

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CAMPUS JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO  
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA  
(SUTs)**

**Janaína Ferreira Guidolini**

Engenheira Agrônoma

**2015**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CAMPUS JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO  
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA  
(SUTs)**

**Janaína Ferreira Guidolini**

**Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Co-orientadora: Maria Teresa Vilela Nogueira Abdo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**2015**

Guidolini, Janaína Ferreira  
G948a Atributos físicos e químicos de um Argissolo sob diferentes  
Sistemas de Uso da Terra (SUTs)/Janaína Ferreira Guidolini. --  
Jaboticabal, 2015  
v, 50 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Banca examinadora: Zigomar Menezes de Souza, Itamar  
Andrioli

Bibliografia

1. solo-qualidade. 2. Análise multivariada. 3. solo-conservação.  
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 631.4



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA (SUTs)

**AUTORA:** JANAÍNA FERREIRA GUIDOLINI

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

**CO-ORIENTADORA:** Profa. Dra. MARIA TERESA VILELA NOGUEIRA ABDO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA

Universidade Estadual de Campinas / Campinas/SP

Data da realização: 20 de fevereiro de 2015.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**JANAÍNA FERREIRA GUIDOLINI** – nascida em Uberaba– MG, em 24 de outubro de 1987. Formou-se em Tecnologia em Gestão Ambiental (2009) e Engenharia Agrônômica (2013) pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba-MG. Coursou especialização em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental (2012) e Geomática (2015). Durante a graduação estagiou no laboratório de análise física do solo e no setor de minhocultura e compostagem. Foi bolsista de iniciação científica no período de 2010 a 2012. Realizou estágio na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Solos). Atua principalmente na área de manejo sustentável de bacias hidrográficas, geoprocessamento e manejo e conservação do solo e da água. Em agosto de 2013 ingressou no curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como bolsista da CAPES.

*“A única coisa que importa é colocar em prática, com sinceridade e seriedade,  
aquilo em que se acredita.”*

*Dalai Lama*

## **DEDICO**

Aos meus pais Abigail Ferreira Guidolini e Marcos Donizetti Guidolini,  
pelo amor incondicional e por estarem sempre ao meu lado.

## **OFEREÇO**

Ao meu namorado, Haron Bregolato Freiri, pela paciência, força e incentivo  
para que eu conseguisse alcançar mais este objetivo.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela dádiva da vida.

Aos meus pais e todos familiares pela força, incentivo e paciência na elaboração final do trabalho.

Ao Haron Bregolato Freiri, pelo incentivo, carinho e compreensão nos momentos mais complicados.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade.

À Profa. Teresa Cristina Tarlé Pissarra pela oportunidade, orientação e disposição durante a realização do curso e deste trabalho. Além de orientadora, é uma grande amiga.

À Dra. Maria Teresa Vilela Nogueira Abdo pela excelente co-orientação e amizade. Toda ajuda foi essencial para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Diretor Técnico da APTA, Antônio Lúcio Mello Martins, por permitir a realização do experimento.

Aos estagiários da APTA: Paulo Sérgio Cordeiro Júnior, Fernanda Fernandes Salazar, Tales Henrique Dias Chaves e Luiz Eduardo Lamana e estagiária da Profa. Teresa, Jandyra, pela grande ajuda nas coletas de solo. Sem vocês, não teria conseguido finalizar este trabalho.

A todos os colaboradores da APTA, especialmente o Zé, pela ajuda nas coletas, e Tia Zilda, por ter me recebido tão bem, com aquele cafezinho gostoso toda manhã, antes de iniciar o trabalho.

Aos colaboradores do Laboratório de Fotointerpretação Izilda e Ronaldo pela atenção, carinho, paciência e toda ajuda que me foi dada.

Ao secretário do departamento de Engenharia Rural, Davi, por todo auxílio em relação ao transporte.

Ao Laboratório de Análise do Solo da Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Catanduva, pelas análises granulométricas e de fertilidade.

Ao amigo Renato Eleotério de Aquino por dispor parte do seu tempo e pela paciência ao me ensinar a fazer as análises físicas de solo.

Ao Professor José Marques Júnior, pela disposição em me auxiliar sempre que precisei.

Aos professores que constituíram a minha banca de qualificação e defesa de dissertação pelas valiosas contribuições para melhoria do meu trabalho.

Aos meus professores e orientadores da graduação Renato Farias do Valle Júnior e Vera Lúcia Abdala por todo conhecimento que compartilharam. Vocês contribuíram imensamente para que eu alcançasse meu objetivo.

Ao meu amigo Mauro Ferreira Machado, pela força e incentivo pra que eu tentasse o processo seletivo do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –CAPES- pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação, especialmente Branca Rochidali, e aos funcionários da Biblioteca da FCAV, pelo atendimento e auxílio.

Aos amigos do laboratório de Fotointerpretação e colegas de pós-graduação, Hygor, Lucas, Gil, Bia, Michele, Renata, Anildo, Amanda, Franciele, Vinícius, Juno, Jacqueline, Marina, Eliza, Ludmila, Ivanildo, Alessandra, Suellen, Carla e Carol, pelo companheirismo, sugestões e pelos bons momentos que me proporcionaram fora da faculdade também.

A todos os meus amigos e colegas dentro e fora da Universidade, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de mais essa etapa na minha vida.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE TABELAS .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	v
1 INTRODUÇÃO .....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1    Sistemas de Uso da Terra (SUTs) .....	8
2.2    Atributos físicos do solo.....	11
2.3    Atributos químicos do solo .....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1    Caracterizações da área de estudo.....	17
3.2    Descrição do solo .....	18
3.3    Descrições dos SUTs e delineamento amostral.....	20
3.4    Coleta e preparo das amostras de solo.....	22
3.5    Determinação dos atributos físicos .....	23
3.6    Determinação dos atributos químicos .....	24
3.7    Análise dos dados .....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1    Atributos físicos do solo .....	26
4.2    Atributos químicos do solo .....	34
5 CONCLUSÕES .....	44
REFERÊNCIAS.....	45

## **ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA (SUTs)**

**RESUMO** - O estudo das transformações que ocorrem no solo, devido ao uso e manejo, é muito importante na escolha do sistema mais adequado para recuperar a potencialidade do solo. Com o objetivo de avaliar o efeito dos diferentes SUTs, na qualidade física e química do solo, foram analisados: textura, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade gravimétrica, densidade do solo, pH, CTC, H+Al, V%, Ca, Mg, MO, COT, P e K. Os SUTs analisados foram: mata nativa, reflorestamento com eucalipto, sistema agroflorestal e pastagem. As amostras de solo foram coletadas em um Argissolo Vermelho Amarelo no Polo Regional Centro Norte, município de Pindorama-SP, nas profundidades de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m. Para tanto, coletou-se amostras compostas deformadas (análise química e textural) e amostras indeformadas (anel volumétrico). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise estatística. Foi feita análise de agrupamento hierárquico e Análise de Componentes Principais (ACP). O solo da mata nativa foi utilizado como testemunha para fins de comparação, por se tratar de um sistema em equilíbrio e sem histórico de atividade antrópica. Os atributos físicos foram satisfatórios em todos os SUTs. O manejo inadequado do solo está causando degradação do mesmo com relação à fertilidade, nos sistemas estudados. A análise multivariada permitiu a separação dos SUTs.

**Palavras-chave:** qualidade do solo, análise multivariada, conservação do solo

## PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A ALFISOL UNDER DIFFERENT LAND USE SYSTEMS

**ABSTRACT** - The study of the transformations occurring in the soil due to the use and management is very important to choose the most appropriate system to regain ground potential. In order to evaluate the effect of different SUTs, physical quality and soil chemistry were analyzed for texture, macro and micro, total porosity, gravimetric moisture, bulk density, pH, CTC, H + Al, V%, Ca, Mg, MO, TOC, P and K. The SUTs analyzed were: native forest, reforestation with eucalyptus, agroforestry and pasture. Soil samples were collected in a Yellow Ultisol at the Polo Regional Centro Norte, city of Pindorama-SP at depths from 0.00 to 0.20 | 0.20 to 0.40 m. For this observation, is deformed composite samples (chemical and textural analysis) and soil samples (volumetric ring). Later, the data were statistically analyzed. Hierarchical cluster analysis was made and Principal Component Analysis (PCA). The soil of the native forest was used as a reference for comparison, because it is a system in balance and without human activity history. The physical attributes were satisfactory in all SUTs. Inadequate soil management are causing degradation of the same with respect to fertility, the studied systems. Multivariate analysis allowed the separation of SUTs.

**Keywords:** physical and chemical quality of the soil, multivariate analysis, soil conservation

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Características morfológicas dos solos do Pólo Regional Centro Norte, Pindorama – SP, pertencentes à unidade Pindorama, Táboa e Concreção. ....	20
Tabela 2. Análise granulométrica do solo nos SUTs e nas profundidades.....	26
Tabela 3. Classificação textural do solo, segundo Embrapa (2013).....	27
Tabela 4. Valores de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e umidade gravimétrica, em função dos tratamentos e profundidades amostradas.....	28
Tabela 5. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas do solo .....	33
Tabela 6. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas.....	33
Tabela 7. Caracterização dos atributos químicos nos SUTs e profundidades amostradas .....	35
Tabela 8. Classificação dos atributos químicos do solo sob mata nativa, eucalipto, pastagem e SAF, segundo Raij (2011).....	35
Tabela 9. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para a análise granulométrica e atributos químicos do solo.....	39
Tabela 10. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propriedade – Polo Regional Centro Norte, Pindorama – SP e áreas amostrais.....	22
Figura 2. Imagem dos SUTs no Polo Regional Centro Norte. (1) Mata Nativa, (2) Eucalipto, (3) SAF e (4) Pastagem.....	23
Figura 3. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis analisadas.....	31
Figura 4. Análise de Componentes Principais das médias dos atributos físicos dos SUTs estudados.....	32
Figura 5. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis.....	38
Figura 6. Análise de Componentes Principais (ACP) com base nos atributos químicos do solo nas diferentes áreas estudadas na profundidade 0,0-0,20 m.....	40
Figura 7. Análise de Componentes Principais (ACP) com base nos atributos químicos do solo nas diferentes áreas estudadas na profundidade 0,20-0,40 m.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está relacionada com a sua funcionalidade dentro dos ecossistemas naturais ou manejados e significa a capacidade deste em sustentar a capacidade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais e manter a qualidade ambiental. Essa capacidade resulta de interações entre inúmeros processos químicos, físicos e biológicos de natureza complexa e sofre alterações com o manejo. O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação da sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo, o que muitas vezes pode ser de difícil reversão.

A remoção da vegetação natural geralmente causa grandes alterações edáficas, mas, em longo prazo, o que irá determinar as condições físicas, químicas e biológicas do solo serão a forma e o grau de perturbação antrópica.

Para monitorar a qualidade do solo e sugerir modificações nos sistemas de manejo em utilização pelos agricultores a tempo de evitar a sua degradação, é necessário definir atributos de solo e do ambiente sensíveis ao manejo e de fácil determinação. Encontra-se ainda na literatura, de forma unânime, o carbono orgânico total (COT) como indicador chave da qualidade do solo. Nos ecossistemas naturais a fonte de carbono orgânico do solo tem origem nos resíduos da vegetação nativa, enquanto nos agrossistemas, a maior parte do carbono do solo é proveniente da vegetação nativa e da decomposição dos resíduos vegetais das culturas introduzidas.

O presente estudo partiu da hipótese que o cultivo de pastagem com braquiária, área reflorestada com eucalipto e sistema agroflorestal com cultivo de seringueira, acerola e urucum, determinam as melhores condições físicas e químicas quando comparados à mata nativa. As alterações destes atributos podem servir como indicadores de qualidade do solo.

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a qualidade física e química de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pastagem com braquiária, reflorestamento com eucalipto, sistema agroflorestal comparando com a área sob mata nativa. Especificamente avaliou-se a textura, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, umidade gravimétrica, pH (potencial hidrogeniônico), SB (Soma de Bases), H + Al (Acidez Potencial), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), P (Fósforo), K (Potássio), COT (Carbono Orgânico Total),

MO (Matéria Orgânica), V% (Saturação em Bases) e CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Posteriormente foi feita análise de agrupamento hierárquica e análise de componentes principais com intuito de separar os SUTs, de acordo com os atributos do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistemas de Uso da Terra (SUTs)

O crescimento da população mundial e, conseqüentemente, a demanda por alimentos, fibras, fontes renováveis de energia e espaço para atender usos não agrícolas, caso do desenvolvimento urbano, construções de estradas e recreação, são responsáveis pelas rápidas mudanças nos tradicionais padrões de uso das terras (BEEK, 1975).

A evolução dos Sistemas de Uso da Terra (SUT) no Brasil passa a ter caracterização melhor definida a partir do Século XX, nas academias e com a origem de instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. As linhas de pensamento da Geografia no Brasil se sucederam principalmente a partir da institucionalização do IBGE em 1936. E os trabalhos sobre uso da terra, foram desenvolvidos nesta instituição e em outras poucas instituições de governo, como também no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, e nas universidades públicas e privadas, mas sempre com estudos bastante localizados (CAVARARO, 2013).

