos horizontes superficiais para os subsuperficiais através dos macroporos (BRADY; WEILL, 2013). A menor concentração de argila foi encontrada na MAS com uma média 213,26 g kg<sup>-1</sup>. As maiores concentrações foram encontradas na MA e no RF, com 513,26 g kg<sup>-1</sup> e 433,50 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Concentrações de silte variaram em relação à profundidade (Tabela 2). Maiores concentrações foram determinadas nas profundidades até 5 cm (453,77 g kg<sup>-1</sup>) e as menores nas camadas mais profundas (330,83 g kg<sup>-1</sup>).

Concentrações granulométricas parecem não apresentar diferenças em relação ao manejo do uso do solo, e sim pela formação geológica, pois, apesar

de MAS ser o mesmo tipo de solo, trata-se de uma deposição geológica diferente, formada por escorregamentos e não pela formação natural de solo.

### 3.2.2 Densidade e Porosidade

A densidade não variou ao longo do perfil (Figura 1A). Entre os usos, no entanto, AG, PT, apresentaram as maiores densidades médias de solo  $1,70 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,67 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente. Estes valores estão relacionados ao manejo, que promove perturbação ao solo (aumento da densidade). De acordo com Portugal (2009) o preparo do solo e a presença de máquinas e animais tendem a alterar a estrutura física do solo. Para PT, especialmente a presença de animais, é principal causador da compactação da camada superficial, também encontrado por Santana *et al.* (2007). Menores densidades foram observadas em MA (média de  $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ ) e MAS (média de  $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ ). A baixa densidade nestas áreas é justificada pela baixa interferência antrópica, que deixa o solo natural para percolação, também encontrado por Viana *et al.* (2011).

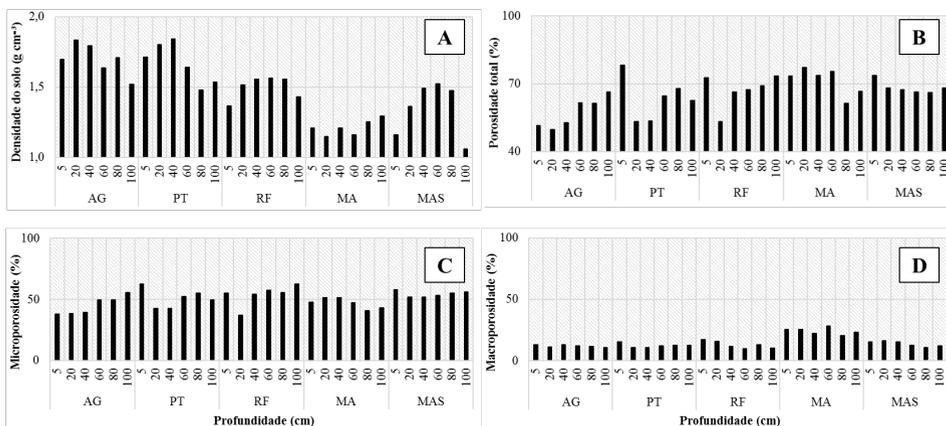


Figura 1. Densidade (A); porosidade total (B); microporosidade (C); e macroporosidade (D).

A porosidade não apresentou diferença estatística entre as camadas do solo (Figura 1B, 1C e 1D). Diferença ocorreu em relação às classes de poros. A porosidade média total foi de 65,42%, sendo MA o uso com a maior porosidade (71,28%) e AG com a menor (57,21%). Importante destacar que a microporosidade

