

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MATA COM O USO
DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

Flávia Janaina Carvalho Brandão
Engenheira Agrônoma

2013

Brandão, Flávia Janaína Carvalho
B817c Caracterização de um Latossolo em sistemas agroflorestais e
mata com o uso de análise estatística multivariada. / Flávia Janaína
Carvalho Brandão. – – Jaboticabal, 2013
xiv, 57 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientadora: Teresa Cristina Tarle Pissarra

Banca examinadora: Maria Esmeralda Soares Payão Demattê,
Alexandre Barcellos Dalri, Maria Teresa Vilela Nogueira Abdo, Vera
Lucia Abdala

Bibliografia

1. Agroecossistemas. 2. Atributos do solo. 3. Componentes
principais. 4. Manejo do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:634.0.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
– Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MATA COM O USO DE ANÁLISE
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

Flávia Janaina Carvalho Brandão

Orientador(a): Prof. Dr^a Teresa Cristina T. Pissarra

Tese apresentada á Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Ciência do solo).

2013

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FLÁVIA JANAINA CARVALHO BRANDÃO – Nascida em 12 de dezembro de 1972 em Salvador – BA, é filha de Jonas Ribeiro Brandão e Josefa Dilma Carvalho Brandão. Completou o curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica em 2002, pela Universidade Federal da Bahia – extinta Escola de Agronomia em Cruz das Almas, hoje UFRB – Universidade Federal do Recôncavo Baiano, onde foi bolsista PIBIC/CNPq por dois anos consecutivos, participando ativamente de pesquisas voltadas para o manejo e a conservação de solos. Em 2003 ingressou no Curso de Pós-graduação (Mestrado) em Ciência Agrárias pela mesma Universidade, sob orientação do professor Dr. Joelito de Oliveira Rezende, e concluiu seu curso em 2005. Foi bolsista de apoio Técnico da FAPESB de 2006 - 2008, junto ao Núcleo de Engenharia de água e solo (NEAS-UFRB) e atuou profissionalmente como Instrutora em cursos de extensão profissionalizante para o SEBRAE, o SENAR e a FUNDAÇÃO BRADESCO. Em 2010, ingressou como aluna de Pós graduação (doutorado) pela UNESP-Campus Jaboticabal, no Programa de Ciência do solo, sob orientação da Professora Dr^a Teresa Cristina T. Pissarra.

“.... Os homens perdem a saúde para juntar dinheiro, depois perdem o dinheiro para recuperar a saúde. E por pensarem ansiosamente no futuro, esquecem do presente, de forma que acabam por não viver nem o presente e nem o futuro. E vivem como se nunca fossem morrer. E morrem como se nunca tivessem vivido.”
(Dalai Lama)

EPIÍGRAFE

Aos seres humanos, que tanto necessitam recriar relações de harmonia com a natureza. Este trabalho soma-se aos esforços em direção ao despertar da humanidade, para o que realmente importa e para quem realmente somos, rumo a uma sociedade renovada, onde se compreende a importância dos seres na grande teia da vida e se vivencia em plenitude a unidade.

DEDICO

*A Amanda Carvalho Rezende meu verdadeiro exercício de amor e dedicação,
presente que Deus me enviou para dar significado a minha existência e
caminhada!*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS, criador e pai, pelo dom da vida, pela minha existência e fé inabalável que nos ofereceu a natureza em abundância, com riquezas que nos proporciona e faz reconhecer o que realmente é essencial aos seres humanos.

A MEUS PAIS, Jonas Brandão e Dilma Carvalho, por serem incentivadores na minha educação, dedicação incansável para meu caráter e por tudo que sou.

A MEUS IRMÃOS, Jônatas e Verônica por sempre me transmitirem carinho, atenção e admiração como irmã mais velha.

À CAPES, por ter concedido a essencial bolsa de estudo para minha permanência e tranquilidade.

A TERESA C. T. PISSARRA (orientadora – amiga - irmã) a que unicamente me chama por “Brandão”, exemplo de profissional investidora no capital humano, mãe e mulher exemplar, agradeço por ter acreditado em mim, mesmo quando tudo parecia tão difícil, e a minha amada sobrinha Maria Pissarra Chueire, pelo carinho e cumplicidade.

A Joelito de Oliveira Rezende e Edleuza Peixoto Rezende, minha outra família, pelo apoio em educar a neta Amanda, nos momentos que mais precisei para concluir este trabalho.

Aos amigos Servidores da FCAV: Ronaldo Barros, Izilda Máximo, Davi Trevisoli, a equipe da Secretária de pós-graduação e bibliotecários, por nos ajudarem com dedicação e carinho, sendo insubstituíveis neste processo.

Aos mestres desta Instituição que me forneceram contribuições valiosas para o amadurecimento do meu trabalho, professores: Gener Tadeu Pereira, José Eduardo Corá, José Centurion, Newton La Scala, José Marques Júnior, Marcilio Martins, Sérgio Ferraud e Regina Aparecida.

À família do laboratório de Fotointerpretação (Fabricio Zanzarini, Michele

Cláudia, Flávia Mazzer, Anildo Caldas, Beatriz, Renata, Marcelo Zanata e Fabiana Camargo).

Aos colegas pela convivência durante a trajetória do curso (Manoel Faria, Diego Siqueira “Pimpão”, Marcos Sales, Luciana Merlino, Ronny Barbosa, Thiago Ibiapina, Iolanda Reis, Sísara Rocha, Uliana Pimentel (Uli) e Ludmila (Lud), vocês também escreveram uma historia comigo nesta passagem.

Aos amigos que Deus nos apresenta, aqui destaco Liliane P. Campos, uma grande amiga, futura professora e pesquisadora, sempre me decifrando e ajudando nos aspectos emocionais e filosóficos de ver a vida além da academia da Ciência. Ao professor e amigo Áureo Silva de Oliveira, por fornecer seu otimismo, incentivo, colocando-se muitas vezes como um irmão mais velho que torce e sempre está disposto a ajudar! O João Fernandes (meu Pará), por ter chegado como irmão e verdadeiro amigo, me auxiliando nas análises estatísticas.

Aos amigos extensionistas, amantes da Agroecologia, por acreditarem na exploração básica por alimentos devolvendo o que a natureza nos empresta como missão, aos produtores do Assentamento rural Sepé Tiarujú, Senhores Aguinaldo, Elias, Moacir, Francisco, Paulinho e meus digníssimos companheiros de campo Danilo, João Paulo, Marcel, Alexia e nossa estimada amiga e professora Regina Aparecida por acreditar neste trabalho.

Muito obrigada por existirem na minha vida!

SUMÁRIO

	Página
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1.INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Sistemas Agroflorestais como alternativa do uso do solo	13
2.2 Indicadores de qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais	14
2.3 Indicadores do uso do solo nos atributos físicos do solo.....	15
2.4 Impactos do uso do solo nos atributos físicos do solo.....	16
2.5 Impactos do uso do solo nos atributos químicos do solo	17
2.6 Experiências de Produtores que utilizaram sistemas agroflorestais..	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Localização da área de estudo	20
3.2 Clima e Solos	20
3.3.Vegetação	22
3.4 Histórico da área	22
3.5 Amostragem e Análise do solo	26
3.6 Análise Estatística	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Atributos químicos do solo	30
4.2 Atributos físicos do solo	36
4.3 Resistencia a penetração radicular no solo	40
5. CONCLUSÕES	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

CARACTERIZAÇÃO DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MATA COM O USO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

RESUMO – Os impactos negativos causados pela agricultura nociva aos aspectos de qualidade e da sustentabilidade das propriedades físicas, químicas e biológicas inerentes ao solo. Tendo em vista a existência de sistemas de cultivos alternativos, a exemplo dos agroflorestais. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar três sistemas com agroflorestas em diferentes épocas de implantação, com inclusão de espécies frutíferas e culturas anuais para subsistência, tendo como referência uma Mata Nativa sob a mesma vegetação típica de Cerrado-Cerradão. Para isso, coletaram-se amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo, em duas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40m, para avaliação dos atributos químicos pH, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, hidrogênio + alumínio e matéria orgânica, bem como, macro e microporosidade, densidade do solo, teores de silte, areia e argila para classificação textural do solo, e resistência à penetração. Os resultados foram submetidos à análise descritiva e análise multivariada com estudo de componentes principais, que possibilitou caracterizar por técnicas de agrupamentos, três grupos distintos (G1, G2 e G3), o grupo G1 tendo agrupado as variáveis do solo com Mata Nativa, G2 agruparam-se (SAF 1 e SAF 2 com 7 e 4 anos de implantação respectivamente), e G3 (SAF 3, com 3 anos). As variáveis que melhor responderam à caracterização por meio de análise de componentes principais foram: matéria orgânica, teores de magnésio, cálcio, macroporosidade, volume total de poros e densidade do solo. Os SAFs 1 e 2, com maior tempo de implantação, apresentaram melhores características físicas e químicas do solo em relação à área com Mata Nativa.

Palavras-chave: agroecossistemas, atributos do solo, componentes principais, manejo do solo

CHARACTERIZATION OF A OXISOL AGROFORESTRY SYSTEMS AND KILLS WITH USE OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

ABSTRACT - The negative impacts caused by agriculture harmful aspects of quality and sustainability of physical, chemical and biological properties inherent to the soil. Given the existence of alternative cropping systems, such as agroforestry. The objective of this study was to evaluate three agroforestry systems in different periods of deployment, with the inclusion of fruit trees and annual crops for subsistence, with reference to a native bush under the same typical Cerrado vegetation - Savana. For this, samples were collected from a Typic in two depths 0-0.20 and 0.20-0.40 m for evaluation of chemical properties pH , calcium, magnesium , phosphorus, potassium , hydrogen and aluminum and matter organic as well as macro and micro porosity , bulk density , silt, sand and clay to soil textural classification , and penetration resistance. The results were submitted to descriptive analysis and multivariate analysis with the study of major components , which enabled characterization techniques for groups , three groups (G1 , G2 and G3) , G1 has grouped the variables soil with native plants , grouped G2 up (SAF SAF 1 and 2 with 7 and 4 year deployment respectively) , and G3 (SAF 3 , 3 years) . The variables that best responded to the characterization by means of principal component analysis were organic matter content of magnesium, calcium, macroporosity, total pore volume and density. The SAFs 1 and 2, with longer implantation showed better physical and chemical characteristics of the soil in relation to the area with native plants.

Keywords: agroecosystems, soil attributes, principal components, soil management

1. INTRODUÇÃO

As práticas agrícolas adotadas na agricultura convencional, muitas vezes nociva ao solo, ocasionam diminuição contínua da qualidade do mesmo, resultando em baixas produtividades e com perdas em sua sustentabilidade. Tais reflexos negativos têm causado impactos degenerativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas com perdas da sua biodiversidade, bem como perdas de solo, da fertilidade, da capacidade de sustentar e possibilitar o desenvolvimento radicular das plantas.