Do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de produtividade satisfatória das culturas a longo prazo (Costa et al., 2003). Com esse intuito, são realizadas mobilizações de solo que desencadeiam reações integradas nos processos biológicos, químicos e físicos. Contudo, essas mobilizações podem promover alterações indesejáveis na estrutura da camada arável, como aumento na resistência à penetração e na densidade do solo e redução na macroporosidade e na taxa de infiltração de água (CORTEZ et al., 2011).

O uso e o manejo conjugados ao tempo de utilização tendem a ocasionar perda da estrutura original do solo pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução dos macroporos e aumento de microporos e densidade. Sistemas de manejo com revolvimento em área total são os que mais degradam o solo fisicamente, em virtude de afetarem o teor de matéria

orgânica, principal agente de formação e estabilização dos agregados (OLIVEIRA et al., 2010).

Os sistemas de manejo conservacionistas reduzem a erosão e a degradação do solo, contribuindo para melhorar a produtividade e sustentabilidade da produção agrícola. A semeadura direta, graças à mínima mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, diminui significativamente as perdas de solos e água por erosão hídrica, atendendo ao aspecto conservacionista do solo. Os fatores que determinam a redução da erosão hídrica na semeadura direta podem provocar modificações na estrutura e porosidade do solo quanto à infiltração de água e crescimento radicular, resultando em condições distintas daquelas apresentadas pelos sistemas convencionais (SCHAEFER et al., 2001).

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, a ação antrópica promove alterações nesses atributos e, na maioria das vezes, causa impacto ambiental negativo. Sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer redução acentuada no seu conteúdo, principalmente quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos. Nessa situação, pode ser estabelecido um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além de perda da produtividade das culturas (CARDOSO et al., 2011).

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) são caracterizados principalmente pela combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas, adicionados ou não às atividades pecuárias. A presença de componentes florestais arbóreos nos SAF's adicionados a uma grande biodiversidade de espécies, propicia a deposição contínua de resíduos vegetais, o que facilita a manutenção da matéria orgânica do solo afetando diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Em última análise, o SAF proporciona benefícios ambientais, como a conservação da biodiversidade, o sequestro de carbono e a melhoria no controle de qualidade da água (IWATA et al., 2012).

A cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) vem se destacando no estado de São Paulo nos últimos anos. Essa cultura apresenta grande potencial de utilização em Sistemas Agroflorestais uma vez que durante sua implantação e antes

da primeira sangria, a cultura em crescimento oferece um ambiente muito favorável para instalação de culturas consorciadas uma vez que possui um espaçamento que possibilita o cultivo entrelinhas das árvores sem comprometimento das mesmas. Esse potencial também se estende para o período produtivo do seringal, quando as árvores adultas oferecem uma área sombreada e espaçamento suficiente para crescimento de várias culturas exigentes em sombra. Esses fatores são aliados importantes na instalação de culturas intercalares desde que sejam respeitados os tratos culturais e as atividades de coleta e sangria para que não haja interferência no rendimento e condução da cultura (GONÇALVES et al., 2010).

O urucum (*Bixa orellana* L.) vem ganhando destaque no noroeste paulista entre os produtores e teve um grande impulso com a recuperação da coleção de materiais coletados no estado de São Paulo que constituem o banco de germoplasma instalado no Polo Regional Centro Norte em Pindorama. Esse material vem sofrendo melhoramento genético, buscando maior produtividade e, principalmente, maior teor de pigmentos. Pela sua rusticidade o urucum se apresenta como um ótimo material para uso em Sistemas Agroflorestais (ABDO et al., 2012).

A pesquisa acerca da cultura da acerola (*Malpighia puniceifolia* L., *Malpighia glabra* L. ou *Malpighia emarginata* DC.) tem se intensificado na estimativa da produtividade dos clones e na caracterização nutricional e qualitativa dos frutos. A cultura da acerola tem grande potencial para plantio em Sistemas Agroflorestais por ser uma planta de porte médio, que pode ocupar espaçamento de plantas de maior porte durante seu crescimento. Entretanto deve-se observar apenas suas exigências quanto ao clima (faixa ideal de temperatura para a cultura é de 25°C a 27°C), disponibilidade hídrica (maior disponibilidade hídrica acarreta em maior produção de ácido ascórbico) e com limite pluviométrico de 1200 mm até 2000 mm por ano (ABDO et al., 2012).

Os solos ocupados por pastagens em geral são marginais quando comparados àqueles usados pela agricultura de grãos. Estes solos apresentam problemas de fertilidade natural, acidez, topografia, pedregosidade ou limitações de drenagem. Os solos de melhor aptidão agrícola são ocupados pelas lavouras anuais de grãos ou as de grande valor industrial, para a produção de óleo, fibras, resinas, açúcar, etc. Desta forma, espera-se que as áreas destinadas à exploração dos bovinos de corte apresentem problemas de produtividade e de sustentabilidade de

produção. A *Brachiaria decumbens* é uma das forrageiras mais utilizadas no Brasil Central, apresentando boa adaptação a solos ácidos, uma vez que tem alta tolerância a Al e baixa exigência em P e Ca. Entre suas características agrônômicas favoráveis, destacam-se o elevado rendimento de matéria seca, a tolerância à baixa fertilidade dos solos e a elevada agressividade (BONFIM et al., 2003).

No Brasil, o eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) tem sido muito utilizado nos programas de reflorestamento, porém questiona-se sobre as mudanças que ele pode promover ao solo, pois ele apresenta uma alta eficiência de uso de nutrientes e produz, muitas vezes, serrapilheira de baixa qualidade nutricional quando comparada àquelas das florestas tropicais naturais. A substituição da vegetação nativa por eucalipto pode gerar variações físicas, químicas e microbiológicas no solo. Essas variações estão diretamente relacionadas com sua qualidade e produtividade (ABURJAILE et al., 2011).

## 2.2 Atributos Físicos do Solo

Os atributos físicos do solo influenciam na tomada de decisão sobre como ele pode ser melhor manejado. O sucesso ou o fracasso de projetos agrícolas ou de engenharia muitas vezes são dependentes destes atributos e a ocorrência e crescimento de espécies vegetais estão diretamente relacionados a estas propriedades, assim como o movimento de água sobre e no interior do solo no deslocamento de seus nutrientes, poluentes químicos dissolvidos e partículas (FREITAS et al., 2013).

A textura do solo corresponde à proporção relativa em que se encontram os diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo. Refere-se, especificamente, as partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar e é uma das características físicas mais estáveis (SANCHEZ, 2012).

Consiste no atributo físico do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo pela influência do manejo. Durante a classificação do solo em um determinado local, a textura dos diferentes horizontes é muitas vezes a primeira e a mais importante propriedade a ser determinada. A partir desta informação muitas conclusões importantes podem ser tomadas, como a definição da distribuição do diâmetro dos poros do solo por meio do teor de argila (FREITAS et al., 2013).

Ainda sobre a textura, Grigolon (2013) diz sobre a possibilidade de determinar a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção de água dos solos, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003). A textura possui influência no comportamento do solo, quando submetido a pressões externas, pois determina o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Em geral, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO et al., 2010).

Ao avaliarem a textura do solo em um Argissolo Vermelho distrófico sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul, Suzuki et al. (2014) observaram incremento no teor de argila e cascalho e redução do teor de areia, de acordo com aumento da profundidade. A variação da textura nas diferentes áreas pode estar associada à variabilidade natural, associada ao relevo, ou até mesmo aos possíveis processos erosivos ocorridos ao longo dos anos.

O espaço poroso do solo é uma consequência do arranjo das partículas primárias e, a densidade do solo reflete as condições estruturais do mesmo. Sendo que esse último é um atributo variável, ou seja, por processos naturais de adensamento e/ou práticas de manejo como cultivo, trânsito de máquinas agrícolas, incorporação de matéria orgânica etc. (ROSSETTI, 2010). Avaliando os atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem, no Estado de Roraima, Cruz et al. (2014) verificaram que a porosidade total foi maior na floresta natural e menor na savana convertida em pastagem, havendo redução desse atributo com a profundidade. Silva et al. (2011) avaliaram os atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional do mamoeiro e floresta nativa. A porosidade total foi maior na floresta nativa e cultivo convencional devido a melhor estruturação do solo oferecida pelos maiores teores de carbono orgânico nestes sistemas e os valores de macroporosidade ficaram acima do limite crítico de  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , indicando não haver limitação para o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas. O SAF apresentou menor teor de argila no solo e a menor microporosidade.

A densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de

máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (REINERT et al., 2008).

As amplitudes de variação da densidade solo situam-se entre limites médios, a saber: solos argilosos ( $1,00$  a  $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e arenosos ( $1,25$  a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ ). Pode-se afirmar que quanto mais elevada for a densidade de solo da mesma classe textural, mais compacto será o solo, menor será o grau de estruturação, menor porosidade e, conseqüentemente, maiores as restrições para o crescimento das plantas (KIEHL, 1979). Ao avaliarem os limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho, Reinert et al. (2008) observaram que o crescimento normal das raízes das plantas de cobertura ocorreu até o limite de densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ . Entre a faixa de  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , ocorreu restrição, com deformações na morfologia das raízes em grau médio, e, acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , essas deformações foram significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial.

Solos argilosos, em condições naturais, possuem boa macroporosidade, em torno de 15 a 25%, entretanto, em sistemas de cultivo, a macroporosidade pode reduzir acentuadamente. Geralmente, considerando que as raízes da maioria das culturas podem se desenvolver com macroporosidade acima de 10% e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal seria aquele que apresentasse uma proporção de macro e microporos da ordem de  $\frac{1}{2}$ , garantindo assim suficiente aeração, permeabilidade e armazenamento de água (ROSSETTI, 2010).

O solo é um sistema trifásico disperso, a caracterização de sua porosidade total é de grande importância para adoção de um manejo adequado, pois este sistema está estreitamente ligado a dinâmica do armazenamento e do movimento de solutos e de circulação de gases no seu interior, essenciais aos processos bioquímicos das plantas, sobretudo aqueles relacionados com a produtividade vegetal (MION et al.; 2012).

A umidade do solo pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo (CARVALHO et al. 2007). A umidade nas camadas do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal, que pode levar a manejos inadequados da água do solo (HU et al., 2008). A umidade exerce uma influência sobre importantes processos no solo e na planta tais como: movimento de

água, compactação do solo, aeração do solo e desenvolvimento radicular (MION et al.; 2012).

A influência da vegetação nos atributos edáficos foi avaliada, realizando análises físicas de densidade do solo, porosidade total e textura do solo. Os resultados obtidos comprovaram que o tipo vegetacional predominante do local interfere nos atributos do solo, verificando-se alterações na densidade do solo, porosidade total e textura. Já o fator profundidade exerceu menor influência nos atributos edáficos se comparado à vegetação (ZANON, 2013).

A qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas foi avaliada por Jakelaitis et al. (2008). Este estudo revelou que a densidade do solo, a porosidade total, a umidade gravimétrica, a capacidade de retenção de água, a granulometria (área, silte e argila) e a resistência à penetração foram as características mais afetadas nos diferentes ambientes. Os atributos do solo observados permitiram inferir sobre as alterações impostas pelas práticas de manejo do solo, no que concerne às perdas de material orgânico, nutrientes e água.

### 2.3 Atributos químicos do solo

O uso intensivo do solo, sem controle e planejamento, ocasiona a redução da sua fertilidade, tornando necessário, portanto, adubações cada vez mais elevadas, com a intenção de alcançar as mesmas ou maiores produtividades nos cultivos. Nesse contexto, conhecer os atributos químicos é essencial nas recomendações de corretivos e fertilizantes, evitando a deficiência e a toxidez nutricionais (ZANON, 2013).

Dentre os diversos atributos químicos do solo, merecem evidência o pH (Potencial Hidrogeniônico), os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis, fósforo (P) e matéria orgânica (MO). Por meio desses e outros atributos é possível calcular a Soma de Bases Trocáveis (SB), a Capacidade de Troca Catiônica Potencial (CTC ou T), a Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC EFETIVA ou t), a acidez potencial ( $H^+$  Al), a Saturação por Alumínio (m), Saturação por Bases (V) e o Carbono Orgânico Total (COT) (ZANON, 2013).

Alguns autores estabelecem o pH adequado entre 5,5 – 6,5, entretanto não existe um valor considerado ótimo para o desenvolvimento de todas as culturas,

sendo esta variável em função das necessidades nutricionais de cada espécie (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície do complexo de trocas ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), representando, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes. Quando uma porcentagem elevada de CTC é ocupada por cátions essenciais, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , em condições de equilíbrio catiônico, pode-se concluir que o solo em questão apresenta condições propícias ao pleno desenvolvimento vegetal. Em contrapartida, quando um elevado percentual de CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como o  $\text{H}^+$  e o  $\text{Al}^{3+}$ , há uma tendência das culturas implantadas na área sofrerem com o efeito da acidez. De modo geral, solos arenosos apresentam baixa CTC, sendo que neste tipo de solo, as adubações e as calagens devem ser realizadas de forma parcelada, visando diminuir as perdas de nutrientes por lixiviação (RONQUIM, 2010).