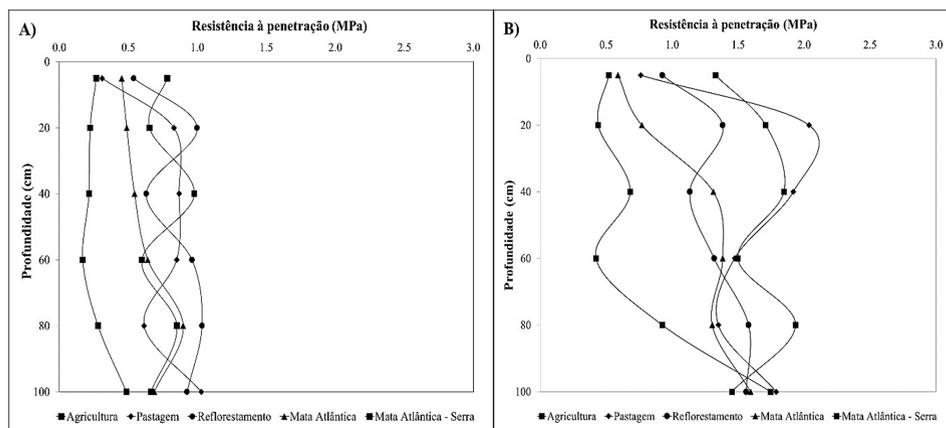
foi a classe mais representativa, com 50,25% da porosidade total e a macroporosidade com apenas 15,18%. MAS foi a classe de uso que apresentou o maior volume de microporos (54,43%) e AG a menor (45,18%). Já para a macroporosidade, MA foi a classe com o maior volume de poros (4,34%), e AG novamente apresentou o menor valor (12,03%). Esses valores baixos referentes à área AG podem estar atribuídos ao manejo do solo, que no local é predominantemente convencional. Este tipo de manejo tende a promover a desestruturação do solo e conseqüentemente a redução dos poros, por meio do aumento da densidade. Segundo Bertol (2011) a produção agrícola associada às práticas intensivas proporciona modificações nas características físicas (estruturais) dos solos, aumentando a compactação, densidade, resistência à penetração e redução de macro e microporos. Este fato é afirmado por vários autores, que recomendam sistemas conservacionistas para uma melhora da preservação dos recursos hídricos, por meio do aumento da infiltração e de retenção de água no solo (CASTELLANO; VALONE, 2007; DALMAGO *et al.*, 2009). Fato este que foi verificado nos resultados da Figura 1, em que áreas florestais proporcionaram melhores condições de estruturação e volume de poros. Marasca *et al.* (2013) encontraram resultados semelhantes para as áreas de floresta quando comparados às áreas agrícolas sob sistemas conservacionistas.

### 3.2.3 Resistência à Penetração

Os sistemas de manejo diferiram em relação a valores de resistência à penetração (RP). Em condições de capacidade de campo (CC) (Figura 2A) para o solo úmido, MAS apresentou as menores resistências a penetração, com média de 0,27 MPa. Resultado semelhante foi encontrado por Souza *et al.* (2018), que não verificaram restrição ao desenvolvimento radicular em ambientes florestais em virtude da baixa compactação. Os demais usos não apresentaram diferença significativa, com médias de 0,85 (RF), 0,75 (AG) e 0,62 (MA) Mpa.

Para a condição de solo seco (Figura 2B), RP apresentou diferenças entre usos. Mesmo com pouca umidade, a MAS novamente apresentou a menor resistência à penetração, com uma média de 0,75 Mpa. Este resultado demonstra que a resistência à penetração está associada à retenção de água, que diferiu entre

os pontos. Cunha *et al.* (2002) observaram um aumento da umidade no solo com consequente redução nas forças de coesão sobre as partículas, promovendo redução na RP. A maior RP foi em AG com uma média de 1,63 MPa. Estudos associam maior RP a práticas de manejo, tráfego de máquinas, deposição de sedimentos e pisoteio animal (MAGALHÃES *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PALMA *et al.*, 2013; OHLAND *et al.*, 2014). De acordo com Spera *et al.* (2010), os principais impactos da presença de animais ocorrem na camada de 0 a 10 cm de profundidade, também observado.