Diante desta constatação, verifica-se uma crescente busca por agroecossistemas capazes de conservar os recursos naturais, dentre estes, o solo. Neste contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) têm se mostrado como uma alternativa viável economicamente, ambientalmente e socialmente, para amenizar os danos causados pela agricultura convencional, recuperando e/ou mantendo a qualidade ambiental, trazendo a possibilidade da fixação do homem ao campo.

Sistemas agroflorestais ou agroflorestas, podem ser definidos, como uma forma de múltiplos cultivos que sejam compostos de, pelo menos, uma espécie destinados a produção agrícola (anual ou perene), incluindo espécies arbóreas, interagindo biologicamente com grande diversidade de cultivos de subsistência e comercialização para os produtores.

De um modo geral, os SAFs vem sendo utilizados com inúmeros objetivos, recuperação de áreas degradadas, diversificação da produção, diminuição dos efeitos da sazonalidade, incremento dos níveis da matéria orgânica no solo, fixação biológica do nitrogênio atmosférico, ciclagem de nutrientes, modificação do microclima e otimização do sistema de produção em pequenas extensões de terra, tendo em vista o conceito de produção sustentável.

Os SAFs são considerados, ainda, como estimulantes à sustentabilidade ambiental por favorecerem a preservação da fauna e da flora, promover a fixação biológica de nitrogênio e a ciclagem de nutrientes, provenientes do depósito de folhas, ramos e galhos das espécies cultivadas, proporcionando desta maneira, melhores indicadores químicos e biológicos, bem como, quanto ao aumento do espaço poroso devido ao crescimento radicular da diversidade de plantas,

possibilitando melhor circulação de gases, infiltração e absorção de água, que influenciarão diretamente nos indicadores físicos da qualidade do solo.

Além disso, a implantação de SAFs pode transformar de forma benéfica a vegetação da área utilizada, melhorando a qualidade da serapilheira, fertilidade do solo e favorecendo os estágios sucessivos mais avançados da macrofauna edáfica, com predomínio de saprófitas (espécies vegetais que se nutrem de matéria orgânica em decomposição).

Os SAFs dirigidos por sucessão natural, representam sistemas de produção capazes de recuperar áreas degradadas, aliando produção à conservação, recuperação, manutenção, ou ainda, melhoria da qualidade dos recursos naturais. Por proporcionarem um aumento na espessura da camada de liteira, os SAFs, favorecem a presença de minhocas e outros organismos da fauna terrestre, que promovem a construção de galerias, proporcionando incremento na macroporosidade e redução da densidade do solo, reduzindo ou recuperando os níveis de compactação do solo.

Partindo-se da hipótese de que o manejo agroflorestal pode se tornar uma alternativa para melhoria das características físicas e químicas do solo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos mais relevantes relacionados à qualidade do solo em áreas implantadas com SAFs em diferentes tempos de implantação, comparando-os com solo de Mata Nativa sob mesma vegetação. Para isso foram coletadas amostras de solo, nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40m de profundidade, em três propriedades de agricultura familiar, localizados em um Assentamento Rural, localizado no Município Serra Azul, região nordeste do estado de São Paulo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas Agroflorestais como alternativa do uso do solo

A necessidade de recuperação dos aspectos sustentáveis do ambiente como solo e água, tem sugerido novos conceitos de produção agrícola visando sua qualidade e conservação. Os sistemas agroflorestais (SAFs) surgiram como alternativa de produção agropecuária que visa minimizar a ação antrópica nos sistemas naturais, possibilitando a consorciação de várias espécies, consequentemente com o intuito de aumentar a diversidade do ecossistema, em que as interações benéficas serão aproveitadas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções dentro de uma área (FEIDEN, 2009).

Agrofloresta é uma palavra não muito recente, para práticas antigas onde plantas lenhosas crescem com cultivos agrícolas e/ou gado na mesma unidade de área”. Apesar do conceito de agrofloresta mais conhecido ou divulgado, elabora do pelo ICRAF - “SAFs são combinações do elemento arbóreo com herbáceas e/ou animais organizados no espaço e/ou no tempo” (EHLERS, 1996).

Para Altieri (2012) mais que apresentar um sistema de produção, com desenho de consórcios, regras e conselhos de manejo, a abordagem do trabalho com sistemas agroflorestais, trata de repensar a postura do homem frente ao ambiente que o cerca e apontar conceitos fundamentais e propostas metodológicas que possibilitem a elaboração dos SAFs sustentáveis. “O produto final necessário deverá ser, uma agricultura ecológica voltada para o ser humano desenvolvido e consciente, com atitudes de coexistência e não de exploração para com a natureza”.

A utilização dos SAFs com recomendações citadas pela FAO (1995) pode ser utilizada de um modo geral satisfazendo alguns dos seguintes objetivos: para diversificar a produção, reduzir os efeitos de sazonalidade, elevar os níveis da matéria orgânica no solo, promover a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, auxiliar na ciclagem de nutrientes, modificação do microclima e otimização do sistema de produção, tendo em vista o conceito de produção visando sua sustentabilidade.

Diversos autores têm utilizando sistemas de agroflorestas em seus estudos, buscando respostas quanto a este tipo de manejo ainda tão discutido. ALVES et al., (2011) e LIMA et. al., (2011) em suas pesquisas, comparando áreas com pastagem e plantio convencional observaram redução dos estoques de carbono microbiano em relação a Mata Nativa e sistemas agroflorestais, sendo este indicador biológico responsável por promover maior produção de biomassa aérea e subterrânea, como também cobertura do solo, favorecendo o acúmulo de carbono e a manutenção da fertilidade do solo por meio de uma ciclagem mais eficiente de nutrientes, reduzindo perdas por lixiviação e erosão.

A utilização de SAFs também é considerada como benefício na recuperação de áreas degradadas, apresentando resultados positivos para a melhoria das propriedades física e químicas dos solos, assim como propiciam condições mais favoráveis para o estímulo da atividade dos microrganismos; esta é resultante, principalmente, do grande aporte de matéria orgânica ao solo. Outro destaque como vantagens de implantação dos SAFs é a elevada capacidade de produção de biomassa vegetal e a ocupação de diferentes estratos arbóreos, proporcionando maior eficiência no aproveitamento da radiação solar e na exploração de maior volume de solo (DUBOIS, 2009).

2.2 Indicadores de qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais

No âmbito de estabelecer parâmetros de controle qualitativo e caracterização dos ecossistemas sob exploração econômica, o termo de qualidade do solo vem sendo utilizado para auxiliar como diagnóstico, bem como medidas de prevenção e controle, além de estar relacionada com interações da funcionalidade dentro dos ecossistemas naturais ou manejada que concede sustentabilidade ao solo promovendo melhor atividade biológica, no crescimento e desenvolvimento de espécies, saúde das plantas e animais proporcionando uma qualidade ambiental (DORAN & PARKIN, 1994).

Esta capacidade resulta das interações entre inúmeros processos químicos, físicos e biológicos de natureza complexa (TÓTOLA & CHAER, 2002) e consequentemente sofre alterações com o uso antrópico (REICHERT et al., 2003). A utilização de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua

qualidade física, química e biológica com possíveis reduções na capacidade de produção e na qualidade do solo com riscos de não reversão.

2.3 Impactos do uso do solo nos atributos físicos do solo

Segundo REYNOLDS et al. (2002), um solo agrícola com boa qualidade física é aquele que atende as necessidades e se mantém com boa estrutura, é resistente à erosão e à compactação, considerando não ser tanto resistente, para permitir o crescimento radicular e a proliferação da flora e fauna do solo.

De acordo com REICHERT et al.(2003), a qualidade do solo do ponto de vista físico está associada as seguintes características: permitir boa infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, córregos e subsuperfícies; possibilitar ao manejo e resistir à degradação; permitir trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e possibilitar o crescimento das raízes e desenvolvimento das culturas com reflexos na produtividade.

A degradação das características físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, sendo que essas alterações podem se manifestar de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Tendo em vista da importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas o monitoramento da qualidade do solo mediante avaliação das características físicas se faz necessário (SILVA et al., 2005; MELLONI et al., 2008).

As plantas necessitam de solos com condições físicas e químicas favoráveis para o seu desenvolvimento adequado. Tais condições determinam os fluxos de água, calor e gases no solo, bem como conseqüente desenvolvimento de micro e macro fauna do solo, a umidade do solo, por sua vez, controla a aeração, a temperatura e a resistência mecânica do solo, as quais são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. Esses fatores físicos interagem e regulam o crescimento e a funcionalidade das raízes, com reflexo no crescimento e produtividade dos cultivos (MAIA et al., 2006)

A estrutura do solo pode ser alterada por práticas de manejo, influenciando a produtividade das culturas por meio das alterações na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes

(TORMENA et al., 1998). Desta forma, a capacidade do solo em promover condição adequada para o crescimento e desenvolvimento da planta é considerada uma qualidade física do solo.

2.4 Impactos do uso do solo nos atributos físicos do solo

Segundo REYNOLDS et al. (2002), um solo agrícola com boa qualidade física é aquele que atende as necessidades e se mantém com boa estrutura, é resistente à erosão e à compactação, considerando não ser tanto resistente, para permitir o crescimento radicular e a proliferação da flora e fauna do solo.

De acordo com REICHERT et al.(2003), a qualidade do solo do ponto de vista físico está associada as seguintes características: permitir boa infiltração, retenção e disponibilização de água as plantas, córregos e subsuperfícies; responder ao manejo e possuir boa resistência à degradação; possibilitar as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e promover o crescimento das raízes e desenvolvimento das culturas.

A degradação das características físicas do solo, segundo Bertol et al. (2001), é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, sendo que essas alterações podem se manifestar de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Tendo em vista da importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas o monitoramento da qualidade do solo mediante avaliação das características físicas se faz necessário (SILVA et al., 2005).

Diversos estudos realizados apontam as mudanças ocorridas nas características físicas do solo em função do sistema de uso e manejo dos solos. Em trabalho realizado no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Machado et al. (1981) estudaram o efeito do sistema convencional de uso do solo nas alterações de suas características físicas; As maiores mudanças nas características do solo, ocorreram a partir do quarto ano de cultivo, tais alterações aconteceram à medida que aumentou o tempo de uso sob o sistema convencional. As principais mudanças ocorridas nas propriedades físicas do solo foram: reduções da porosidade total e da macroporosidade, aumentos na microporosidade e na densidade do solo.

Os indicadores de qualidade do solo utilizados no trabalho de Pezarico, et al. (2013) concluíram que as variáveis que melhor descreveram os aspectos de qualidade do solo foram porosidade total e microporosidade, quando relacionadas aos atributos físicos do solo, e em relação aos atributos microbiológicos, destacam-se os valores analisados de carbono da biomassa microbiana e de carbono orgânico e foram capazes de detectar alterações ambientais positivas em função do manejo com sistemas agroflorestais (SAFs) quando comparados aos sistemas de monocultivo (Lavoura e Erval).