A Soma de Bases (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$ ) e  $\text{K}^+$ . A saturação em bases (V%), por sua vez, expressa a relação entre SB e CTC, sendo considerado um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade. A partir dessa, os solos podem ser divididos em eutróficos (V %  $\geq$  50 %) e distróficos (V %  $<$  50%). Um índice V% baixo significa que a maioria das cargas negativas dos colóides está sendo neutralizada por  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , sendo indicado, para grande parte das culturas, valores compreendidos entre 50 e 80%. Diante da importância que o conhecimento dos atributos químicos exerce no manejo adequado dos solos, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos a partir da análise dos mesmos, sobretudo, avaliando a possível interação existente entre os sistemas de manejo e a disponibilidade nutricional para as plantas (ZANON, 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente importante na definição dos sistemas agrícolas e na capacidade do solo de sequestrar carbono da atmosfera. Ela desempenha importante papel no desenvolvimento das plantas, por meio da influência direta e indireta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo e, constitui-se um dos principais agentes responsáveis pela formação e estabilização de agregados. Além disso, a MO é responsável por 75 a 85% da capacidade de troca de cátions (CTC), não obstante sua pequena participação no volume total do solo. Nos solos do Cerrado, cuja mineralogia é dominada por

caulinita e óxidos de ferro e alumínio, a dependência da matéria orgânica para a geração de CTC do solo é elevada (SATO, 2013).

De maneira geral, o teor de MO resulta do equilíbrio da relação carbono/nitrogênio, com forte influência dos componentes bióticos do sistema. As taxas de adição e decomposição variam de acordo com a substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas, aliada ao manejo do solo, que afeta a atividade microbiana. O uso do solo pode, portanto, interferir nos teores de matéria orgânica (ARAUJO et al., 2003).

O carbono orgânico (CO) é, quantitativamente, o maior componente da MO. As variações nos teores de CO nos solos tem sido utilizadas para a avaliação de qualidade do solo em decorrência de sua influência sobre as propriedades que condicionam a fertilidade do solo, e também, sob o aspecto da possibilidade de emissão de gases de efeito estufa (SATO, 2013).

Ao avaliarem a qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Cardoso et al. (2011), observaram que as pastagens promoveram alterações significativas nos atributos químicos do solo, notadamente na camada de 0–10 cm, o que é evidenciado pela redução da fertilidade do solo nas áreas de pastagens cultivadas, implantadas em substituição às respectivas vegetações nativas. O mesmo processo ocorreu na pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo, quando comparada com a pastagem nativa sem pastejo por 19 anos, porém sem diferir da pastagem nativa sem pastejo por três anos.

Os atributos químicos do solo foram observados para os diferentes sistemas (SAF, convencional e floresta nativa) e profundidades amostradas. Na floresta nativa os valores de pH foram mais elevados na camada de 0-20 cm, acompanhados da elevação do Al trocável e da saturação por alumínio (m) em profundidade. Nessas condições, a maior parte dos nutrientes encontra-se na biomassa e na matéria orgânica presente nos primeiros centímetros do solo. Em todos os sistemas, com o aumento da profundidade há menor saturação por bases e aumento da saturação por Al, influenciando o pH do solo (SILVA et al., 2011).

As áreas sob coberturas vegetais de floresta e pastagem, independente do solo avaliado (Vertissolo ou Argissolo), apresentaram elevados teores de Ca e Mg, já que teores acima de  $3 \text{ mmolc dm}^{-3}$ , são elevados para a grande maioria das culturas cultivadas e refletem o material de origem andina na formação destes solos.

Foram atribuídos os teores de nutrientes mais elevados em algumas áreas com cobertura florestal nativa, comparativamente a pastagens ou outros usos agrícolas, porque há maior ciclagem de nutrientes na floresta natural (LOSS et al., 2014).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterizações da área de estudo**

Localizado no município de Pindorama, estado de São Paulo, o Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Norte (PRDTACN), pertencente à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), possui 532,8 ha e aproximadamente 120 ha de mata divididas em quatro fragmentos. A vegetação é representativa do bioma Mata Atlântica, classificada como floresta latifoliada tropical estacional semidecidual. Esses remanescentes foram transformados em Reserva Biológica com a criação da Lei Estadual nº 4960 de 06 de janeiro de 1986. Segundo Lepsch e Valadares (1976), o Polo Regional Centro Norte está localizado nas coordenadas 48° 55' W e 21° 13' S. O limite da propriedade na extremidade oeste situa-se parte no divisor de águas das bacias dos Rios Tietê e Turvo e a unidade está inserida na Microbacia do Rio São Domingos (ABDO, 1999).

Conforme a classificação de Köppen, o clima enquadra-se no tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de 1258 mm; a temperatura média dos três meses de verão é 23,8 °C e a temperatura média dos meses de inverno (junho, julho e agosto) é de 19,3 °C (ABDO, 2009).

Segundo o levantamento realizado por Lepsch e Valadares (1976), as altitudes do Pólo centro Norte variam de 498 a 594 m acima do nível do mar. O relevo é ondulado nas partes de altitudes maiores, passando a suave-ondulado nas altitudes menores. A maior parte dos declives está compreendida entre 2% e 10%, havendo pequenas áreas quase planas (0-2% de declive), nos topos das elevações e nas várzeas e algumas com declives entre 10% e 20%, próximas aos cursos d'água.

De acordo com o levantamento pedológico detalhado do Polo realizado por Lepsch e Valadares (1976), os solos do local do experimento foram classificados

com base na classificação da Comissão Nacional de Solos (1960), como Solos Podzolizados de Lins- Marília, variação Marília. Pela classificação de solos da EMBRAPA (2013), esses solos são classificados como Argissolo Vermelho- Amarelo de textura arenosa média/ abrupto.

### 3.2 Descrição do Solo

Foram identificadas seis unidades de solos no Pólo Regional Centro Norte: Unidade Pindorama (302,07 ha), Unidade Serrinha (47,09 ha), Unidade Concreção (44,8 ha), Unidade Táboa (73,5 ha), Unidade Jacaima (26,6 ha) e Unidade Estiva (13,3 ha). Os Sistemas de Uso da Terra analisados neste trabalho, estão inseridos nas Unidades: Pindorama, Concreção e Táboa (LEPSCH; VALADARES, 1976).

#### **Unidade Pindorama**

A Unidade Pindorama corresponde a solos profundos, bem desenvolvidos, bem drenados, com alta saturação em bases. Apresentam **epipedon** ócrico sobre horizonte argílico. O **epipedon** tem normalmente 0,3 a 0,45 m de espessura, está subdividido em horizontes Ap (ou A<sub>1</sub>) e A<sub>2</sub>, tem textura fino-arenosa e cor bruno-avermelhada. O horizonte argílico (B textural) tem espessura em torno de 1 m e cor variando de vermelha a vermelho-amarelada. Este horizonte apresenta-se subdividido em B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>. O horizonte B<sub>1</sub> tem textura fino-arenosa ou fino-areno-barrenta (teores de argila em torno de 15%), e o horizonte B<sub>2</sub>, textura barrenta, tendo sido observadas texturas fino-areno-argilosa e fino-areno-barrenta em alguns locais.

Esta unidade classifica-se como Solos Podzolizados de Lins e Marília, variação Marília. Estes solos encontram-se situados em terrenos com declives entre 2% e 10%. Estes declives, aliados ao carácter muito arenoso do horizonte A como também à diferença de porosidade e argila entre o horizonte A e B fazem com que sejam extremamente susceptíveis à erosão hídrica.

#### **Unidade Concreção**

São solos moderadamente profundos, desenvolvidos e drenados. Apresentam **epipedon** ócrico sobre horizonte argílico e uma camada de concreções ferruginosas de 0,15 a 0,30 m de espessura localizada ou logo abaixo do **epipedon** ou no interior do horizonte argílico. O **epipedon** tem textura arenosa, está subdividido nos horizontes A<sub>1</sub>, com cor bruno-escuro e A<sub>2</sub>, com cor bruna. O horizonte argílico tem normalmente textura fino-areno-argilosa, cores vermelho-amareladas e apresenta mosqueamento na parte inferior. O arenito decomposto aparece à profundidade entre 1,5 e 2,0 m.

Estes solos aproximam-se mais, no entanto, dos Solos Podzolizados de Lins e Marília, variação Marília, pelo contraste de textura entre horizontes A e B e também pela saturação de bases em torno de 50% nos horizontes A e B<sub>21</sub>.

### **Unidade Táboa**

São solos profundos, bem desenvolvidos, bem drenados, com baixa saturação em bases. Apresentam **epipedon** ócrico sobre horizonte argílico. O **epipedon** ócrico tem normalmente 0,40 a 0,60 m de espessura, cor bruno-avermelhada e vermelho-amarelada, e textura de transição de areno-barrenta para fino-areno-barrenta. O horizonte argílico (B textural) tem cerca de 1 m de espessura, está subdividido em B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>, com cor vermelho-amarelada e textura barrenta. Estes solos classificam-se como Podzolizados de Lins e Marília, variação Lins, com a ressalva que têm saturação de bases abaixo do limite descrito para dita unidade.

As características dos solos, resumidamente, podem ser observadas na Tabela 1:

Tabela 1. Características dos solos do Polo Regional Centro Norte, Pindorama – SP, pertencentes à unidade Pindorama, Táboa e Concreção.

<b>Característica</b>	<b>Solo Pindorama</b>	<b>Solo Táboa</b>	<b>Solo Concreção</b>
Topografia e declive	Terço médio da encosta de 3% a 8%	Terço inferior de encosta com 7% de declive	Terço inferior da encosta 10%
Material de origem	Arenito Bauru	Arenito	Arenito Bauru
Relevo	Suave ondulado a ondulado	Suave ondulado a ondulado	Suave ondulado
Altitude	550 m	518 m	539 m
Erosão	Pouca, laminar e sulcos	Não aparente	Laminar moderada e sulcos ocasionais rasos
Drenagem interna	Média	Rápida	Média
Drenagem externa	Moderada	Moderada	Moderada
Drenagem total	Boa	Boa a acentuada	Moderada
Permeabilidade	Rápida no horizonte A e média nos demais	Rápida	Rápida no horizonte A e média e lenta nos demais
Uso em 1976	Culturas anuais e mata	Capineira e capim gordura	Matas

Fonte: Lepsch e Valadares (1976).

### 3.3 Descrições dos SUTs e delineamento amostral

A determinação dos atributos físicos do solo foi realizada para três SUTs (Mata Nativa, Pastagem e Eucalipto) e para a análise química e granulométrica, a avaliação foi realizada para quatro SUTs (Mata Nativa, Pastagem, Eucalipto e Sistema Agroflorestal).

- SUT1: Mata Nativa (testemunha): nesta área ocorrem fragmentos florestais remanescentes do bioma Mata Atlântica, que foram transformados em Reserva Biológica. Esses fragmentos são classificados como Floresta Estacional Semidecidual (ABDO, 2009). O histórico deste uso não apresenta indícios de ações antrópicas dentro da área e quaisquer atividades que possam alterar as características da área. A maior parte desse fragmento está situada na unidade de solo Pindorama. Outra pequena parte do fragmento florestal localiza-se na unidade de solo Concreção.
- SUT 2: Pastagem: anteriormente a área era cultivada com capim colômbio. Em 1997, o pasto foi reformado com sistematização das curvas de nível e plantio de *Brachiaria decumbens*. A área sofreu pisoteio de animais até 2010. Posteriormente a área foi totalmente isolada. Não há histórico de adubação e,

para controle do mato, foi aplicado o herbicida Thordon 245T em 2011 e 2014. Anualmente o mato é roçado. Segundo Lepsch e Valadares (1976) o solo pertence à unidade Pindorama, a mesma descrita para o fragmento de mata nativa.

- SUT 3: Área reflorestada com Eucalipto: Esse talhão da espécie *Eucalyptus citriodora* foi plantado em 1979 no espaçamento de 2,00 m x 3,00 m com uma área de 19.920 m<sup>2</sup> com 3320 plantas. Nunca foi adubada e as roçadas anuais começaram em 2012. O solo pertence à unidade Táboa e a baixa saturação por bases (V%) o caracteriza como solo distrófico (LEPSCH; VALADARES, 1976).
- SUT 4: Sistema Agroflorestal com cultivo de urucum: Devido à erosão causada por escoamento das águas da chuva, houve a formação de uma voçoroca de 700 metros de extensão e 15 metros de profundidade que foi estabilizada em 2008 com a construção de quatro açudes em desnível com canais vertedouros laterais de concreto, para diminuir a velocidade da água contribuindo para a estabilização do processo erosivo. A coleta foi realizada às margens do açude quatro, onde em fevereiro de 2011 foi implantado um sistema agroflorestal com espécies florestais, intercaladas com seringueira, acerola e urucum com controle de mato pelo uso de arado e grade, revolvendo o solo e o uso de sulcadores para abertura de sulcos. O plantio das espécies arbóreas foi feito em sulcos após aração e gradagem da área, no espaçamento 3,5 x 2 m. Não houve plantio da cultura anual entre as linhas de plantio das espécies arbóreas. A adubação para implantação foi 300 g de calcário e 200g de superfosfato simples na cova das espécies arbóreas e sem adubação entrelinhas. Localiza-se na Unidade Concreção.