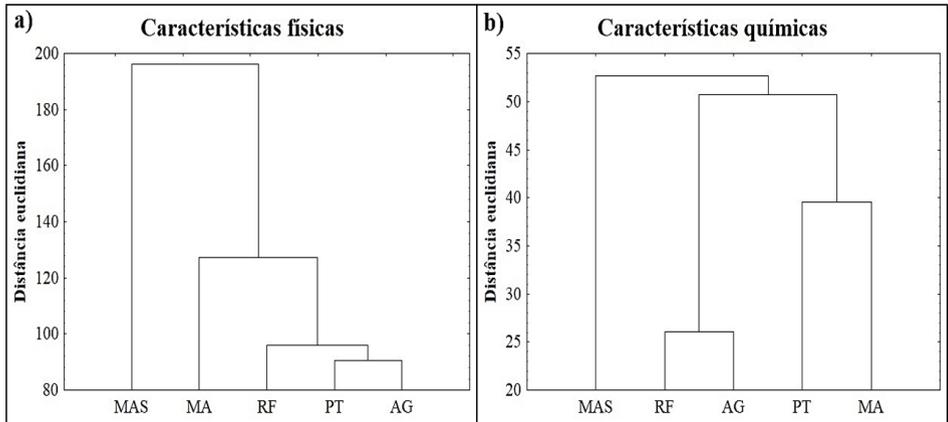


**Figura 2.** Resistência à penetração para os diferentes usos em condição úmida (A) e seca (300 kPa) (B) AG - agricultura; PT - Pastagem; RF - Reflorestamento; MA - Mata Atlântica; MAS - Mata Atlântica Serra.

### 3.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO E COMPONENTES PRINCIPAIS

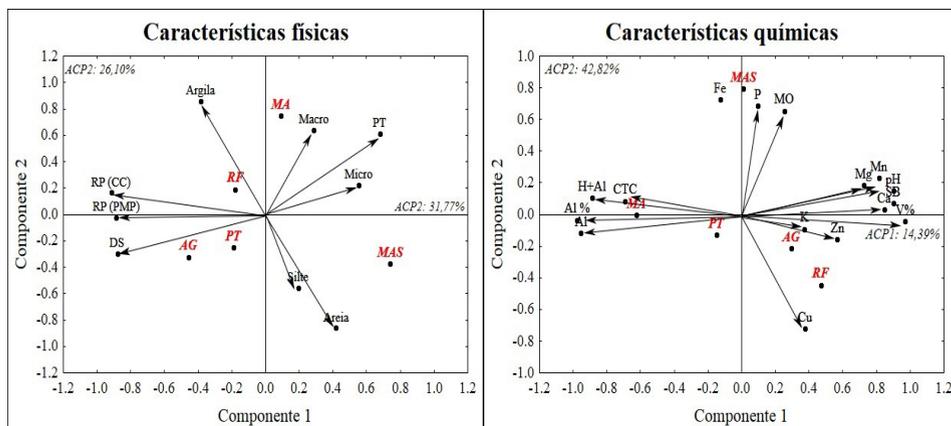
A distância euclidiana (Figura 3A) foi menor para as classes de uso AG e PT, e em seguida RF, que são usos associados às atividades agrícolas. MA e MAS tiveram as maiores distâncias, indicando diferença. A MAS foi a classe que apresentou características físicas mais diferentes.

Na Figura 3B dois grupos principais foram formados, RF e AG associados à adubação e calagem, com baixo acúmulo de MO, e outro com PT e MA, usos não manejados com maiores concentrações de MO. Este resultado foi, em parte, observado por Ferreira *et al.* (2014).



**Figura 3.** Dendrograma para características físicas (A) e químicas (B); MA - Mata Atlântica; PT - Pastagem; AG - Agricultura; RF - Reflorestamento; MAS - Mata Atlântica Serra.

A análise de componentes principais com as características físicas (Figura 4A), explicou 63% da variância (CP1 com 40% e CP2 com 23%), e para características químicas (Figura 4B), foram explicados 57% da variância (CP1 com 42,83% e CP2 com 14,39%). MAS foi a classe que apresentou o comportamento mais distinto das demais, tanto para condições físicas como químicas. As variáveis correlacionadas para as características físicas foram micro, macro e porosidade para o eixo 1 (Figura 4A). No entanto para as variáveis correlacionadas pelo eixo 2 foram silte e areia. Para características químicas, de acordo com CP2, MO, Fe e P, foram as variáveis que mais diferenciaram, MAS das outras. MAS possui características distintas de textura do solo (com maior teor de areia), pelas altas concentrações de MO e P (forma orgânica) e pelas concentrações de Fe provindo do intemperismo das rochas.



**Figura 4.** Ordenação da análise de componentes principais para variáveis físicas (A) e químicas (B) MA - Mata Atlântica; PT - Pastagem; AG - Agricultura; RF - Reflorestamento; MAS - Mata Atlântica Serra.