A estrutura do solo pode ser alterada por práticas de manejo, influenciando a produtividade das culturas por meio das alterações na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes, segundo Tormena et al. (1998). Desta forma, a capacidade do solo em promover condição adequada para o crescimento e desenvolvimento da planta é considerada uma qualidade física do solo.

2.5 Impactos do uso do solo nos atributos químicos do solo

As características químicas do solo tornam-se aliada para caracterização do solo, assim como forma de avaliação das mudanças ocorridas em função dos seus diferentes tipos de uso.

BAYER & MIELNICZUK (1997) em estudos sobre diferentes sistemas de cultivo que a utilização de sistemas de manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais por cinco anos foi capaz de promover melhorias na qualidade química do solo, indicando a sua viabilidade na recuperação de solos degradados, em médio prazo.

Os Argissolos e Latossolos naturalmente apresentam limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio (STRECK et al., 2002). Os solos sob cerrado possuem limitações químicas que impedem ou reduzem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais. Trabalhando sob Latossolos, Alvarenga & Davide (1999) verificaram que a utilização com reflorestamento de eucalipto com um ano e com 15 anos provocou diminuições significativas, em relação ao cerrado nativo, nos teores de nutrientes, principalmente em Ca, K, Mn e saturação por bases, evidenciando que a

ocupação dessas áreas com sistemas agrícolas que não recebem nutrientes de fontes externas resulta numa deterioração química desses solos.

Também em solos sob cerrado, Araújo et al. (2007) encontraram menores valores de CTC na camada de 0-5 cm nas áreas utilizadas com pastagem plantada e com florestamento de pinus implantado há 20 anos, ao comparar com o cerrado nativo.

Em trabalho realizado por Souza & Alves (2003), foi identificado que a utilização do solo com pastagem e também com seringueira por mais de 16 anos, onde não houve aumento dos valores de P, K, Ca e Mg em relação ao cerrado nativo. Vindo a confirmar, então, a dificuldade que existe para melhoria das características químicas em sistemas de uso do solo que não recebem adições externas de produtos a base desses nutrientes.

2.6 Experiências de produtores que utilizaram SAFs

Alguns relatos de experiências com sistemas agroflorestais (SAFs) apontam grande interesse para sua viabilidade econômica, grande aceitação pelos produtores rurais e entidades de desenvolvimento agrário (GOUDEL, 2008). Em Minas Gerais, sistemas agroflorestais integrando lavouras anuais, pastagem e árvores foram implantados em larga escala pela Companhia Mineira de Metais, do Grupo Votorantim.

No Paraná, cafeicultores que haviam seguido as recomendações da EMATER fizeram quebra-ventos com *Grevillea robusta* utilizam recursos oriundos do corte das árvores para a renovação do cafezal. Estima-se que cerca de seis mil a oito mil hectares do noroeste do Paraná estejam hoje ocupados por sistemas silvipastoris, indicando excelente aceitação da prática pelos produtores rurais (GOUDEL, 2008).

No Vale do Ribeira, em São Paulo, a experiência de agricultores familiares com SAFs na Cooperafloresta mostra que essa opção é viável em todos os seus aspectos (GOUDEL, 2008).

OBJETIVO GERAL

Caracterizar o solo por meio dos atributos físicos e químicos, diferentes tempos de implantação com sistemas agroflorestais, comparando-os com solo de Mata Nativa sob vegetação de cerrado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar os atributos físicos e químicos do solo em sistemas Agroflorestais com diferentes épocas de implantação.
- Analisar atributos físicos e químicos do solo como: porosidade total do solo, macro e microporosidade, resistência a penetração, densidade do solo, grau de floclulação, relação silte / argila e análise química de rotina.
- Caracterizar por meio de variáveis do solo, qual dos Sistemas Agroflorestais se aproximou das condições de equilíbrio do solo com Mata Nativa sob a mesma vegetação, utilizando análise estatística multivariada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no ano de 2012 na região Nordeste do Estado de São Paulo, no município de Serra Azul, em lotes de um assentamento rural – Sepé Tiarujú, localizado às coordenadas geográficas latitude 21°18'39" sul, longitude 47°33'56" oeste, como demonstra a (Figura 1).

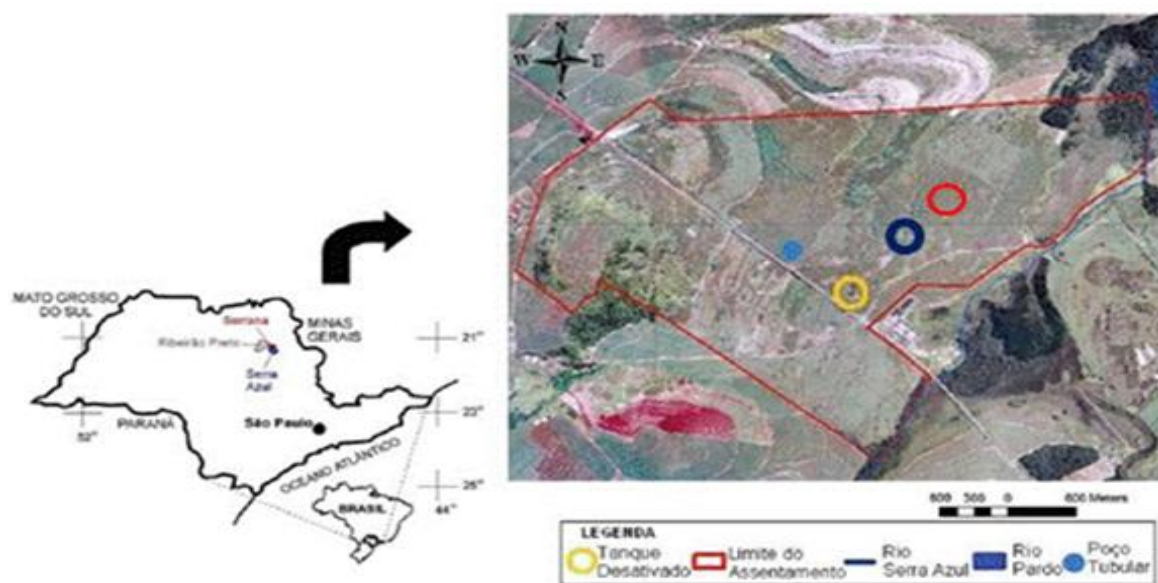


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, incluindo sistemas com agroflorestas e Mata Nativa.

3.2 Clima e Solo

O clima segundo a Classificação Climática de Koeppen é Aw - temperatura do ar média de 22,3°C e precipitação anual de 1462,8mm (CEPAGRI, 2012). Com regime hídrico de reposição e excedente concentrado nos meses de novembro à março como mostra a figura 2.

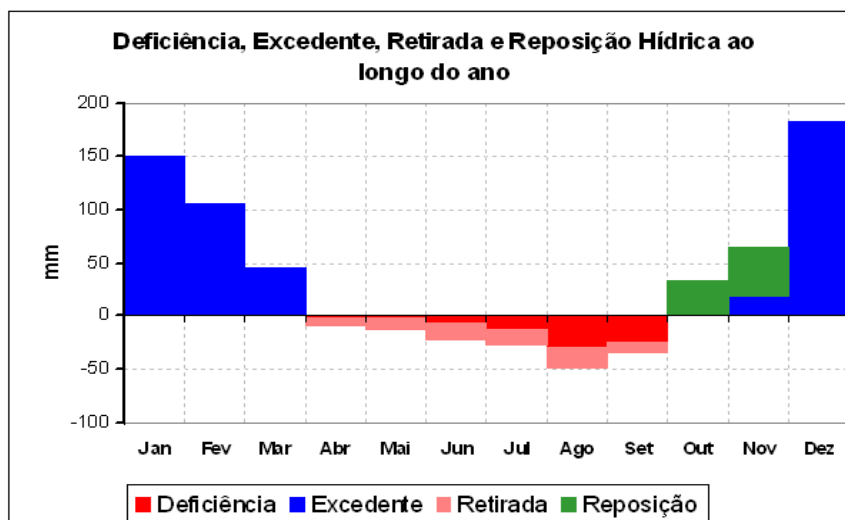


Figura 2 – Regime hídrico do Município de Serra Azul/ SP - agritempo.gov.br 2012.

A área do assentamento rural está localizada na parte da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Médio Pardo, na quarta Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo (IGC & DAEE, 2012). Nas proximidades da área de estudo localiza-se a presença do córrego Serra Azul, afluente do rio Pardo.

Os solos predominantes no assentamento rural Sepé Tiaraju são Latossolos Vermelho-Escuro e ou Amarelos com textura média e areia quartzosa profunda com textura arenosa ao longo do perfil. O solo da área de estudo foi classificado como Lva - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com formação geológica originário da alteração de rochas vulcânicas (Formação Serra Geral) e arenito (Formação Botucatu) possui relevo plano, com pequenos declives e ondulação suave (Santos et al., 2006).

Quanto ao uso e ocupação do solo, Forte (2010) destaca a monocultura da cana-de-açúcar com redução das áreas de pastagem ao longo dos últimos anos, e dentre outras culturas, as principais da região são: banana (cachos), café (em grão), mandioca, amendoim (em casca), milho (em grão), soja (em grão), olerícolas para subsistência familiar, além da produção de bovinos.

3.3 Vegetação

A vegetação natural predominante é do tipo Cerrado – Cerradão com atividades antrópicas e vegetação secundária possuindo duas estações bem definidas uma seca e outra chuvosa, com este efeito ocorre estacionalidade dos elementos arbóreos dominantes que estão adaptados a estação (fria ou seca), estes predominam entre 50% e sua fisiologia é mais acentuada em consequência de um período seco mais prolongado, cerca de 7 meses na área tropical e um período frio de 5 meses na área subtropical. A vegetação do Cerrado apresenta diversas paisagens florísticas diferenciadas como os remanescentes de mata atlântica, além da grande variedade existente entre as espécies de gramíneas, bromeliáceas, orquídeas e outras plantas de menor porte (IBGE, 2004).

3.4 Histórico da área

O assentamento Sepé Tiaraju surgiu em 2004, quando o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) adquiriu 797 hectares de uma propriedade da Usina Nova União. Atualmente, abriga 76 lotes com dimensão de 4,0 ha cada um, ocupados com agricultura familiar. A partir de um Plano de Desenvolvimento Sustentável (PDS), foi sugerida a implantação dos SAFs, como alternativa para recuperação dos solos anteriormente ocupados pela monocultura com cana-de-açúcar queimada por mais de 20 anos de exploração.

Neste trabalho, foram selecionados 3 lotes de produtores rurais que implantaram o SAF há cerca de 7 anos pertencente ao produtor Sr. Aguinaldo Vicente de Paulo (SAF 1), Sr. Elias Andrade, que conduz um SAF com 4 anos (SAF 2), e o Sr. Paulo Silva, que se mantém numa área com SAF há 3 anos (SAF 3), conforme demonstra a composição vegetal na tabela 1. Todos estes proprietários não utilizam nenhum tipo de fertilizante e ou corretivos sintéticos, além de conduzirem as podas de acordo com recomendações para evitar o sombreamento; estas podas são realizadas no sentido transversal da declividade e todo material é picado e depositado na superfície do terreno, o arranjo espacial das espécies arbóreas nativas e frutíferas é inteiramente aleatório.