A localização de cada SUT no Pólo Regional Centro Norte pode ser observada na Figura 1, e as imagens de cada SUT na Figura 1:

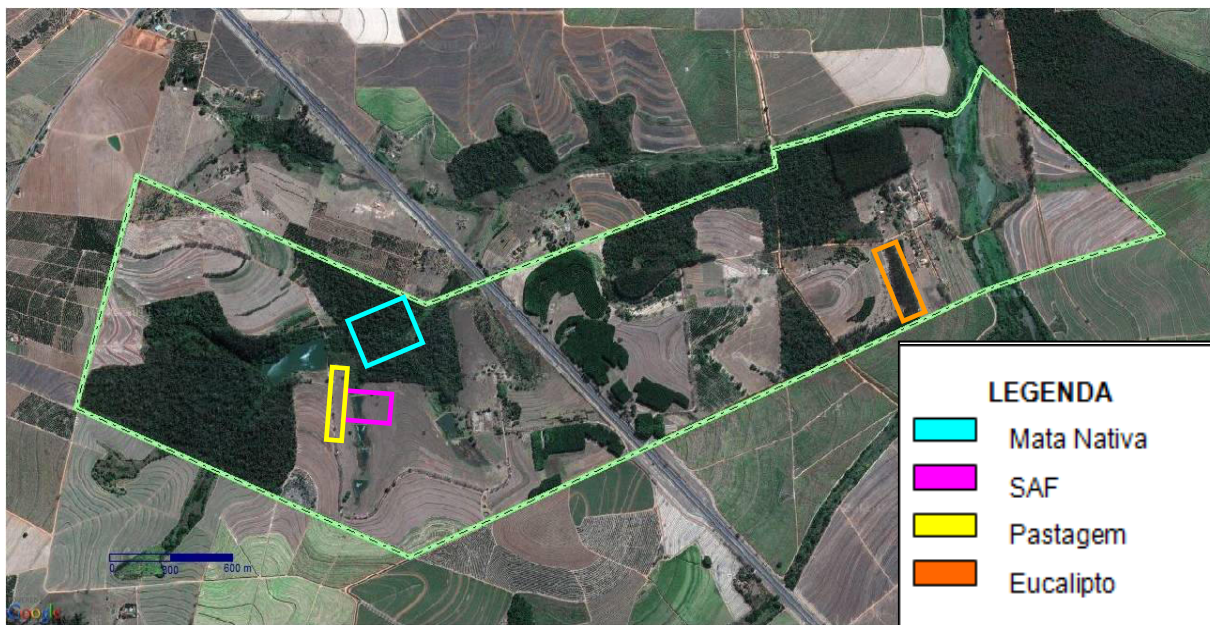


Figura 1. Propriedade – Pólo Regional Centro Norte, Pindorama – SP e áreas amostrais.

A mata nativa localiza-se nas coordenadas  $48^{\circ}55'16,56''$  W. Gr. e  $21^{\circ}13'30,19''$  S; o SAF localiza-se  $48^{\circ}55'29,49''$  W. Gr. e  $21^{\circ}13'78''$  S; a pastagem  $48^{\circ}55'29,49''$  W. Gr. e  $21^{\circ}13'40,95''$  S e o eucalipto  $48^{\circ}53'53,62''$  W. Gr. e  $21^{\circ}13'21,62''$  S.

O solo foi avaliado em cada SUT e em duas profundidades (0,0–0,2 m e 0,2 0,4 m) e foram divididos em cinco parcelas de (4 x 25 m). Assim, a área total amostrada por SUT foi de, aproximadamente 100 m<sup>2</sup>.

### 3.4 Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas de outubro a novembro de 2014. Em cada parcela, foram selecionados ao acaso quatro pontos amostrais, a uma distância média de 10 m umas das outras. Em cada ponto, foram retiradas duas amostras (0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m), totalizando em oito amostras por parcela. Foram coletadas amostras compostas deformadas para a caracterização textural e química e amostras simples indeformadas para realização das demais avaliações físicas.

Após a coleta do solo, as amostras deformadas foram encaminhadas ao laboratório, devidamente acondicionadas em sacos plásticos e identificadas. A imagem de cada SUT pode ser observada na Figura 2.

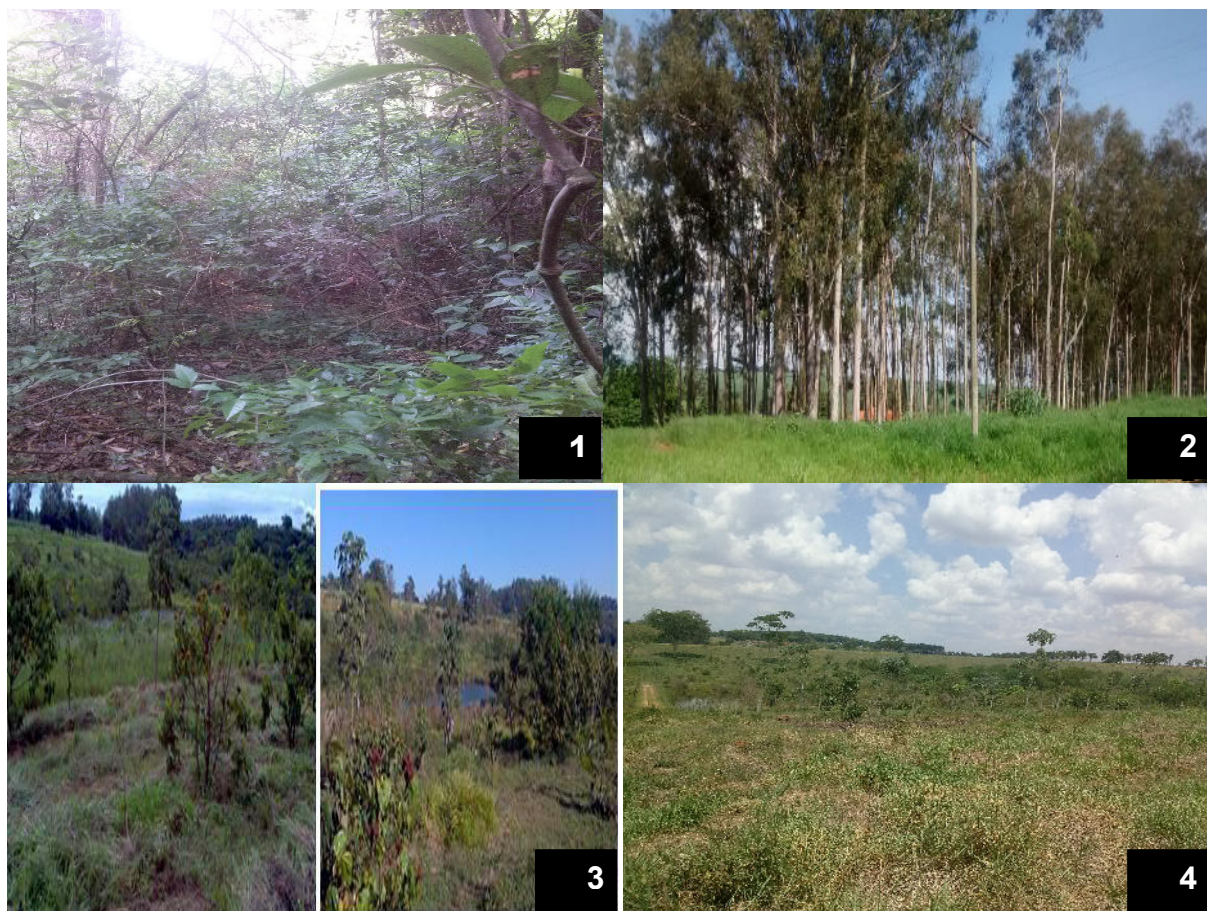


Figura 2. Imagem dos SUTs no Pólo Regional Centro Norte. (1) Mata Nativa, (2) Eucalipto, (3) SAF e (4) Pastagem.

### 3.5 Determinação dos atributos físicos

Para a determinação dos atributos físicos do solo, foram coletadas amostras com estrutura indeformada, nos quatro pontos aleatórios para cada SUT nas profundidades de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m, utilizando cilindros de  $53,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ . Após a retirada dos cilindros, estes foram limpos por fora, tampados e vedados com tecido e elástico e levados ao laboratório. Foram determinadas a densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986), a microporosidade por secagem (tensão de 0,006 MPa) em mesa de tensão (LEAMER; SHAW, 1941), a porosidade total foi segundo Danielson e Sutherland (1986) e, a macroporosidade obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Essa metodologia também foi descrita pela EMBRAPA (2011).

A umidade gravimétrica (UG) foi determinada pela equação do método termogravimétrico, sendo os valores de massa de solo úmido ( $M_{su}$ ), massa de solo

seco (Mss) e massa do recipiente (Mr) obtidos no procedimento realizado para o cálculo da densidade do solo (método do anel volumétrico) (EMBRAPA, 2011).

A análise granulométrica seguiu a metodologia descrita pela Embrapa (2011), obtendo as seguintes frações do solo: areia grossa, areia fina, areia total, silte e argila.

### 3.6 Determinação dos atributos químicos

Para determinação dos atributos químicos do solo, foram coletadas amostras em campo, nas profundidades de 0,0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m, com auxílio de um trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e levadas imediatamente ao laboratório para serem realizadas as análises de rotina conforme Raij et al. (2001). Na caracterização química do solo, foram determinados os teores de K, Ca, Mg, P, pH, H + Al, MO, COT e SB (RAIJ et al., 2001). Foram calculadas a CTC e o V%.

### 3.7 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e para a comparação das médias dos atributos do solo dos SUTs estudados, foi realizado o teste de Tukey a 5 %, utilizando o pacote estatístico ASSISTAT 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

Posteriormente foram realizadas análises estatísticas multivariadas, com as técnicas de análise de agrupamento hierárquica e análise de componentes principais (ACP) de acordo com a descrição desses métodos encontrada em HAIR et al. (1995). O processamento das análises de agrupamento e componentes principais foi realizado pelo software Statistica, versão 7.0 de acordo com Statsoft (2004) após a padronização (média nula e variância unitária).

A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das nove variáveis e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e as áreas estudadas a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos,

no qual os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados. Com a intenção de reduzir o grande número de variáveis para um conjunto mais significativo (representado pelos componentes), identificar quais variáveis pertencem a quais componentes e o quanto cada variável explica cada componente, foi feito o estudo da ACP. Desta forma, o conjunto inicial de nove variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes ortogonais, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais), que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (Hair *et al.*, 2005). A adequação desta análise é verificada pela informação total das variáveis originais retida nos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade, ou autovalores inferiores à qual não dispõem de informação relevante.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos Físicos do Solo

O Argissolo Vermelho-Amarelo nos ambientes estudados apresentou semelhantes composições texturais, predominando a franco-arenosa (Tabelas 2 e 3), com exceção da Pastagem 3 e 4 e SAF 1, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, assim como o Eucalipto 3 e Pastagem 3 e 4, na profundidade de 0,2 – 0,4 m. A proporção de areia grossa em relação à areia fina verificada nos solos dos diferentes SUTs foi mais pronunciada na área sob pastagem, seguida pela mata nativa.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo nos SUTs nas profundidades de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m, na APTA, Pindorama-SP.

SUT	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila
g.kg <sup>-1</sup>					
Profundidade de 0,0 – 0,2 m					
Mata Nativa	356 b	440,8 b	796,8 a	41,2 b	162 ab
Eucalipto	326,6 bc	411,2 b	737,8 b	82,2 a	180 a
Pastagem	544,6 a	276,4 c	821 a	38,6 b	140,4 b
SAF	305,4 c	505 a	810,4 a	60 ab	129,6 b
Profundidade de 0,2 – 0,4 m					
Mata Nativa	353,6 b	461 ab	814,6 a	37,8 ab	147,6 a
Eucalipto	330,4 b	430,6 b	761 b	55,4 ab	183,6 a
Pastagem	552,2 a	261,6 c	813,8 a	31,4 b	154,8 a
SAF	297 b	492,8 a	789,8 ab	59 a	151,2 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A fração areia (AG + AF) predomina nos quatro SUTs, encontrando-se a fração areia fina (AF) em maior proporção, com exceção da pastagem (Tabelas 2 e 3). Os teores de argila variaram de 129 a 183 g kg<sup>-1</sup> e os de silte de 31 a 82 g kg<sup>-1</sup>. A argila tende a aumentar, em profundidade.

Estudando os atributos físico-hídricos de um Argissolo sob cultivo de milho na região agreste de Sergipe, este apresentou uma distribuição granulométrica caracterizada por altos valores da fração areia total nas profundidades amostradas (0,00 – 0,15m e 0,15 – 0,30 m), sendo os maiores valores encontrados na profundidade de 0 a 0,15 m. Pôde-se observar ainda a divergência na classificação textural, sendo franco-arenosa (0 - 0,15 m) e franco-argiloarenosa (0,15 – 0,30 m),

devido ao aumento de argila em profundidade. Referente à fração areia, verificou-se maiores valores médios das frações areia fina e muito fina (PORTELA et al., 2014).