MA apresentou correlação com informações de porosidade (Figura 4A). As áreas agrícolas (RT, PT e AG), por outro lado, apresentaram correlação com teor de argila, RP e densidade do solo. Essas associações estão possivelmente relacionadas ao manejo do solo, como aração e gradagem, que ocorrem frequentemente na região, e alteram o teor de argila, aumentando a compactação e a densidade, e reduzindo a microporosidade. A Figura 4B mostrou que MA possui relação com Al%, H+Al, CTC e Al. Esta relação é explicada pela lixiviação das bases trocáveis promovidas pelas condições de drenagem das áreas florestadas (CAMPOS *et al.*, 2010; CAMPOS *et al.*, 2012). As áreas de AG e RF apresentaram uma associação com o Cu, K, Zn, K, Mg, Mn, pH, SB, Ca e V%, em virtude de processos como adubação e calagem. De acordo com Alcarde *et al.* (2005) e Burg *et al.* (2013) a aplicação de calcário e adubações modificam os teores de macro e micronutrientes, soma de bases, elevação do pH, elevação da saturação de base, além de fornecer Ca e Mg ao solo.

#### 4 CONCLUSÃO

As ações antrópicas no solo, principalmente pela agricultura, através dos diferentes sistemas de cultivo influenciam características físicas e químicas do solo. Áreas preservadas (MA e MAS) apresentaram condições mais favoráveis de

estruturação do solo, quando comparadas aos usos agrícolas (AG, PT e RF). Para as condições químicas, resultados mostraram que o manejo agrícola teve uma melhora das características químicas em virtude da adubação e calagem. As análises de granulometria mostraram que ao longo do perfil as frações de silte, argila e areia não tiveram diferença estatística entre os usos, demonstrando que o manejo dessas áreas não altera as concentrações granulométricas ao longo do perfil. A análise de agrupamento associou grupos com áreas agrícolas (AG, RF e PT) e mostrou a diferença entre as áreas naturais. A análise de componentes principais apresentou de forma global influências de características físicas e químicas sobre as classes de uso e ocupação do solo.

## REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**. São Paulo: ANDA, 2005.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 31, p. 617-625, 2007.

AMARAL CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MENEGALE, M. L. Calagem e silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais e braquiária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 740-748, 2012.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H, T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 999-1011, 2011.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo

da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 205-221, 2015.

BERTOL, O. J. **Conservação de Solos e Água**. Curitiba: CREA-PR, 2011. 28 p. (Série Cadernos Técnicos de Agenda Parlamentar).

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006.

BOLDAJIA, M. N.; KELLERB, T. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. **Soil and Tillage Research**, v. 159, p. 41-46, 2016.

BRADY, N. C.; WEILL, R. Y. **The nature and properties of soils**. 13. ed. N. Jersey: Prentice Hall, 2013. 958 p.

BURG, G.; DEAK, E.; SCHMIDT, M. R.; BEUTLER, A. N.; GALON, L.; GIACOMELI, R. Efeito do calcário líquido nas características químicas do solo. **Revista Salão de Pesquisa**, v. 5, n. 2, p. 93, 2013.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto. **Informações Agronômicas**, n. 141, p. 1-28, 2013.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **Informações Agronômicas**, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012.

CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism. **Journal of Arid Environments**, v. 71, n. 1, p. 97-108, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS/RS-SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Núcleo Regional Sul, 2016. 375 p.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855-864, 2009.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SIMONETE, M. A.; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* maiden e *Eucalyptus benthamii* maiden et cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (ed.). **Methods for Assessing Soil Quality**: Soil Science Society of America. Madison, WI, 1996. (Special Publication 49), p. 25-37.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Ciência do Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro. 1997, 212 p.

FRANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. OLIVEIRA, V. M. R. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JÚNIOR, P. R. S.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 155-164, 2014.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, V. M. R.; OLIVEIRA, I. A.; MORETI, T. C. F. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob

vegetação nativa. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 523, 2014.