Tabela 1 – composição vegetal dos sistemas agroflorestais estudados (SAF 1, SAF 2 e SAF3) e Mata Nativa (típica Cerrado – Cerradão).

SISTEMAS	ESPÉCIES PRESENTES
SAF 1 7 ANOS	Milho (<i>Zea may L.</i>), abóbora (<i>Curcubita sp.</i>), fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>), mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz.</i>), batata doce (<i>Ipomoea batatas (L.) Lam.</i>), café (<i>Coffea arabica L.</i>), algodão (<i>Goossypium herbaceum L.</i>) associado a acerola (<i>Malpighia glabra L.</i>), mamão (<i>Carica papaya L.</i>), goiaba (<i>Psidium guajava L.</i>), banana (<i>Musa paradisiaca L.</i>), manga (<i>Mangifera indica L.</i>), pinha (<i>Annona squamosa L.</i>), pitomba (<i>Talisia esculenta Raldk.</i>), mamona (<i>Ricinus communis L.</i>), urucum (<i>Bixa orellana L.</i>), ingá-feijão (<i>Inga marginata</i>), angicos, pata-de-vaca (<i>Bauhinia forficata</i>), cangerana (<i>Cabralea canjerana</i>) angico, aroeira, boleira (cutieira), canafístula, carobinha, cedro, embaúba, eucalipto, flamboyant, gliricídia, grumixama, guapuruvu, ingá de metro, ipê de jardim, ipê rosa, jatobá, jequitibá, paineira, pau d'alho, pau de colher, pau formiga, sangra d'água, sapuva, sibipiruna, tamboril (figura 5).
SAF 2 4 ANOS	Milho (<i>Zea may L.</i>), banana (<i>Musa paradisiaca L.</i>), amendoim (<i>Arachis sylvestris (A.Chev.)</i>), pinha (<i>Annona squamosa L.</i>), mamona (<i>Ricinus communis L.</i>), associados com as espécies florestais como jatobá (<i>Hymenaea sp.</i>), urucum (<i>Bixa orellana L.</i>), flamboyant, gliricídia, grumixama, guapuruvu, ingá de metro, ipê de jardim, ipê rosa, jurubeba (<i>Solanum sp.</i>), pau-d'arco amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>), mandacaru (<i>Cereus jamacaru DC.</i>), mucuna-cinza (<i>Mucuna pruriens</i>), mucuna-anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), <i>Crotalaria spectabilis</i> e <i>Crotalaria juncea</i> . O arranjo espacial das espécies arbóreas nativas e frutíferas é inteiramente aleatório (figura 4).
SAF 3 3 ANOS	Milho (<i>Zea may L.</i>) abóbora (<i>Curcubita sp.</i>), fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) e mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz.</i>) associado às espécies como o mamão (<i>Carica papaya L.</i>), caju (<i>Anacardium occidentale L.</i>), melancia (<i>Citrullus vulgaris Schrad.</i>), maxixe (<i>Cucumis anguria L.</i>) banana (<i>Musa paradisiaca L.</i>), abacaxi (<i>Ananas comosus L.</i>), guariroba (<i>Syagrus oleracea</i>), <i>Caryocar brasiliense</i> (pequi), <i>Copaifera langsdorffii</i> (copaíba), <i>Hirtella glandulosa</i> (oiti), <i>Lafoensia pacari</i> (pacari), <i>Siphoneugena densiflora</i> (maria-preta) e macaúba (<i>Acrocomia aculeat</i>), (figura 3).
MATA NATIVA	Vegetação tipo Cerrado-Cerradão com espécies de floresta semi-decidual e da flora nativa típica de cerrado em bom estado de conservação (figura 6).



Figura 3 – Sistema de agrofloresta com 3 anos de implantação - SAF 3



Figura 4: Sistema de agrofloresta com 4 anos de implantação – SAF 2



Figura 5: Sistema de agroflorestas com 7 anos de implantação – SAF 1



Figura 6: Mata Nativa com vegetação predominante Cerrado- Cerradão.

3.5 Amostragem e Análise do solo

As coletas de solo foram realizadas em julho de 2012 (figura 7). Em cada área de estudo, foram coletadas e georreferenciadas em 30 pontos centralizados onde existia maior inclusão de espécies que caracterizam um SAF, utilizou-se para coleta, trado holandês, retirando (cinco) sub-amostras simples para formar uma amostra composta, nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico, identificados e encaminhados ao Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV).

Em laboratório, as amostras foram destorroadas, secas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para caracterização química do solo. Determinaram-se o pH do solo em CaCl (1:2,5) por potenciometria, a acidez trocável (Al^{+3}) extraída com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio 0,025 1 mol L⁻¹ padronizado com biftalato de potássio (Embrapa, 1997). O fósforo resina e o potássio foram extraídos com Mehlich I (RAIJ et al., 2001) e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente.

A determinação do cálcio e o magnésio foi por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997), sendo extraídos com KCl 1 mol L⁻¹. A matéria orgânica foi determinado por Walkey-black não aquecida, e lido por colorimetria (RAIJ et al., 2001).

Para avaliação dos atributos físicos do solo foram coletadas amostras em mini-trincheiras com estrutura preservada utilizando coletor de Uhland de dimensões $54,29 \times 10^{-6} \text{m}^3$ (0,03 m de altura e 0,048 m de diâmetro), nas camadas de 0-0,20 e 0,20 - 0,40 m amostrados de 30 em 30 metros, com 03 repetições para cada ponto, perfazendo um total de 240 amostras em áreas útil com SAFs e Mata Nativa.

Nestas amostras foram determinadas, a densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e porosidade total (VTP) pela soma entre macro e microporosidade. A soma de bases (SB) foi calculada pela soma de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e a capacidade de troca catiônica total (T) foram obtidas

pela soma da (SB) + H^+ e Al^{3+} , sendo que a percentagem de saturação por bases (V%) foi calculada por $V\% = 100 \times (SB) / T$.

A análise granulométrica das partículas foi determinada para classificação textural, pelo método das pipetas e tamissagem, bem como argila dispersa em água e hidróxido de sódio para cálculo da relação silte/argila e grau de flocculação (EMBRAPA, 1997).

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi determinada em 30 pontos com a mesma proximidade dos pontos de coletas do solo, utilizando o penetrômetro de Impacto Modelo IAA/Planalsucar-Stolf, para os cálculos da Resistência a Penetração (RP) nas profundidades de 0–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,40; 0,40–0,60 m o número de impactos dm^{-1} foi transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da equação proposta por Stolf (1991), ou seja, $RP (kgf\ cm^{-2}) = 5,6 + 6,89 N(impactos\ dm^{-1})$ e, para converter a RP em $kgf\ cm^{-2}$ para MPa, multiplicou-se o resultado obtido pela constante 0,098. Em cada profundidade (10 em 10 cm) foram coletados amostras de solos para a determinação da umidade gravimétrica (U) em $kg\ kg^{-1}$.



Figura 7: Ilustração da coleta do solo para análise dos atributos químicos e físicos do solo.

3.6 Análise Estatística

A análise estatística descritiva dos dados foi realizada, para obter conhecimento de valores médios, máximos e mínimos, bem como desvio padrão e coeficiente de variação. Os dados também foram submetidos à análise multivariada por análise de agrupamentos hierárquica, utilizando o programa estatístico STATISTCA 7.0 (STATSOFT, 2004).

Os atributos químicos e físicos dos solos foram submetidos à análise de agrupamento por método hierárquico, também conhecido como análise de “Cluster”, segundo o método proposto por Sneath & Sokal (1973), com o objetivo de dividir os elementos da amostra em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com relação às variáveis consideradas e os elementos de grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características (WEBSTER & OLIVER, 1990).

Esta técnica inicia-se com a padronização dos dados para que cada variável tenha seus escores normalizados para o padrão média igual a zero, e variância igual 1, $Z (\mu = 0; s = 1)$, pela equação (1):

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X_i}}{S_i} \quad (1)$$

Em que,

X_{ij} = O valor da j-ésima observação da i-ésima variável.

$\overline{X_i}$ = média da variável X.

S_i = desvio padrão da variável X.

Y_{ij} = a-jésima observação da i-ésima variável padronizada

A etapa seguinte foi calcular as distâncias de cada objeto em relação a todos os outros objetos, calculando-se as distâncias euclidianas para obter coeficientes de dissimilaridade, ou seja, quanto menor forem os valores, mais semelhantes eles são, conforme Hair et. al., (2005). Para isso, usa-se a equação (2):

$$d_{ik} = \frac{1}{\sqrt{P}} \left[\frac{P}{\sum_{j=1}^P (X_{ij} - X_{kj})^2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Em que:

d_{ik} = distância Euclidiana média entre o grupo i e o k.

P = número de variáveis.

X_{ij} = valor da variável j do ponto i do grid.

X_{kj} = valor da variável j do ponto k do grid.

A análise de agrupamentos é uma técnica que permite classificar (indivíduos ou objetos) em subgrupos excludentes. É uma forma de otimização em que se pretende de uma forma geral, maximizar a homogeneidade de objetos ou indivíduos dentro de grupos e maximizar a heterogeneidade entre eles.

Após a escolha das variáveis para o processamento da análise de agrupamentos, três procedimentos devem ser realizados: padronização dos dados, escolha do coeficiente de semelhança e escolha da estratégia de agrupamento.

A estratégia de agrupamento utilizada para os atributos físicos e químicos foi o algoritmo de “Wards Method” em que os grupos são classificados de forma hierárquica e por semelhança. Estes métodos começam por uma matriz de semelhança entre objetos e grupos se formam a partir dos mais próximos por processos de aglomeração ou divisão produzindo uma estrutura de árvore denominada dendrograma (SNEATH & SOKAL, 1973).

Quanto ao número de grupos formados pode ser definido de diversas formas, como: a assistida ou “a sentimento” segundo (JOHNSON & WICHERN, 1992; MARDIA et al., 1997), em que o pesquisador pode especificar o nível de agrupamento de acordo com um critério de fácil interpretação.

Após a técnica de agrupamento, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) que tem como objetivo a simplificação da descrição de um conjunto de variáveis interrelacionadas. Tanto na análise de agrupamentos como na análise de componentes principais, as variáveis não são discriminadas como

independentes ou dependentes como na análise de regressão. Todas são tratadas como variáveis.

Para Johnson & Wichern (1990), processos estatísticos multivariados podem ser classificados em dois conjuntos: 1) o que permitem extrair a informação sobre a interdependência entre variáveis que caracterizam cada um dos indivíduos, e 2) o que possibilitam obter informação de dependência entre diversas variáveis e ou outras variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

A interrelação das variáveis químicas do solo e os ambientes produtivos com SAF na profundidade de 0-0,20m demonstram a diferença entre o solo de Mata Nativa (Figura 8). As variações nos valores da distância euclidiana foram estabelecidas a “sentimento” na faixa compreendida de valor 11, permitindo uma divisão exata do acesso entre três grupos (G1, G2 e G3); no grupo G1, ficaram agrupados as variáveis do solo de mata, no grupo G2, agruparam-se as áreas com SAF 1 e SAF 2, e o grupo G3, com o SAF 3, com menor tempo de implantação, 3 anos (figura 8).