Os valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e umidade gravimétrica obtidos para os SUTs podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 3. Classificação textural do solo, na APTA, Pindorama-SP, nas profundidades 0,0 – 0,1 m e 0,2 – 0,4 m, segundo Embrapa (2013)

Tratamento	Argila	Areia	Silte	Classificação Textural do Solo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo)
-----g. kg <sup>-1</sup> -----				
Profundidade 0,0 – 0,2 m				
Mata 1	162	794	44	Franco-arenosa
Mata 2	162	788	50	Franco-arenosa
Mata 3	162	798	40	Franco-arenosa
Mata 4	162	811	27	Franco-arenosa
Mata 5	162	793	45	Franco-arenosa
Eucalipto 1	180	756	64	Franco-arenosa
Eucalipto 2	162	753	85	Franco-arenosa
Eucalipto 3	162	798	40	Franco-arenosa
Eucalipto 4	162	811	27	Franco-arenosa
Eucalipto 5	162	793	45	Franco-arenosa
Pastagem 1	180	794	26	Franco-arenosa
Pastagem 2	144	802	54	Franco-arenosa
Pastagem 3	108	857	35	Areia-franca
Pastagem 4	126	844	30	Areia-franca
Pastagem 5	144	808	48	Franco-arenosa
SAF 1	108	809	83	Areia-franca
SAF 2	108	803	89	Franco-arenosa
SAF 3	126	813	61	Franco-arenosa
SAF 4	162	810	28	Franco-arenosa
SAF 5	144	817	39	Franco-arenosa
Profundidade 0,20 – 0,40 m				
Mata 1	162	813	25	Franco-arenosa
Mata 2	144	810	46	Franco-arenosa
Mata 3	144	814	42	Franco-arenosa
Mata 4	126	822	52	Franco-arenosa
Mata 5	162	814	24	Franco-arenosa
Eucalipto 1	162	772	66	Franco-arenosa
Eucalipto 2	180	738	82	Franco-arenosa
Eucalipto 3	216	750	34	Franco-argiloarenosa
Eucalipto 4	198	760	42	Franco-arenosa
Eucalipto 5	162	785	53	Franco-arenosa
Pastagem 1	180	779	41	Franco-arenosa
Pastagem 2	198	781	21	Franco-arenosa
Pastagem 3	108	835	57	Areia-franca
Pastagem 4	126	848	26	Areia-franca
Pastagem 5	162	826	12	Franco-arenosa
SAF 1	144	806	50	Franco-arenosa
SAF 2	162	779	59	Franco-arenosa
SAF 3	126	803	71	Franco-arenosa
SAF 4	144	801	55	Franco-arenosa
SAF 5	180	760	60	Franco-arenosa

Tabela 4. Valores de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e umidade gravimétrica, em função dos SUTs e profundidades amostradas.

<b>Densidade do Solo (Mg. m<sup>-3</sup>)</b>				
Profundidade	Mata Nativa	Pastagem	Eucalipto	CV%
0,0 – 0,2 m	1,50880 Aa	1,51539 Aa	1,54153 Aa	3,45
0,2 – 0,4 m	1,57587 Aa	1,51119 Aa	1,52049 Aa	4,39
<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup>. m<sup>-3</sup>)</b>				
0,0 – 0,2 m	0,14449 Aa	0,19429 Aa	0,14654 Aa	17,80
0,2 – 0,4 m	0,10995 Ba	0,18944 Aa	0,14333 ABa	24,68
<b>Microporosidade (m<sup>3</sup>. m<sup>-3</sup>)</b>				
0,0 – 0,2 m	0,35176 Aa	0,16669 Ba	0,18393 Ba	12,60
0,2 – 0,4 m	0,34354 Aa	0,15095 Ba	0,17553 Ba	15,14
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup>. m<sup>-3</sup>)</b>				
0,0 – 0,2 m	0,49625 Aa	0,36099 Ba	0,33046 Ba	7,07
0,2 – 0,4 m	0,45349 Aa	0,34039 Ba	0,31886 Ca	5,91
<b>Umidade Gravimétrica (g g<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 – 0,2 m	0,23406 Aa	0, 10986 Ba	0,11937 Ba	15,94
0,2 – 0,4 m	0,21935 Aa	0, 10011 Ba	0,11564 Ba	17,80

CV% = Coeficiente de Variação; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas, na mesma linha e letras iguais minúsculas na mesma coluna, para a mesma variável, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

57587

A densidade do solo (Ds) não foi estatisticamente significativa nos SUTs, em nenhuma das profundidades amostradas (Tabela 4), mas os valores encontram-se dentro do limite aceitável para o bom desenvolvimento das culturas. Os valores obtidos situaram-se na faixa de 1,53 Mg. m<sup>-3</sup>, comum a solos de textura arenosa. Reinert et al. (2008) determinaram os limites críticos de densidade do solo para o crescimento das raízes das plantas de cobertura em Argissolo Vermelho no Rio Grande do Sul. Estabeleceu-se os limites de densidade em 1,75 Mg m<sup>-3</sup> para o crescimento normal das plantas de cobertura, entre 1,75 e 1,85 Mg. m<sup>3</sup> há ocorrência de deformações na morfologia das raízes em grau médio e acima de 1,85 Mg. m<sup>-3</sup>, essas deformações aumentam, sendo necessária a mobilização do solo. Já Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-arenosos.

Em estudo acerca dos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastejo na Microrregião do Brejo Paraibano foi verificado que o valor mais baixo

de densidade do solo foi na área de mata nativa. Isso se deve ao fato de essa área encontrar-se em boas condições, com maior diversidade biológica, maior teor de matéria orgânica, que é caracterizado como um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e que também tem mais influência na reversão do estado de compactação do solo. Já os valores mais elevados de densidade do solo para as camadas superficiais, foi em áreas sob pastagem. A provável causa é o maior tráfego de animais, mau manejo do solo por excesso de pastejo e outras modalidades de pressão, que favoreceram a maior compactação (SANTOS et al., 2010).

A macroporosidade, em todos os SUTs e profundidades amostradas, foram acima de  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , indicando boa qualidade do solo para esse atributo. Na profundidade de  $0,0 - 0,2 \text{ m}$  não houve diferença estatística entre os SUTs. Entretanto, a pastagem se destacou pelos maiores valores de macroporosidade, nas duas profundidades amostradas. Esse resultado, provavelmente, se deve ao fato do pasto não sofrer pisoteio por animais desde 2010. Com boa densidade, a resistência à penetração é baixa e o sistema radicular da *Brachiaria decumbens* instalada na área, aprofunda bem no solo. Os menores valores de macroporosidade geralmente são devido ao processo de compactação da superfície do solo. Cardoso et al. (2011) constataram um aumento na densidade do solo e na resistência deste à penetração e redução na porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado em todas as áreas com pastagens. Esses resultados provavelmente estão associados à maior pressão mecânica sobre o solo, exercida pelo pisoteio dos animais, e à redução no teor de MO nas pastagens. Na área reflorestada com eucalipto, os valores de macroporosidade também foram maiores quando comparados aos da mata nativa. Susuki et al. (2014) encontraram maior disponibilidade de água nas áreas de floresta nativa e pastagem em relação às áreas sob eucalipto, que apresentaram maior porcentagem de poros responsáveis pela drenagem ou poros muito pequenos responsáveis pela alta tensão de água no solo.

A mata obteve os maiores valores de porosidade total, microporosidade e umidade gravimétrica nas duas profundidades analisadas (Tabela 4). A maior contribuição na porosidade total para a mata foi a microporosidade, que consiste em maior retenção de água. A microporosidade variou de  $0,17$  a  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nas amostras analisadas. A porosidade total variou de  $0,31$  a  $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  evidenciando

maior influência da profundidade e pouca interferência do SUT. A mesma foi maior em superfície, quando comparada à subsuperfície (Tabela 4). Esse comportamento pode ser atribuído aos ciclos sucessivos de umedecimento e secamento que ocorrem na superfície do solo, além da melhoria de sua estrutura pela intensa atividade biológica e acúmulo de matéria orgânica (SUSUKI et al., 2014). Martins et al (2006), trabalhando com mata nativa e cerrado natural, observaram que a quantidade de microporos decresce em profundidade sendo sempre maior na mata nativa e não obtiveram resultados significativos para macroporosidade. Eles explicaram o resultado por meio da possibilidade desses sistemas se encontrarem em equilíbrio.

A umidade gravimétrica foi maior na mata nativa nas duas profundidades amostradas (23,40 e 21,93 g g<sup>-1</sup>), o que é justificado pela maior microporosidade nesse SUT. A pastagem e o eucalipto não se diferenciaram estatisticamente para esse atributo. Os resultados da umidade gravimétrica evidenciaram que, no momento da coleta, a umidade do solo encontrava-se distinta entre os ambientes e que a mesma foi maior nos solos de mata.

Diante da possibilidade de utilização dos atributos selecionados para distinção das áreas, fez-se uso da análise de agrupamento hierárquico objetivando avaliar a similaridade por meio de um dendrograma de ordenação.

Cada vez que se obtém a variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos. Essa divisão mostrou um resultado muito importante, que foi a ordenação dos acessos segundo a qualidade do solo. Nesta análise, os SUTs foram agrupados com base no grau de semelhança, com o objetivo de classificá-los em grupos mais ou menos homogêneos. Na Figura 3, foram admitidos cortes na distância de ligação de 5 e 6 respectivamente, que permitiu a divisão clara de grupos. A diferenciação dos três grupos foi marcante, mostrando as particularidades de cada SUT, pois as características do solo no mesmo grupo são semelhantes, mas diferem do comportamento dos outros agrupamentos. Esse resultado deve-se ao fato de que devido ao manejo, a pastagem e a área reflorestada com eucalipto se diferenciaram da mata nativa.

Os agrupamentos formados pela análise de Cluster confirmam a diferença de ambientes, visto que os três SUTs estudados estão nitidamente separados e o eucalipto e a pastagem são similares, sendo a mata nativa o ambiente isolado.

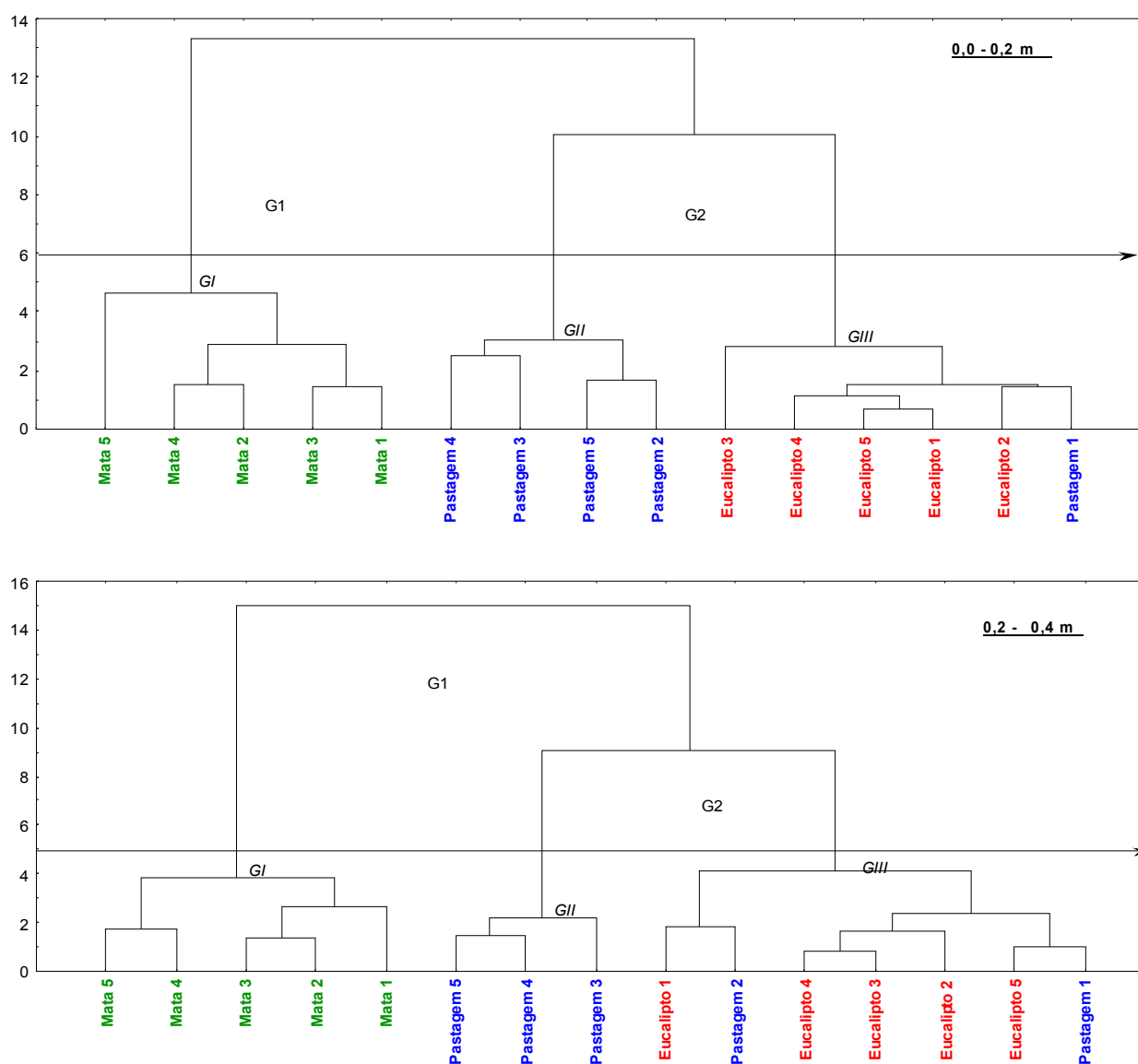


Figura 3. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis analisadas.