GAZOLLA, P. R.; RONI, F. G.; PERIN, A.; PEREIRA, G. M.; CELESTA, Q. R. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E. Evapotranspiração potencial (ETP) e real (ETR) para diferentes usos da terra em uma bacia hidrográfica no Sul do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 8, 2018.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. *In*: EVALUATION on for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2 ISBRAM. Proc. 12(2) Int. Board for Soil Research and Management. Bangkok, Tailândia, 1991.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, A. S. F.; GALVAO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258-265, 2010.

LUBITZ, E.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Simulação do transporte de sedimentos, nitrogênio e fósforo na bacia do ribeirão Concórdia, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 39-54, 2013.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; PÉRTILE, P. **Métodos de análises físicas do solo**. [s.l.]: Centro de Ciências Agrovetinárias - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. 2010. p. 44.

MAGALHÃES, W. Z.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Revista Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

MAMAN, A. P.; SILVA, C. J.; SGUAREZI, E. M.; BLEICH, M. E. Produção e acúmulo de serapilheira e decomposição foliar em mata de galeria e cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 71- 84, 2007.

MARASCA, I.; GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H.; BALLARIN, A. W.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1160-1166, 2013.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista de Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MENDES, F. F. **Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical**. Lavras: UFLA, 2012. 134 p.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, p. 1395-1406, 2012.

NETO, A. B. B.; SANTOS, C. R. C.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; VICTÓRIA, I.; GUIMARÃES, P.; SOUZA, P. I. A. Matéria orgânica e atributos físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 147-164, 2018.

OHLAND, T.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho eutroférrico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 5, p. 622-630, 2014.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONSELOS, R. F. B.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R. Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 914-920, 2010.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; SOUZA, P.; SILVA, J. A. Resistência do solo à penetração em cafezais cultivados com sistema mecanizado e manual. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 364-370, 2013.

PAULETTI, V.; PIERR, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, Viçosa, p. 495-505, 2014.

PEIXOTO, M. de F. da S. P. **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo**. [s.l.]: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Biologia do solo, 2008.

PIAZZA, G. A.; DEPINÉ, H.; KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A.; GONÇALVES JR, A. C.; OLIVEIRA, M. H. C. Spatial distribution of soil attributes in the Concórdia river watershed in southern Brazil. **Environmental Quality Management**, v. 24, p. 1-12, 2014.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; ZUCCO, E.; DEPINE, H.; CASTRO, N. M. R.; SOARES, P. A.; PERAZZOLI, M. Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço hídrico em áreas agrícolas com cultivo de milho (zea mays) através de uso de lisímetro. **Revista de estudos ambientais**, v. 12, n. 1, p. 73-81, 2010.

PROKOP, P.; PŁOSKONKA, D. Natural and human impact on the land use and soil properties of the Sikkim Himalayas piedmont in India. **Journal of Environmental Management**, v. 1, n. 138, p. 15-23, 2014.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 25-31, 2004.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 39, p. 1723-1736, 2015.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SANTANA, A. V.; FERREIRA, E. M.; GUIMARÃES, L. E.; CALIL, F. N.; TSAI, H. M. Resistência à penetração em solo sob sistema integração lavoura-pecuária-floresta,

pasto convencional e mata nativa do cerrado. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 26-75, 2014.

SCUSSEL, C. **Fragmentação de habitat em Floresta Ombrófila Densa no sul do Brasil**: uma análise baseada em métricas da paisagem. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC.

ŠIMANSKÝ, V. Changes in soil organic matter parameters during the period of 18 years under different soil management practices. **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 62, p. 149-154, 2017.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SOS - Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2014-2015**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; Instituto Nacional das Pesquisas Espaciais, 2015.

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de Capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 51-64, 2018.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 32, p. 37-44, 2010.

STATSOFT, INC. **Statistica for Windows**: Computer program manual. Tulsa, 2004.

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

TURNER, B.; LAMBIN, E.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

TWUM, K. A.; NII-ANNANG, S. Impact of soil compaction on bulk density and root biomass of *Quercus petraea* L. at reclaimed post-lignite mining site in Lusatia, Germany. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 1, p. 1-5, 2015.

VIBRANS, A. C.; MCROBERTS, R. E.; MOSER, P.; NICOLETTI, A. L. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. **Remote Sensing of Environment**, v. 130, p. 87-95, 2013.

*Recebido em: 29/05/2018*

*Aceito em: 09/08/2019*