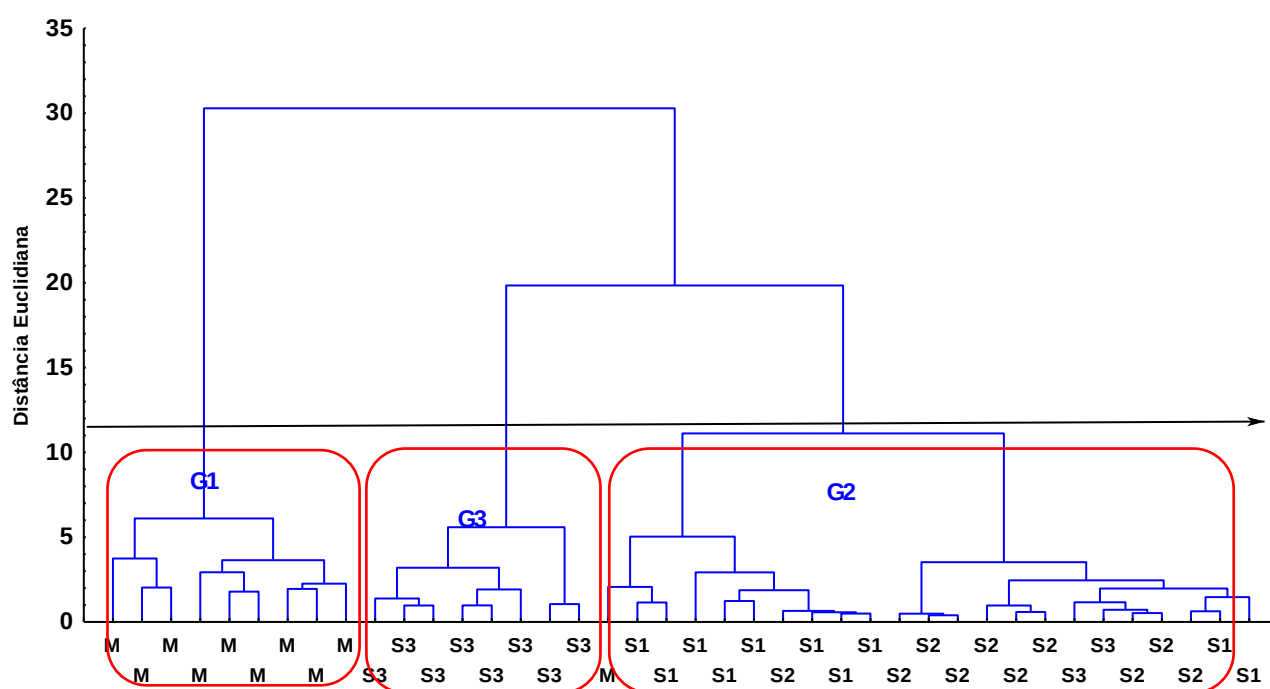


Figura 8 - Dendrograma das interrelações entre diferentes usos do solo com SAFs e os atributos químicos avaliados na profundidade de 0-0,20 m.

Esta divisão foi muito importante para demonstrar a evolução dos grupos quando comparados aos atributos químicos; sendo assim, os SAF 1 e SAF 2 do grupo G2 foram os que mais se aproximaram do grupo G1 (Mata Nativa).

Na tabela 2, pode-se observar os resultados por meio da análise descritiva dos atributos químicos na profundidade de 0-0,20 m em relação ao tipo de sistema avaliado. Os valores médios das variáveis apresentaram comportamento em ordem decrescente para todos os sistemas (Mata, SAF 1, SAF 2 e SAF 3) sendo estes respectivamente: pH, matéria orgânica, teores de magnésio, cálcio, potássio, soma de bases e capacidade de troca catiônica potencial (CTC a pH 7,0). As variáveis que apresentaram ordem crescente em relação a Mata, foram: teores de hidrogênio + alumínio ($H^+ + Al^{+3}$) e saturação por bases (V%); neste caso, o SAF 3 apresentou maiores índices de acidificação do solo e maiores teores de saturação por bases (V%).

Os valores de pH na profundidade 0-0,20 m variaram entre 4,7 a 5,3, matéria orgânica (MO) entre 24 a 43,4 g dm^{-3} , teores de magnésio entre 6,4 a 16,5 $mmol_c\ dm^{-3}$, cálcio 25,4 a 50,6 $mmol_c\ dm^{-3}$, potássio de 5,1 a 8,6 $mmol_c\ dm^{-3}$, soma de bases (S) entre 36,84 e 72,84 e CTC de 44 a 99 $mmol_c\ dm^{-3}$.

As variáveis do solo de Mata foram superiores a todos os sistemas avaliados nas duas profundidades avaliadas (0-0,20 e 0,20-0,40m), exceto para variáveis de $H+Al$ e $V\%$, considerando os níveis de acidez de acordo com a classificação (EMBRAPA, 2009). A presença de altos teores de matéria orgânica promoveu aumento do pH, principalmente no solo de Mata, SAF 1 e SAF 2, com maior tempo de adoção quando se compara ao SAF 3, que apresentou valores de pH igual a 4,7 e saturação por bases ($V\%$) de 83%. Nos sistemas, com o aumento da profundidade há menor saturação por bases e aumento da saturação por Al^{+3} , influenciando o pH do solo, exceto no SAF 3.

A matéria orgânica do solo possui como uma das importantes funções a de complexar os cátions H^+ e Al^{+3} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e adicionar bases (Ca, Mg e K) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO, 2008).

Quanto aos teores de cálcio, magnésio e potássio, observou-se em todas as profundidades, comparando-se ao solo de Mata, quanto ao tempo de implantação dos SAFs, os SAF 1 e SAF 2 com maiores teores de bases trocáveis (Ca, Mg e K), o que pode estar associado à grande taxa de decomposição realizada pela incorporação de material depositado. Segundo Campanha et al., (2007), os SAFs contribuem para melhoria da disponibilidade de nutrientes por causa da grande variabilidade de componentes arbóreos nesses sistemas, promovendo maior deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas), que é mineralizado, influenciando as reações químicas e consequentemente a disponibilidade às plantas.

Tabela 2 – Análise descritiva dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo avaliados na profundidade 0-0,20 m.

pH em CaCl₂						
Sistemas	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Desv.pad	CV
MATA	4,9	5,4	5,3	5,9	0,31	5,9
SAF 1	4,7	5,1	5,1	5,4	0,18	3,6
SAF 2	4,7	4,9	4,9	5,2	0,17	3,5
SAF 3	4,4	4,8	4,7	5,0	0,21	4,5
H+Al (mmol_c dm⁻³)						
MATA	20	23	26,4	38	6,1	23,1
SAF 1	22	31	32,8	64	11,5	35,3
SAF 2	31	34	33,1	34	1,4	14,3
SAF 3	38	44	46,3	58	6,8	14,8
M.O (g dm⁻³)						
MATA	29	40	43,4	67	11,5	26,6
SAF 1	11	22	22,1	29	4,7	21,3
SAF 2	16	20	20,5	27	3,2	15,9
SAF 3	16	24	24	27	3,4	14,2
Mg⁺² (mmol_c dm⁻³)						
MATA	12	16	16,5	21	2,8	17,4
SAF 1	6	8	8,1	10	1,2	15,8
SAF 2	6	7	7,5	10	1,2	16,9
SAF 3	4	6	6,4	8	1,4	22,3
Ca⁺² (mmol_c dm⁻³)						
MATA	36	47	50,6	79	11,7	23,2
SAF 1	22	27	27,1	32	3,8	14,1
SAF 2	18	24	24,5	32	4,6	19,0
SAF 3	16	25	25,4	32	4,5	17,8
K (mmol_c dm⁻³)						
MATA	6,9	8,5	8,6	10,0	1,0	12,4
SAF 1	2,1	6,4	5,4	6,8	1,6	30,4
SAF 2	1,9	2,3	2,9	5,5	1,3	43,8
SAF 3	1,7	4,8	5,1	9,9	2,6	51,6
SB (mmol_c dm⁻³)						
MATA	57	71	72,4	86	8,9	12,2
SAF 1	30,1	42	40,6	46	5,3	13,0
SAF 2	27,3	35	34,9	43	5,8	16,6
SAF 3	21,7	38	36,8	43	6,5	17,8
V%						
MATA	65,2	75	73	81	6,0	8,2
SAF 1	56,6	72	73	107	14,0	19,1
SAF 2	61,3	69	68	77	5,1	7,5
SAF 3	73,7	84	83	95	6,1	7,3
CTC a pH 7,0 (mmol_c dm⁻³)						
MATA	85	100	99	111	7,6	7,89
SAF 1	41	57	56	65	6,5	11,6
SAF 2	45	51	51	57	4,8	9,4
SAF 3	29	48	44	52	7,8	17,6

Os valores de CTC (T) foram superiores no solo de Mata, porém observou-se uma evolução positiva quanto aos SAFs de maior tempo de implantação (SAF 1 e SAF 2) em relação ao SAF 3. A eficiência nas reações de troca de cargas nos sistemas sob SAFs pode estar relacionada à presença das raízes das árvores que atuam na melhoria da ciclagem dos nutrientes.

Na Figura 9, observa-se o dendrograma das interrelações entre variáveis físicas e químicas do solo e os diferentes ambientes com SAFs na profundidade de 0-0,20 m, em que as variações para o valor da distância euclidiana, foi estabelecida a “sentimento” na faixa compreendida de valor 18. Este fato permitiu uma divisão exata do acesso entre três grupos (G1, G2 e G3). No grupo G1, ficaram agrupadas as variáveis do solo de mata; no grupo G2, agruparam-se as áreas com SAF 1 e SAF 2, e o grupo G3 foi representado pelo SAF 3 que possui menor tempo de implantação (3 anos).

Sendo assim, os SAF 1 e SAF 2 do grupo G2 foram os que mais se aproximaram do grupo G1 (Mata Nativa), pois apresentam maior tempo na deposição de material vegetativo e grande variabilidade da incorporação de nutrientes proporcionada pelo sistema radicular das plantas com maior tempo de desenvolvimento.