Os atributos que promoveram a ausência de similaridade da mata com as demais áreas e, contrariamente, a grande proximidade da pastagem com o eucalipto, pode ser evidenciada nos resultados da análise de componentes principais (Figura 4).

A análise de componentes principais dos atributos do solo vem confirmar a análise de agrupamento para os SUTs estudados (Figura 4), com a formação de três grupos, que correspondem à diferenciação de três tipos de uso do solo. Observou-se que algumas propriedades apresentaram comportamento distinto em relação às demais.

Na Tabela 5 é apresentada a distribuição dos atributos selecionados pela ACP, para as duas profundidades analisadas, com variância acumulada de 81,74 % e 80,75% para os eixos CP1 e CP2.

Na profundidade de 0,0 – 0,2 m, o primeiro componente principal foi representado por um autovetor positivo, a umidade gravimétrica. Também se observa a influência da microporosidade e porosidade total, no eixo da CP1, como autovetor negativo. No segundo componente principal observa-se como autovetor positivo a areia total, e como autovetor negativo, a argila. Na profundidade de 0,2 – 0,4 m, o CP1 foi representado por vetores negativos, para a microporosidade, porosidade total e umidade gravimétrica. O CP2 foi representado pelos vetores positivos, a areia total e macroporosidade e vetor negativo, a argila. As correlações podem ser observadas na Tabela 6.

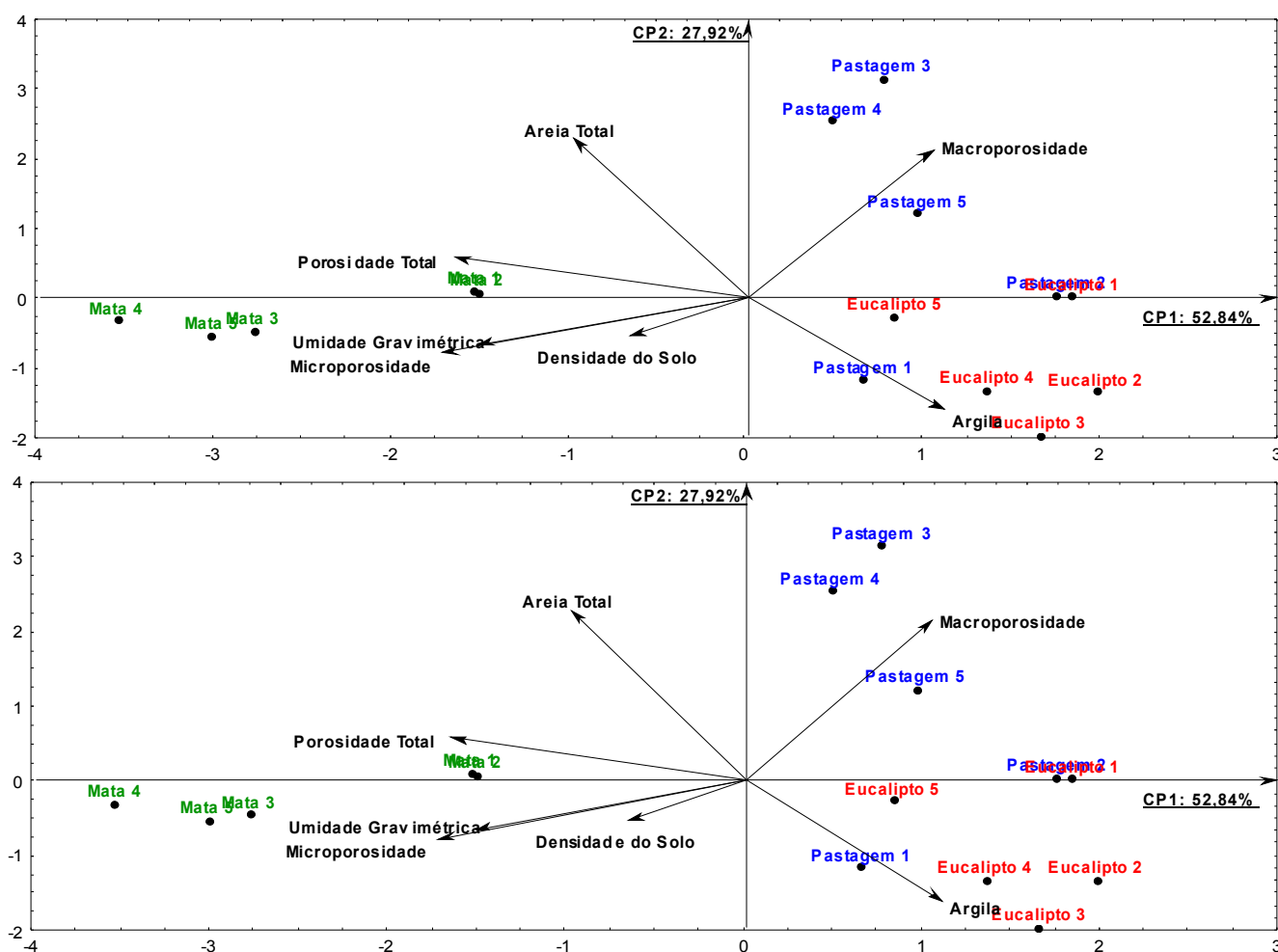


Figura 4. Análise de componentes principais das médias dos atributos físicos dos SUTs estudados.

Tabela 5. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas do solo.

Componentes	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
Profundidade 0, 0 – 0, 2 m			
1	3,253903	46,48432	46,4843
2	2,468029	35,25756	81,7419
Profundidade 0, 2 – 0, 4 m			
1	3,698650	52,83786	52,8379
2	1,054545	27,92207	80,7599

Tabela 6. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas

Atributos	Componente Principal			
	Profundidade 0,0 – 0,2 m		Profundidade 0,2 – 0,4 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Macroporosidade	0,535888	0,697580	0,591161	0,733933
Microporosidade	-0,989969*	0,024080	-0,959477*	-0,267271
Porosidade Total	-0,915990*	0,31890	-0,925900*	0,198394
Densidade do Solo	0,334007	-0,491200	-0,352442	-0,177119
Argila	-0,207556	-0,867015*	0,493825	-0,760032
Areia Total	-0,008380	0,940111*	-0,557089	0,792109
Umidade Gravimétrica	0,996464*	0,069808	-0,944916*	-0,261986

Essa separação dos pontos da mata com os outros SUTs salienta o fato de que o manejo modificou o solo dos SUTs. As diferenças ocorreram devido ao isolamento dos SUTs, não havendo pisoteio animal ou revolvimento do solo. A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas, e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas.

A estrutura do solo é correlacionada ao arranjo das partículas e da dinâmica do uso do solo que varia espacialmente e temporalmente, em escalas múltiplas. Essa característica é considerada um dos processos mais complexos para a compreensão da dinâmica que ocorre na formação do solo. O arranjo das partículas de areia, silte e argila em agregados pode ser analisado a partir dos dados obtidos

pelos valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e umidade gravimétrica.

Logo, pode-se afirmar, com base nas análises exploratórias de dados, que realmente houve a separação dos três ambientes, resultantes das diferenças do uso e do manejo das áreas o que determinou diferenças nos atributos físicos do solo nas áreas estudadas.

O conhecimento básico sobre as propriedades físicas do solo não é apenas de valor prático, mas servirá como base para a compreensão de aspectos que dizem respeito às partículas sólidas do solo e à maneira como elas se unem formando agregados.

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que os sistemas de uso do solo pouco interferiram na qualidade física do mesmo. A maior interferência foi a do manejo nesses SUTs. Não há revolvimento do solo ou pisoteio animal há alguns anos nas áreas estudadas. A tendência é o alcance do equilíbrio nesses sistemas com o passar do tempo. A área reflorestada com eucalipto e a pastagem obtiveram qualidade semelhante. A mata nativa obteve, no geral, melhores resultados em relação aos demais SUTs, mas todos eles, em relação a qualidade física, são satisfatórios. A porosidade total (macroporosidade + microporosidade) e a densidade do solo podem ser bons atributos físicos a serem utilizados para o planejamento do uso e manejo de um Argissolo Vermelho-Amarelo. O coeficiente de variação para esses atributos é considerado baixo, nas duas profundidades amostradas (WARRICK; NIELSEN, 1980).

#### 4.2 Atributos químicos do solo

Os valores dos atributos químicos do solo apresentaram variações entre os SUTs nas profundidades de 0,0–0,2 e 0,2–0,4 m (Tabela 7). Para discutir a fertilidade do solo, foi utilizado os níveis adotados por Raij (2011) (Tabela 8).

De forma geral, a tabela de comparações para as variáveis químicas do solo (Tabela 7) mostra que os solo sob mata nativa evidenciou melhor fertilidade e condições químicas mais propícias ao crescimento de plantas, quando comparados aos demais SUTs.

Tabela 7. Caracterização dos atributos químicos do solo sob os SUTs e profundidades amostradas

	P	pH.	MO	COT	Ca	K	CTC	SB	Mg	H+Al	V%	
	mg dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>						mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%
Profundidade 0,0 – 0,2 m												
Mata Nativa	9,0 a	5,76 a	29.60 a	17.20 a	40.20 a	3.08 a	74,28 a	55,48 a	12,2 a	18.80 b	74.20 a	
Eucalipto	4,2 b	4,14 c	21.20 ab	12.32 ab	6.80 c	3.58 a	58,18 b	13,58 c	3,2 c	44.60 a	22.94 c	
Pastagem	6,6 ab	5,0 b	21.60 ab	12.56 ab	17.60 b	3.30 a	49,70 bc	27,90 b	7 b	21.80 b	55.80 b	
SAF	5,0 b	4,94 b	20.20 b	11.74 b	13.40 bc	3.18 a	41,98 c	22,18 bc	5,6 bc	19.80 b	52.78 b	
CV%	27,94	4,72	21,11	21,20	26,95	11,47	26,92	22,61	14,80	11,88	11,93	
Profundidade 0,2 – 0,4 m												
Mata Nativa	8.60 a	5.72 a	20.20 a	11.72 a	29.00 a	2.24 b	58,24 a	40,04 a	8.80 a	18.20 b	68.80 a	
Eucalipto	4.20 b	4.08 c	19.60 a	11.38 a	6.60 c	3.52 a	56,32 a	13,12 c	3.00 c	43.20 a	22.84 c	
Pastagem	5.00 b	4.86 b	17.00 a	9.86 a	16.40 b	2.54 b	45,54 b	24,34 b	5.40 b	21.20 b	53.26 b	
SAF	2.80 b	4.78 b	17.60 a	10.18 a	14.20 b	2.48 b	44,88 b	21,48 b	4.80 bc	23.40 b	47.90 b	
CV%	36,59	6,08	17,38	17,31	18,08	7,28	21,70	17,12	15,36	11,84	13,97	

CV% = Coeficiente de Variação; As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8. Classificação dos atributos químicos do solo sob mata nativa, eucalipto, pastagem e SAF, segundo RAIJ (2011)

SUT	P	pH.	Ca	K	Mg	V%
Profundidade de 0,0 – 0,2 m						
Mata Nativa	Alto	Baixa	Alto	Alto	Alto	Alto
Eucalipto	Baixo	Muito Alto	Médio	Alto	Baixo	Muito Baixo
Pastagem	Baixo	Alto	Alto	Alto	Médio	Médio
SAF	Muito Baixo	Alto	Alto	Alto	Médio	Médio
Profundidade de 0,2 – 0,4 m						
Mata Nativa	Alto	Baixo	Alto	Médio	Alto	Médio
Eucalipto	Baixo	Muito Alto	Médio	Alto	Baixo	Muito Baixo
Pastagem	Muito Baixo	Alto	Alto	Médio	Médio	Médio
SAF	Muito Baixo	Alto	Alto	Médio	Médio	Baixo

O pH do solo foi superior na área sob mata nativa, nas duas profundidades amostradas, em relação ao solo sob eucalipto, pastagem e SAF (Tabela 7). Este fato pode estar relacionado com a maior disponibilidade da matéria orgânica no solo sob mata (IWATA et al., 2012). A acidez potencial (H + Al) é inversamente proporcional aos valores de pH. Sendo assim, o menor valor foi obtido para a mata nativa e, estatisticamente, os outros SUTs foram semelhantes. Para a correção da acidez do solo, a calagem torna-se necessária. Esse procedimento só ocorreu no SAF (para implantação do sistema). A saturação em bases (V%), foi maior na área de mata nativa, seguida pelas áreas de pastagem e SAF. O eucalipto obteve o menor valor

de V%, o que confirma os resultados discutidos anteriormente. Com exceção da área de eucalipto, os outros SUTs obtiveram uma boa saturação em bases (> 50 %). O aumento do V% confere ao solo maior fertilidade.