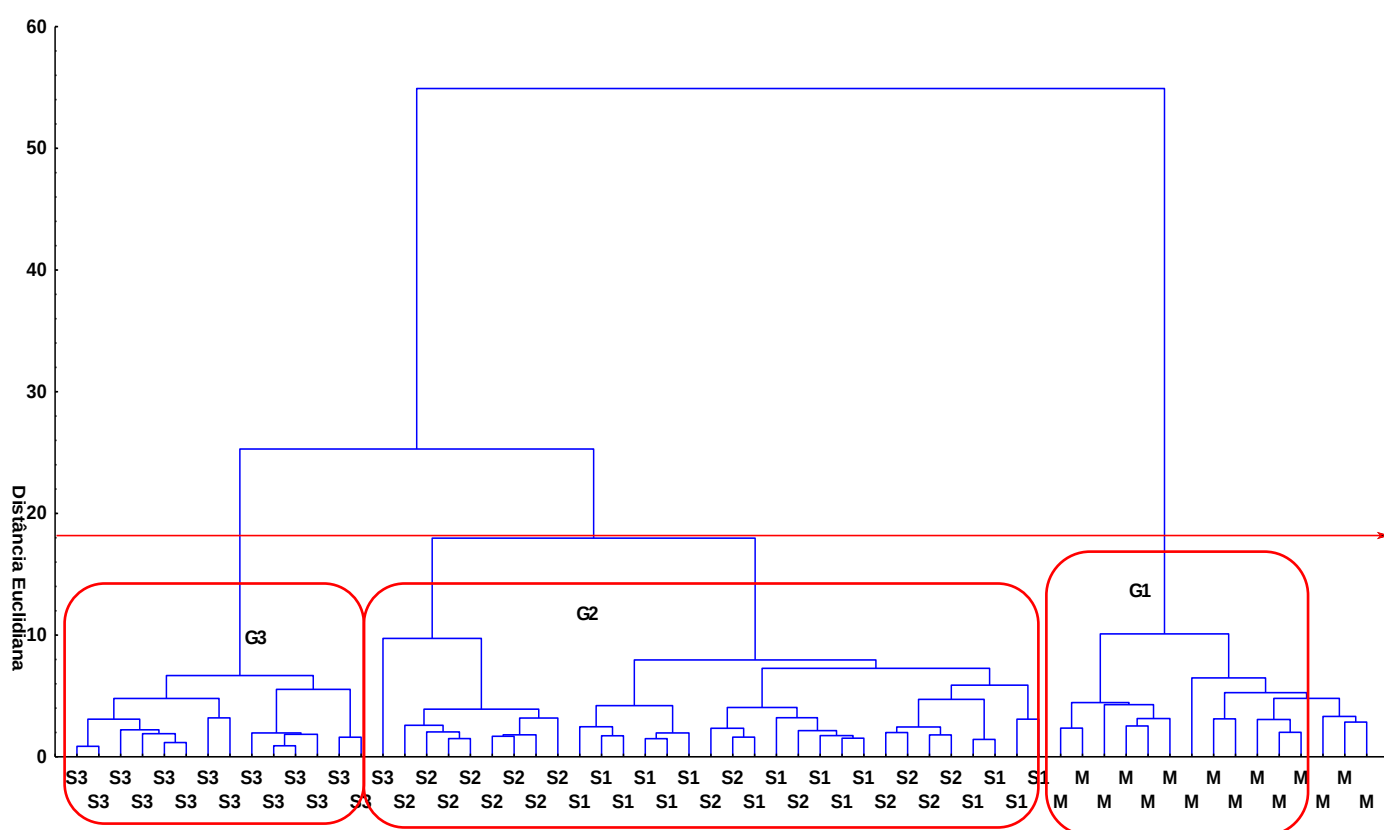


Figura 9 - Dendrograma das interrelações entre diferentes usos do solo com SAFs e os atributos químicos avaliados na profundidade de 0,20-0,40 m.

A análise descritiva na tabela 3 indica os valores para os atributos químicos na profundidade de 0,20-0,40m avaliados de acordo com o uso do solo, tais como pH, teores de hidrogênio + alumínio ($H+Al^{+3}$), matéria orgânica (MO), magnésio

(Mg^{+2}), cálcio (Ca^{+2}), potássio (K^{+}), soma de bases (SB), percentagem de saturação por bases (V%) e capacidade de troca catiônica a pH igual a 7,0.

Tabela 3 – Análise descritiva dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo avaliados na profundidade 0,20- 0,40 m.

pH em CaCl_2						
Sistemas	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	DP	CV
MATA	4,2	4,6	4,6	4,9	0,25	5,4
SAF 1	4,9	5,0	4,9	5,1	0,06	1,2
SAF 2	4,7	4,9	4,9	4,9	0,16	3,3
SAF 3	4,4	4,6	4,6	5,1	0,21	4,5
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	13	19	1,9	25	3,3	17,6
SAF 1	25	32	3,3	42	6,2	18,9
SAF 2	31	34	3,2	33	1,5	14,7
SAF 3	38	44	4,5	58	7,3	16,2
M.O (g dm^{-3})						
MATA	26	38,2	20,7	67	11,5	26,6
SAF 1	15	17,0	17,3	22	2,3	13,6
SAF 2	12	16,5	17,2	17	3,9	22,9
SAF 3	11	18,0	17,5	21	2,8	15,9
Mg^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	11	13	7,4	17	2,07	15,4
SAF 1	5	7	7,2	11	1,62	22,4
SAF 2	6	7	6,9	7,0	0,99	14,4
SAF 3	5	5	6,0	8,0	1,15	19,2
Ca^{+2} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	22	30,9	3,9	41	4,9	15,9
SAF 1	19	22,5	2,3	33	4,2	17,8
SAF 2	16	21,5	2,2	22,8	4,0	17,8
SAF 3	17	23,5	2,3	31	3,8	16,5
K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	5,9	7,4	7,5	8,2	0,7	9,1
SAF 1	1,3	3,7	3,5	5,2	1,3	37,8
SAF 2	1,0	1,9	2,8	2,2	1,2	54,5
SAF 3	1,5	3,8	4,0	6,8	1,7	44,5
SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	40,2	50,9	51,8	66	6,7	12,9
SAF 1	25,3	33,3	34,6	46,3	5,8	16,8
SAF 2	24,5	30,3	31,8	31,8	5,2	16,3
SAF 3	26,0	33,9	33,6	44,8	5,3	15,8
V%						
MATA	60,7	72	52,9	81	4,4	6,0
SAF 1	50,3	65,8	67,6	84,3	11,4	16,9
SAF 2	55,5	63,5	64,8	64,6	5,5	8,5
SAF 3	64	69,8	68,6	78,6	7,0	8,9
CTC (T) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
MATA	69	100	7,1	88	7,4	10,5
SAF 1	48	50	5,1	56	2,7	5,4
SAF 2	44	48	4,9	49,1	4,2	8,6
SAF 3	35	41	4,2	54,0	6,2	14,5

4.2 Atributos Físicos do solo

Estudos recentes demonstram a importância dos atributos físicos do solo, que têm sido utilizados para verificar alterações do manejo em sistemas conservacionistas comparados a sistemas convencionais (SANTANA et al., 2006; MENEZES et al., 2008).

Ao avaliar o solo sob diferentes coberturas florestais e pastagens, Melloni et al. (2008) observaram a eficiência dos atributos físicos como indicadores de sua qualidade, os quais revelaram grande disparidade entre a pastagem e os demais ecossistemas e alta similaridade entre as florestas.

Neste trabalho, os menores valores de densidade do solo (Ds) foram verificados na camada de 0–0,20 cm, sob todas as áreas com SAFs, incluindo a mata nativa, quando comparados à camada de 0,20-0,40 m (Tabela 5). Este fato pode ser explicado pela constante adição de matéria orgânica e do menor revolvimento a que as áreas são submetidas com SAFs como também verificado por SILVA et al., 2006; SILVEIRA NETO et al., 2006; ARAÚJO et al., 2007.

Analisando-se, ainda, as relações entre a densidade do solo e o VTP% na Tabela 5, observa-se que o aumento da densidade, provocou diminuição no VTP entre a camada superficial de 0-0,20m em relação à camada 0,20-0,40m, e que a porosidade total se comportou da mesma maneira que os valores da macroporosidade do solo e inversamente proporcional à densidade do solo (Ds), o que caracteriza uma influência significativa pelos diferentes sistemas de manejo, nas duas profundidades e nos três SAFs avaliados. Este fato também foi observado por Zalamena (2008), trabalhando com classes de solos de textura arenosa em diferentes usos da terra no Rebordo do Planalto – RS.

Contudo, os maiores valores de VTP foram encontrados nas áreas com mata nativa, em 48,6% (0-0,20m) e 41,1% (0,20-0,40m) e, conseqüentemente, menores valores para densidade do solo (Ds) 1,18 e 1,4 g cm⁻³; resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2006), que constataram maiores valores de VTP e menores valores de densidade do solo, em cultivo com banana, em sistema agroflorestal, no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba, SP; Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2011), em que valores de macroporosidade em áreas com mata nativa foram superiores

em relação aos demais sistemas avaliados, como lavoura em sistema plantio direto e pastagem.

PEZARICO et al., 2013 em seus estudos com sistemas agroflorestais e indicadores de qualidade do solo, relataram que as variáveis físicas porosidade total e microporosidade foram as que melhor descreveram os aspectos de qualidade do solo.

Valores de densidade entre 1,27 e 1,57 g cm⁻³ podem ser restritivos ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo, conforme estudos realizados por ALVARENGA; DAVIDE (1999).

Entretanto, para Arshad et al., (1996) valores acima de 1,4 g cm⁻³ são considerados críticos para algumas culturas e este fator está relacionado com a diminuição do teor de argila do solo, sendo o mesmo observado nos SAF 1, SAF 2 e SAF 3 quando se comparam os altos valores de densidade e a redução do percentual de argila na profundidade de 0,20-0,40m conforme demonstrado na Tabela 4.

Quanto maiores os valores de macroporosidade e volume total de poros, menores serão os índices de densidade do solo e vice-versa, caracterizando maiores limitações físicas e oferecendo dificuldades a troca de gases, infiltração de água e absorção de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, menores produtividades.

O aumento excessivo da densidade do solo provoca diminuição da porosidade total, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, ocasionando prejuízo ou comprometendo a qualidade física do solo (JAKELAITIS et al., 2008).

Em seus estudos comparando diferentes cultivos com sistemas agroflorestais, Carvalho, Goedert e Armando (2004) também comprovaram que quanto menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados nos SAF em comparação com o mesmo solo sob plantio convencional.

Tabela 4: Valores médios das variáveis físicas de um Lva em profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40m sob diferentes usos com Mata e SAFs.

USO	Prof. (m)	Partículas g kg ⁻¹			Classe Textural	Silte/Argila	Ds g/cm ⁻³	VTP %	Micro %	Macr %
		Areia	Silte	Argila						
MATA	0-0,20	53,10	7,76	39,14	Argilo Arenosa	0,19	1,18	48,6	27,4	21,2
	0,20-0,40	59,30	6,98	33,59		0,20	1,4	41,1	25,7	15,4
SAF 1	0-0,20	61,00	6,65	32,35	Franco Argilo arenosa	0,20	1,2	45,7	26,5	19,2
	0,20-0,40	63,89	6,52	29,59		0,22	1,5	38,7	23,9	14,8
SAF 2	0-0,20	70,76	6,95	22,29	Franco Argilo arenosa	0,31	1,2	41,5	24,3	17,2
	0,20-0,40	72,13	6,32	20,92		0,30	1,4	35,2	22,8	12,4
SAF 3	0-0,20	67,90	6,40	25,70	Franco Argilo Arenosa	0,24	1,4	37,4	22,0	15,4
	0,20-0,40	66,30	6,10	27,60		0,22	1,7	31,3	21,1	10,2

Na figura 10, com o gráfico biplot, no solo com Mata (M), é possível verificar uma grande concentração de atributos químicos e físicos que indicam tendência qualitativa em relação aos grupos G2 (SAF 1 e SAF2) e G3 (SAF 3), porém verifica-se uma aproximação dos valores de variáveis entre os SAF 1 e SAF 2 (G2) que integram o manejo agroflorestal por mais tempo (7 e 4 anos respectivamente), quando comparados ao SAF 3 (3 anos), que ficou distante e com vetores opostos aos demais grupos, e portanto agrupando as seguintes variáveis: argila dispersa em água (ADA), Densidade do solo e H+Al⁺

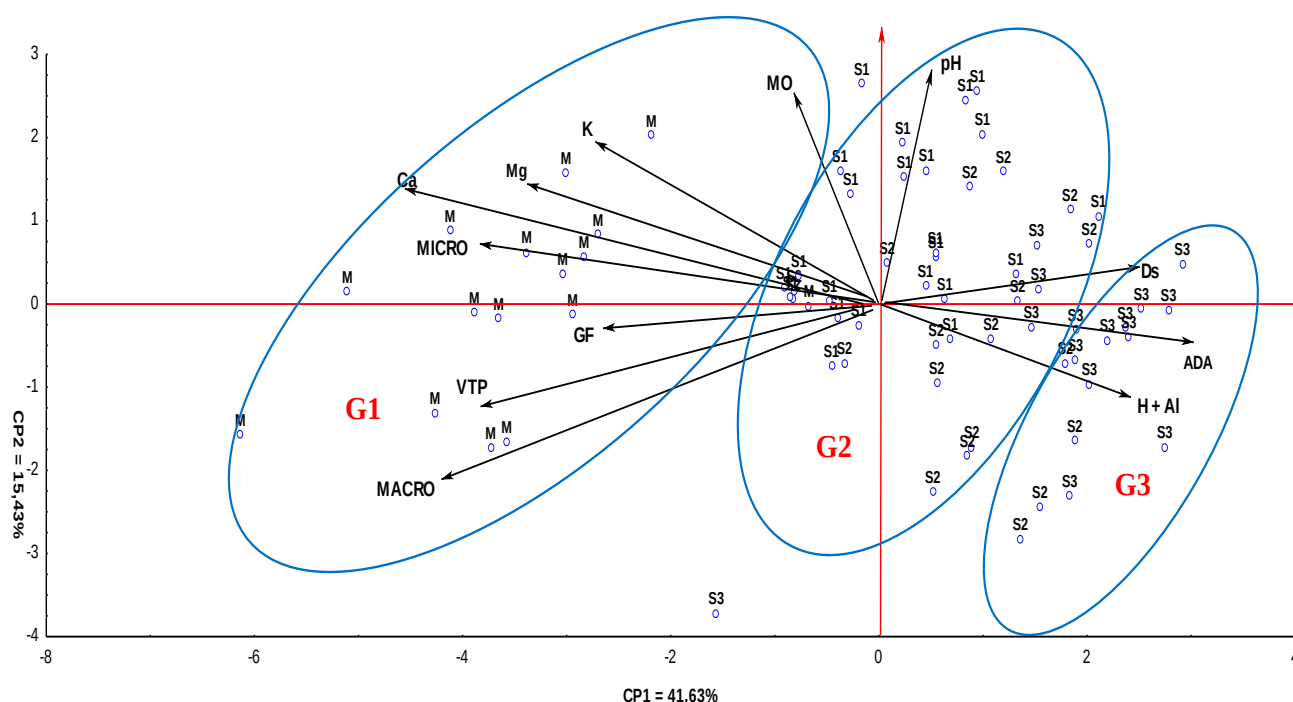


Figura 11: Biplot dos componentes principais entre variáveis físicas e químicas de um Lva em diferentes usos com mata (M) e SAFs (S1, S2 e S3) em 0-0,20m.

De acordo com os dados da análise de componentes principais (ACP) apresentado na Tabelas 4 e na Figura 11, demonstram-se associações entre mata, SAF 1, SAF 2 e SAF 3 e variáveis do solo avaliadas, sendo explicadas em 57,06%, com acréscimo de 7,41% da proporção acumulada. A distribuição da variabilidade dos dados na primeira componente (CP1) representou 41,63% da variância total, tendo como principais variáveis, por grau de importância, os teores de matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , da componente principal (CP2) o grau de importância foi explicado em 15,43% agregando as variáveis de macroporosidade (MACRO), Volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds), pH e $(\text{H} + \text{Al}^+)$; estas variáveis apresentaram escores negativos e altamente significativos;

Para Santi et al (2012), é válido cruzar variáveis físicas e químicas, para explicar melhor quando uma alteração causada pelo manejo do solo em uma variável, poderá causar modificações em outras variáveis do solo, justificando o uso da técnica da redução de variáveis para selecionar os principais componentes, identificar e interpretar a distribuição das variáveis originais de maior peso.

Tabela 5: Análise de Correlação com variáveis ordinárias em LVA com diferentes usos (Mata e Sistemas agroflorestais).

Variáveis	Componentes principais		
	CP 1	CP2	CP3
MACRO	-0,33076	-0,70559*	-0,20676
VTP	-0,45382	-0,73832*	0,35729
Ds	0,54894	0,56657*	-0,50507
ADA	-0,71358	0,15658	0,13605
GF	-0,39953	- 0,16619	-0,46276
MO	-0,82283*	0,06250	-0,25502
Ph	0,07869	0,49928	0,52694
P	-0,47376	0,04409	-0,60127
K	-0,76706	0,34188	-0,16533
Ca	-0,84982*	0,08893	-0,20740
Mg	-0,91127*	0,19828	-0,03618
H + Al	0,68704	-0,41285	-0,43035
Autovalores	5,41232	2,00644	1,79186
% Variância total	41,63%	15,43%	13,78%
%Variância acumulada	41,6332	57,067%	70,851%

***Valores em negrito (escores dos autovalores) em termo de contribuição.**

Foi possível observar no processamento uma distribuição de informação ao longo de todas as componentes, sendo que a CP1 agregou os índices que envolvem a fertilidade do solo, cujas variáveis químicas que obtiveram maior grau de importância com altos valores negativos foram: teores de matéria orgânica (-0,82283), magnésio (-0,91127) e cálcio (-0,84982) e entre as variáveis físicas que foram explicadas pela CP2, foram as mais relevantes: macroporosidade (-0,70559) volume total de poros (-0,073832) essas variáveis obtiveram valores altos e negativos quando comparado a densidade do solo (0,56657) que apresentou valor positivo.

4.3 Resistência à penetração radicular no solo

A perda da qualidade física afeta diretamente o espaço poroso do solo, de forma a prejudicar o fornecimento de água e oxigênio, limitando o desenvolvimento das plantas (TORMENA, et. al, 1998); Mais especificamente, implica em condições desfavoráveis a estruturação do solo, com formação de agregados pouco estáveis, reduzida porosidade, elevada densidade, maior

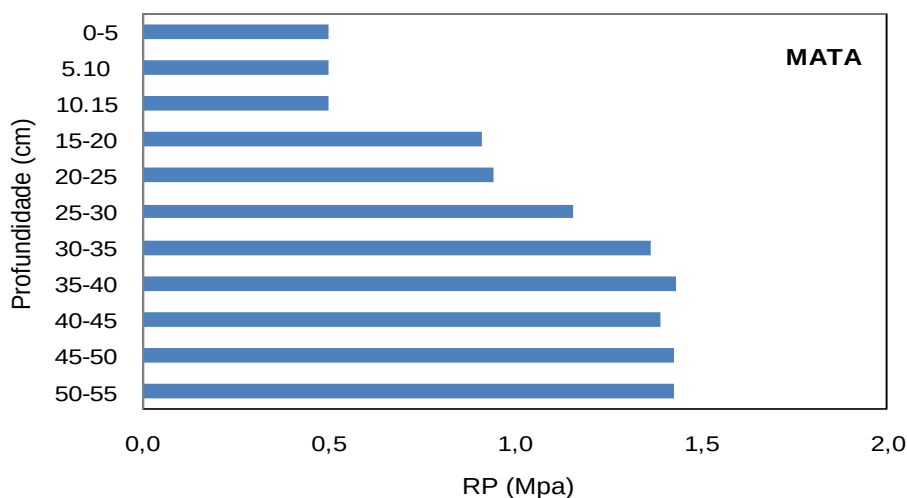
resistência à penetração das raízes e reduzida capacidade de retenção de água, resultando em condições que restringem o desenvolvimento e produção das culturas vegetais.

Imhoff (2002) sugere a utilização de indicadores da qualidade física do solo que incluam os atributos físicos que influenciam diretamente a produção das culturas, como forma de sinalizar quando as características de armazenamento e transmissão de fluídos no solo, não estejam mais se comportando adequadamente. Isto porque tais atributos determinam as taxas dos processos fisiológicos ligados com o crescimento radicular, como a fotossíntese e o crescimento foliar (NEVES JUNIOR, 2005).

Valores de resistência do solo à penetração restritivos ao crescimento radicular variam de 1 a 4 MPa (Topp et al., 1994), sendo, em geral, o valor de 2,0 MPa aceito como impeditivo ao crescimento radicular (Tormena et al., 1998). Porém esse valor vem sendo questionado (Beutler et al., 2004), o que sugere a necessidade de mais estudos.

Na figura 12, está apresentado o comportamento quanto à resistência do solo à penetração radicular, que foi avaliado, utilizando o Penetrômetro de Impacto modelo (Planasulcar IAA- STOLF 1983); Os gráficos representam os valores médios do conjunto de 30 pontos para cada sistema.

A umidade gravimétrica foi determinada a cada 10 cm até profundidade de 60 cm de cada ponto amostrado, obtendo-se uma média de 16,81%.