O maior teor de MO na camada mais superficial do solo, comparado ao da camada subsuperficial, se deve à maior concentração de raízes nessa camada e à deposição superficial do resíduo da parte aérea do capim e a biomassa formada por pela parte aérea do eucalipto e SAF.

O teor de COT diminuiu, em função do uso do solo, sendo os valores mais elevados observados em condições de mata, seguidos da área de pastagem, eucalipto e SAF (Tabela 7). Tal constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos nos solos sob mata. Todavia, a diminuição do teor de COT nos solos sob cultivos pode ser atribuída também ao aumento do consumo do carbono prontamente disponível pela biomassa microbiana e, ainda, pelo sistema de produção e manejo adotados (JAKELAITIS et al., 2008).

Apesar de o teor de MO e COT ter sido maior na mata nativa, a pastagem e o eucalipto foram estatisticamente semelhantes a mesma. LOSS et al. (2014), estudando áreas de floresta convertidas em pastagens, observaram que a conversão da floresta em pastagem com 8 a 10 anos de uso com braquiária está aumentando os teores de COT e Nitrogênio total na camada de 0-5 cm quando comparado com a área original de floresta. Isto tem sido atribuído ao sistema radicular fasciculado nas pastagens e ao ciclo mais intenso de renovação do sistema radicular devido à constante pastoreio. Além disso, nos sistemas de pastagens tem sido comum observar maiores teores de matéria orgânica quando a pastagem atinge a estabilidade do crescimento (acima de seis anos).

Os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) foram considerados alto para a mata nativa, médio para o eucalipto e alto para a pastagem e SAF, nas duas profundidades amostradas (RAIJ, 2011) (Tabela 8). Os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  foram considerados alto para a mata nativa, baixo para o eucalipto e médio para a pastagem e SAF nas duas profundidades amostradas (RAIJ, 2011) (Tabela 8). Os teores de potássio ( $\text{K}^+$ ) foram considerados altos para todos os SUTs na profundidade de 0,0-0,2 m e médios para a profundidade de 0,2-0,4 m para mata nativa, pastagem e SAF, com exceção do eucalipto, que permaneceu alto. Os maiores teores de nutrientes na mata nativa podem estar relacionados com a eficiente reciclagem de nutrientes que ela efetua (ARAÚJO et al., 2004). Diretamente relacionada aos nutrientes Ca, K e Mg, a soma

de bases (SB) foi maior na mata nativa, medianos na pastagem e SAF e menor no eucalipto.

Os teores de P disponíveis podem ser considerados baixos, nas duas profundidades amostradas, com exceção da mata nativa, que obteve alto teor de fósforo disponível. Entretanto, na camada de 0,0-0,2 m as quantidades são superiores à das camadas subsuperficiais.

A CTC foi mais elevada na mata nativa, seguida do eucalipto nas duas profundidades amostradas. Tal fato pode ser explicado pelo fato de as raízes das árvores atuam na melhoria da ciclagem de nutrientes (IWATA et al., 2012).

Na Figura 5, pode ser observado o dendrograma, obtido da matriz de dados padronizados, pela análise de agrupamento objetivando avaliar a semelhança das áreas de estudo.

Cada vez que se obtém variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos. Nesta análise, as áreas foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos homogêneos. Pela disposição no gráfico, ambientes pouco distanciados são mais semelhantes do que os amplamente distanciados.

Os agrupamentos formados pela análise de cluster confirmam a diferença entre os SUTs, visto que as quatro áreas analisadas foram separadas, considerando as parcelas. A mata (parcelas 1, 2, 4 e 5) são mais similares com a mata (parcela 3), pastagem (parcela 1) e reflorestamento com eucalipto (parcela 1), sendo a mata nativa e o eucalipto, no geral, os ambientes isolados que mais se diferenciam dos demais.

Essas diferenças de agrupamento resultam, portanto, das diferenças observadas dos atributos químicos solo, possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas. Os atributos que promoveram a ausência de similaridade da mata com as demais áreas e, contrariamente, a grande proximidade do ambiente reflorestado com eucalipto (com exceção da parcela 1, na profundidade de 0,0-0,2 m) com o sistema agroflorestal e pastagem pode ser evidenciada nos resultados da análise de componentes principais.

A análise de componentes principais dos atributos do solo vem confirmar a análise de agrupamento para os ambientes estudados, com a formação de três grupos, na qual a área reflorestada com eucalipto, sistema agroflorestal e pastagem

(com exceção das parcelas 1 tanto do reflorestamento com eucalipto quanto da pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m) se encontram mais próximas e mais afastada da área com mata nativa, que correspondem à diferenciação dos quatro tipos de ambientes.

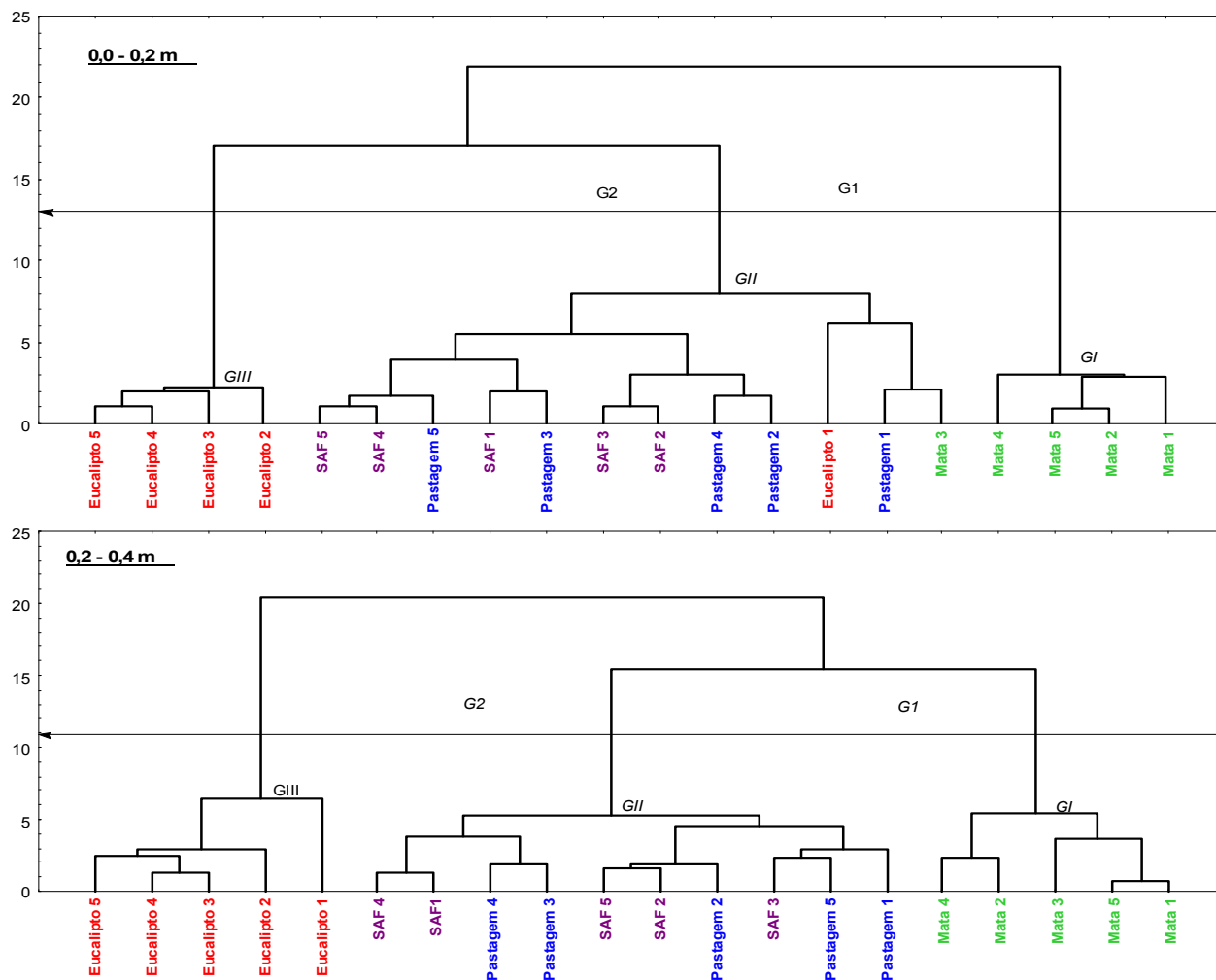


Figura 5. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis.

Dentro deste contexto, o primeiro e o segundo componente principal foram necessários para explicar a variância total, devido a apresentação de elevados autovalores (5,89 e 2,05 na profundidade 0,0- 0,20 m, e 6,08 e 1,68 na profundidade 0,2- 0,4 m), (Tabela 9). Isso mostra que, de dez variáveis, passam-se a utilizar duas, havendo redução de dimensionalidade das variáveis originais, com perda de explicação de menos de 25% nas duas profundidades estudadas.

Tabela 9. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para a análise granulométrica e atributos químicos do solo.

Componentes	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
Profundidade 0,0 – 0,2 m			
1	5,896990	58,96990	58,9699
2	2,059498	20,59498	79,5649
Profundidade 0,2 – 0,4 m			
1	6,087368	60,87368	60,8737
2	1,689102	16,98102	77,7647

Quanto ao percentual de variância explicado pelas CPs, verificou-se que na profundidade 0,0–0,2 m, a primeira e segunda componente são responsáveis por 79,56% da variância total, sendo 58,96 % na CP1 e 20,59% na CP2. Na profundidade 0,2–0,4 m as duas primeiras CPs foram responsáveis 77,76% da variância dos dados originais, com 60,87% na CP1 e 16,89% na CP2.

Os pesos entre as variáveis e as componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação dos solos, conforme demonstra a Tabela 9.

Na profundidade 0,0- 0,2 m, no primeiro componente (CP1), as variáveis com maior poder discriminatório foram nessa ordem: V%, pH, Ca, Mg, H+Al, P, MO, areia total, K e argila. Na profundidade 0,2-0,4 m, no primeiro componente (CP1) as variáveis com maior poder discriminatório foram nessa ordem: V%, Ca, pH, Mg, areia total, P, MO, argila, K, H+Al (Tabela 10).

Tabela 10. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas

Atributos	Componente Principal			
	Profundidade 0,0 – 0,2 m		Profundidade 0,2 – 0,4 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2
P	0,811428	-0,214058	0,626547	-0,511078
pH	0,961459	-0,044594	0,948984	-0,100316
MO	0,683138	-0,556233	0,249927	-0,859968
K	-0,282667	-0,307168	-0,616400	-0,524965
Ca	0,911694	-0,344926	0,956299	-0,178903
Mg	0,904328	-0,308247	0,923522	-0,262284
H+Al	-0,824597	-0,444505	-0,891416	-0,332826
V%	0,982500	0,057395	0,969301	0,026153
Argila	-0,294912	-0,843687	-0,573409	-0,218151
Areia Total	0,621577	0,693732	0,722120	0,377967

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.

Na profundidade 0- 0,2 m, no primeiro componente (CP1) as variáveis mais fortemente correlacionadas com a área de mata nativa na profundidade 0,0–0,2 m foram: V%, pH, Ca e Mg (Figura 6), apresentando-se, no primeiro e quarto quadrante, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas.

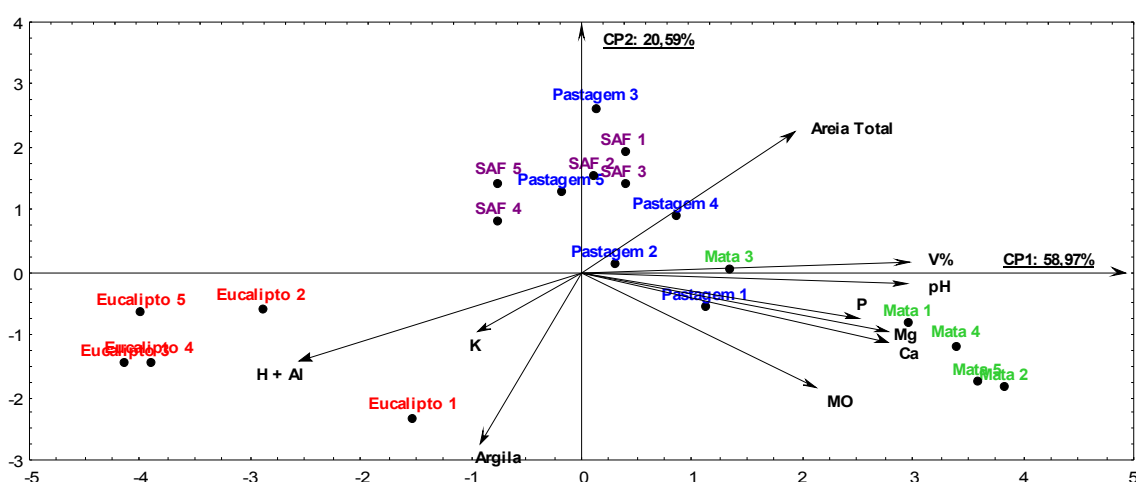


Figura 6. Análise de Componentes Principais (PCA) com base nas variáveis do solo nas diferentes áreas estudadas na profundidade 0,0-0,2 m.

Na profundidade 0,2 -0,4 m, as variáveis mais fortemente correlacionadas com a mata nativa foram: V%, Ca, pH e Mg apresentando-se, no primeiro e quarto quadrante, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas (Figura 7).

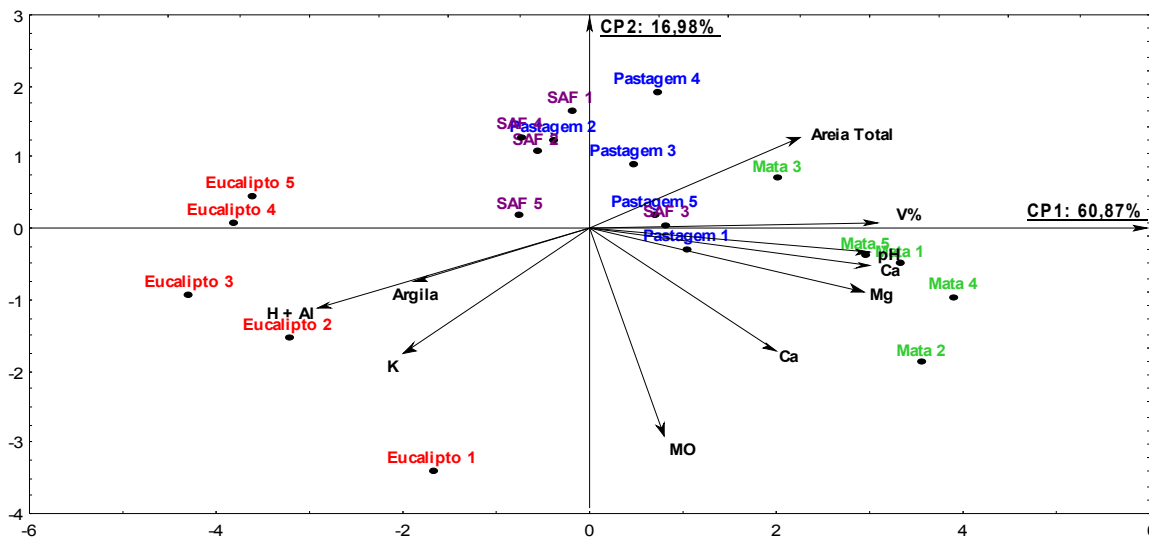


Figura 7. Análise de Componentes Principais (PCA) com base nas variáveis do solo nas diferentes áreas estudadas na profundidade 0,2-0,4 m.

A ACP possibilitou a melhor avaliação de grupos de atributos inter-relacionados no solo a partir da sua interpretação, e correlação com sistemas de uso da terra. Na ACP, para as variáveis na profundidade de 0,0–0,2 m, foram avaliados os dois primeiros componentes que explicaram 79,5% e 77,7% na profundidade de 0,2 – 0,4 m da variabilidade total dos dados e que tiveram autovalores maiores que 1 (Quadro 3). Segundo Cruz e Regazzi (2001), em estudos de ACP almeja-se que 70% da variação total acumulada sejam explicadas pelos dois primeiros componentes. Quando tal acumulação não ocorre, pode-se optar pela utilização dos primeiros componentes com autovalores maiores que 1 que é a variância média dos atributos quando uma matriz de correlação é utilizada.

No primeiro componente principal da profundidade de 0,0–0,2 m (CP1 0,0-0,2) explica-se 58,96% da variabilidade total dos dados e a elevada correlação positiva com as variáveis V%, pH, Ca e Mg e negativa com H+Al, Argila e K (Quadro 4). Menores correlações positivas foram observadas entre CP1 0,0-0,2 com P, MO e areia total. A importância relativa ou influência de cada atributo químico em estudo sobre os componentes é dada pelas suas correlações com os componentes principais. O grupo de maior contribuição da variação de CP1 0,0-0,2 (V%, pH, Ca e Mg)

identifica a variação na área inerente às reações ácido-base no solo. O grupo das variáveis de menor contribuição para o CP1 0,0-0,2 (P, MO e areia total) pode ser interpretado como o efeito principalmente dos teores de areia e menor contribuição da matéria orgânica na geração de cargas e retenção de cátions aportados predominantemente via adubação.

No segundo componente principal (CP2 0,0 -0,2 m), correspondendo a 20,59% da variância total dos dados, observa-se a contribuição da areia total e V%, que apresentaram correlação positiva com CP2 0,0-0,2 m destacando a correlação negativa de todas as outras variáveis Quadro 4). O grupo de atributos relacionado ao CP2 0,0-0,2 m (areia total e V%) sugerem a maior influência da textura e saturação em bases do solo, uma vez que indica locais com menores teores de argila e maiores teores de areia onde se sobressai a contribuição da matéria orgânica.

Na profundidade de 0,20–0,40 m, no primeiro componente principal (CP1 0,2 - 0,4 m), explicando 60,87% da variação total dos dados, observou-se forte correlação positiva com V%, Ca, pH, Mg, Areia total, P e MO (Quadro 4). O CP1 0,2 -0,4 m pode ser interpretado novamente como variação na área inerente à acidez do solo. O CP2 0,2-0,4 m, que participa com 16,98% da variação total, possui forte correlação negativa com a MO, paralelamente, à correlação positiva de fraca intensidade do V% e areia total.

A qualidade química do Argissolo Vermelho-Amarelo estudado está comprometida. A mata nativa, sem histórico de revolvimento ou adubação, obteve no geral, os melhores valores para os atributos químicos do solo. Esperava-se que o SAF, devido a adubação para implantação do sistema, obtivesse as melhores condições químicas, em relação a mata nativa. Iwata et al. (2012), concluíram que os sistemas agroflorestais promoveram a melhoria dos indicadores químicos do solo aliada ao aumento do pH, redução da saturação por alumínio, aumento dos teores de nutrientes. Áreas de pastagem, reflorestamento com eucalipto e SAF necessitam de manejo adequado do solo, tanto para melhorar as condições químicas do mesmo quanto para aumentar a produtividade. Esses SUTs, segundo os dados obtidos, estão em boas condições físicas, mas pobres em nutrientes. Por um lado, o isolamento das áreas de pastagem e eucalipto foi bom para recuperar os atributos físicos-hídricos, por outro lado a falta de adubação e calagem está degradando essas áreas quimicamente.

O pH, V% e H + Al foram bons atributos químicos para identificar a necessidade de um manejo adequado para o Argissolo Vermelho-Amarelo estudado. A ausência de adubação e calagem nos SUTs subestima a capacidade produtiva do solo, uma vez que estão sendo usados para a pastagem, eucalipto e SAF.

O uso das técnicas multivariadas mostrou-se útil no estudo entre as correlações dos atributos químicos e físicos do solo e os ambientes estudados, a fim de verificar as semelhanças e/ou as diferenças entre os ambientes.

## 5. CONCLUSÕES

- 1) Os atributos físicos dos SUTs e da mata nativa foram satisfatórios.
- 2) Os atributos químicos dos SUTs em relação a mata nativa foram insatisfatórios.
- 3) O manejo inadequado dos SUTs está causando degradação química no solo analisado.
- 4) As técnicas de análises multivariadas separaram bem os SUTs em relação a mata nativa, de acordo com os atributos físicos e químicos do solo.

## REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N. **Recuperação de áreas degradadas: o exemplo da voçoroca em Pindorama. Catanduva-SP**: FAFICA/UEL, 158p. (Monografia - Curso de Especialização em Geografia e Meio Ambiente). 1999.

ABDO, M. T. V. N. **Caracterização da vegetação arbórea e atributos do solo da reserva biológica de Pindorama, SP**. Tese. Doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. 2009.

ABDO, M. T. V. N.; MARTINS, A. L. M.; FINOTO, E. L.; FABRI, E. G.; PISSARRA, T. C. T.; BIERAS, A. C.; LOPES, M. C. Implantação de sistema agroflorestal com seringueira, urucum e acerola sob diferentes manejos. **Pesquisa e Tecnologia**, Pindorama, v. 9, n. 2, p.1-15, 2012.

ABURJAILE, S.B.; SILVA, M.P. da; BATISTA, E.A.F.S.; BARBOSA, L.P.J.L.; BARBOSA, F.H.F. Pesquisa e caracterização da diversidade microbiológica do solo, na região de São José do Buriti-MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (cerrado) por plantações de eucalipto. **Ciência Equatorial**, v. 1, n.2, p. 1-18, 2011.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2003.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

BEEK, K.J. **Recursos naturais e estudos perspectivos em longo prazo**: notas metodológicas. Brasília. SUPLAN/MA. 1975.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986. p.377-382.

BOMFIM, E. R. P.; PINTO, J. C.; SALVADOR, N.; MORAIS, A, R.; ANDRANDE, I. F.; ALMEIDA, O. C. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagem degradada de braquiária, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e

fibra em detergente ácido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p.912-920, 2003.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M, L, N; CURI, N; FERREIRA, M. M; FREITAS, D. A. F; Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 613-622, 2011.

CARVALHO, A. J. A.; SOUZA, E. H.; MARQUES, C. T. S.; GAMA, E. V. S.; NACIF, P. G. S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Bahia, v. 2, n. 2, p. 941-944, 2007.

CAVARARO, R. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (ibge) (Org.). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\_naturais/manuais\_tecnicos/manual\_so\_da\_terra.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2015.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D. de.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.1207-1216, 2011.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

CRUZ, D. L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p.307-314, 2014.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, p. 443-460, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. 225p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro:

Embrapa, 2013, 353p.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de.; MORETI, T. C. C. F.; CARMO, D. A. B.do. Avaliação de Atributos Químicos e Físicos de Solos com Diferentes Texturas Cultivados com Cana-de-Açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p.362-374, 2013.

GONÇALVES, E. C. P. Coord. A Cultura da Seringueira para o Estado de São Paulo. **Manual Técnico 72**, CATI, Campinas, 163p. 2010.

GRIGOLON, G. B. **Curvas de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidades e tensão na câmara de Richards**. 82f. 2013. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Piracicaba, SP. 2013.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. & BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005.

HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; REICHARDT, K. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 277-289, 2008.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p.730-738, 2012.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN,R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118-127, 2008.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

LEAMER, R. W.; SHAW, B. A simpis apparatus for measuring noncapillary porosity an extensive seale. **Journal of America Society Agronomy**, v. 33, p. 1003-1008, 1941.

LEPSCH, I. F.; VALADARES, J. M. A. S.. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pindorama, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 35, p. 13-40, 1976.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, Piauí, v. 5, n. 1, p.1-10, 2014.

MACEDO V.R.M; SILVA A.J.N ; CABEDA M.S.V. Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.856-862, 2010.

MARTINS,G.C.; FERREIRA, M.M.; VITORINO, C.T.; SILVA, M.L.N. Campos Nativos a Matas Adjacentes da região de Humaitá (AM): Atributos diferencias dos solos. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v.30, n.2, p. 221-227, 2006.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L. de.; SILVA, S. F. da.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. de. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p.2057-2066, 2012.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p.907-913, 2010.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p.911-920, 2008.

PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L.; ANJOS, J. L.; MELO, P. O. Atributos físico-hídricos e químicos de solos sob cultivo de milho na região agreste de Sergipe. **Agropecuária Científica no Cerrado**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.51-58, 2014.

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

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420p.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RONQUIM, C.C. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. In: \_\_\_\_\_. **Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%)**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2010.

ROSSETTI, Karina de Vares. **Sistemas de Manejo e Qualidade Física em Latossolo Vermelho**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista (unesp), Jaboticabal, 2010. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88318/rossetti\\_kv\\_me\\_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88318/rossetti_kv_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 26 jan. 2015.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 48f. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, PR. 2012.

SANTOS, M. A redescoberta da natureza. **Estudos Avançados**. São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, Instituto de Estudos Avançados, v. 6, n. 14, p. 95-106, 1988. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v6n14/v6n14a07.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob Pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p.2486-2492, 2010.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do cerrado**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS, J. F. M.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da Porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Submetido A Diferentes Sistemas De Preparo De Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.765-769, 2001.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In:WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.77-86, 2011.

STATSOFT, Inc. (2004). **STATISTICA** (data analysis software system), version 7. Disponível em: <[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. M. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p.94-106, 2014.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in thefield. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. 6ª ed. New York-USA: Academic Press, 1980. p. 70-110.

ZANON, C. A. F. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais no sul do Estado do Espírito Santo**. 2013. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.