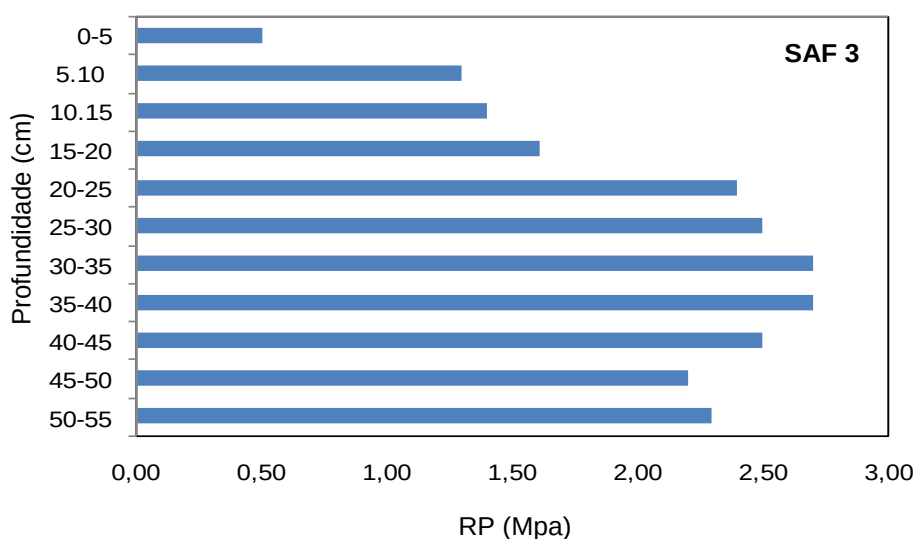
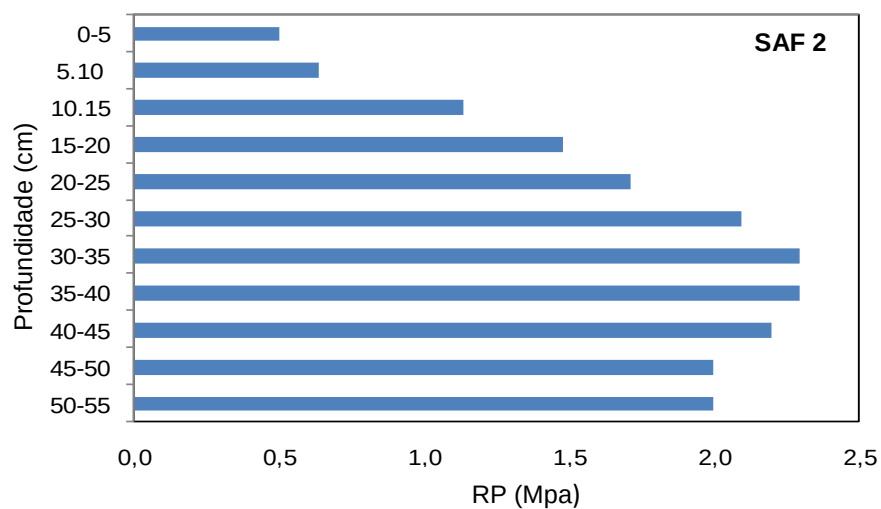
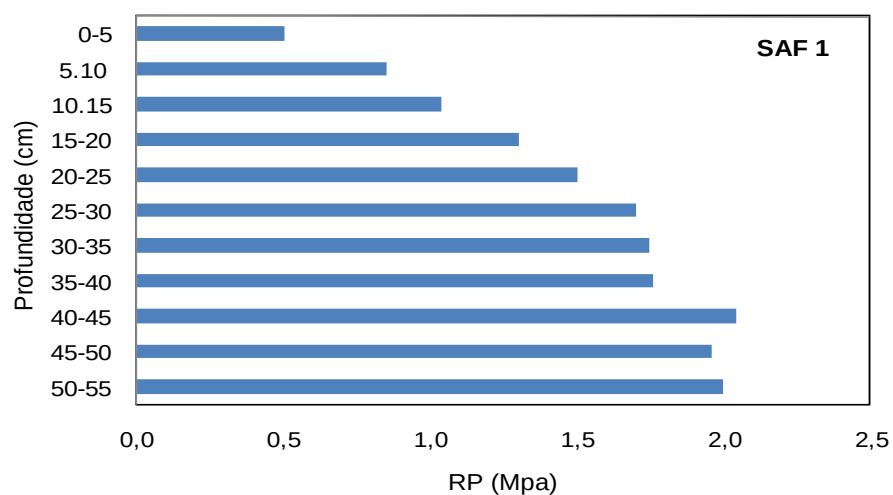


Figura 12 – Gráficos de resistência a penetração radicular (RP) em MPa em solo com mata e diferentes sistemas agroflorestais (SAF 1, SAF 2 e SAF 3) na profundidade de 0-60cm.

Neste trabalho, a caracterização do solo de mata nativa, apresentou valores médios de resistência de 0,5 Mpa na profundidade de 0-15 cm, e valores de 1,0 Mpa em 15-25 cm e em profundidade de 25-55 valores inferiores a 1,5 Mpa, sendo considerados não restritivos.

Em solos avaliados com sistemas agroflorestais (SAF 1, SAF2 e SAF 3), na camada superficial de 0-15cm, todos os sistemas apresentaram um comportamento bem semelhante, com resistência inferior a 1,4 Mpa demonstrando uma melhor porosidade, e menores valores de densidade; A partir da profundidade de 15-20cm observaram-se valores acima de 1,5 Mpa e valores acima de 2,0 MPa na profundidade de 25-30cm foram observados no SAF 2 e no SAF3.

O SAF 1 apresentou menores valores de resistência na mesma profundidade. Pode-se atribuir a este fato, uma relação ao grande incremento em diversidade e ao maior desenvolvimento de espécies arbóreas presentes neste ambiente com SAF por cerca de 7 anos, onde a grande variabilidade existente do arranjo de raízes aumenta a porosidade total em profundidade, reduzindo o grau de resistência e, conseqüentemente, diminuindo os valores de densidade do solo.

Contrariamente, o SAF 3, com menor tempo de implantação, demonstra no perfil avaliado, valores médios entre 2,5 a 2,8 Mpa na profundidade de 20-45cm, o que pode ser explicado pelo grau de compactação em que se encontravam as áreas anteriormente cultivadas pelo processo mecanizado com cana-de-açúcar, onde, pelo tempo de implantação recente, ainda não foi possível observar a recuperação por meio da capacidade de penetração e desenvolvimento radicular em profundidade pelas espécies perenes e anuais cultivadas neste área de estudo.

5. CONCLUSÕES

- A análise multivariada permitiu diferenciar as áreas avaliadas em 3 grupos distintos (G1, G2 e G3).
- As duas componentes principais obtidas explicaram 57,06% da variância dos dados, demonstrando eficiência na análise multivariada e confiabilidade dos resultados;
- As variáveis que melhor responderam para caracterização dos SAFs avaliados foram em ordem de importância: matéria orgânica, teores de magnésio, cálcio, macroporosidade, volume total de poros e densidade do solo (Ds).
- Os SAFs 1 e 2 com maior tempo de implantação apresentaram valores próximos das características físicas e químicas quando comparado ao solo com mata.
- O SAF 3 apresentou condições de acidificação e maiores valores de densidade do solo.
- O solo com mata e o SAF 1, apresentaram menores valores de resistência a penetração radicular em mesma profundidade avaliada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I.; MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A. & OLIVEIRA, T.S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforest System.**, 79:277-289, 2010.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, ASPTA, 2012. 400p.

ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:933-942, 1999.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 341-347, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>

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**. 31:1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W. & JONES, A. J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, soil science society of América. 1996. P.123-141 (SSSA special publication 49).

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:105-112, 1997

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v.58, p.555-560, 2001.

BERTOL I, COGO N.P, SCHICK J, GUDAGNIN J.C, AMARAL A. J - Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:133–142, 2007.

BREMAN, H., KESSLER, J.J., 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **European Journal of Agronomy** 7, 25–33p.

CAMARGO, O.A & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CAMPANHA, M. M., SANTOS, R. H. S., FREITAS, G. B. D., MARTINEZ, H. E. P., JARAMILLO- BOTERO, C., GARCIA, S. L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata, MG. **Revista Árvore**, 31:805-812, 2007.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, nov. 2004.

CEPAGRI, Classificação de Koppen. **Disponível em:** <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em: 01 de ago de 2013

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; BASSO, C.J.; EITELWEIN, M.T.; VIAN, A.L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. **Madison, Soil Science Society of America**, 1994, p.3-21.

DUBOIS, J. C. L. Sistemas agroflorestais na Amazônia: avaliação dos principais avanços e dificuldades em uma trajetória de duas décadas. In: PORRO, R. (Ed.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2009. cap. 6, p. 171-218.

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável**. Origens e perspectivas de um novo paradigma. São Paulo: Livros da Terra, 1996. 178p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. 412 p.

FAO-Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1995) Consulta de expertos sobre La avance de la agrofloresteria en zona aridas y semiaridas da america latina e caribe. Santiago, p. 152. (**Série zonas Aridas y Semiaridas, número 1**)

FEIDEN, A. **Métodos alternativos para biocontrole na agricultura**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009.

FERREIRA, J. M. L., LOVATO, P. E. , HUGO, R. G. (2007) Avaliação da sustentabilidade em cafeeiros através do uso de indicadores de qualidade do solo e saúde de cultivos. **Revista Brasileira Agroecologia**, 2 (1):1593-1600.

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R. & CASSIOLATO, M.E. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Science Agriculture.**, 58:357-360, 2001.

FREDDI, O. da S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.953-961, 2008.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

GOUDEL, F. Agrofloresta na agricultura familiar: o caso dos agricultores associados à cooperafloresta. 2008. 155 f. **Trabalho de Conclusão de Curso**

(Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008

HAIRIAH K, SULISTYANI H, SUPRAYOGO D, WIDIANTO, PURNOMOSIDHI P, WIDODO R. H, NOORDWIJK M.V - **Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung**. For Ecol Manag 224:45–57, 2006.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 595p.

HAIR, J., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. , TATHAM, R. L. (2009) **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman. 593p.

IMHOFF, S.; PIRES DA SILVA, A. & TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**., 35:1493-1500, 2000.

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**, 38: 118-127, 2008.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3.ed. New Jersey: Prantice Hall, 1992. 642p.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas

agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 35, p. 51-60, 2011.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.773-959, 2003.

MACHADO, J. A., PAULA SOUZA, D. M., BRUM, A. C. R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 5, n. 3, p. 187- 189, 1981.

MAIA S.M.F, XAVIER FAS, OLIVEIRA T.S, MENDONÇA E.S, ARAUJO FILHO J. A- Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade de solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore** 30:837–848, 2006.

MARDIA, A. K. V.; KENT. J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1997. 518p.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.& VIEIRA, F.B. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2461-2470, 2008.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. N. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3. p. 375-383, 2001.

MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, mar./abr. 2008.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap.1, p.1-6.

MOURA, L. G. V. (2002) Indicadores para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar: o caso dos fumicultores de Agudo-RS. **Dissertação de Mestrado** em Desenvolvimento Rural - Porto Alegre, Universidade Rural do Rio Grande do Sul (Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Rural), 230p.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

PASSOS, H. D. B. (2008) Indicadores de sustentabilidade: uma discussão teórico metodológica aplicada a sistemas agroflorestais no Sul da Bahia. **Dissertação de Mestrado** - Ilheus, Universidade Estadual de Santa Cruz, 241p.

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

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 44-49p.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2091-2100, 2008.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 170p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. ; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, 27, p.29- 48, 2003.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, 110:131-146, 2002.

RIBON, A.A. & TAVARES FILHO, J. Número ideal de amostras para estudos com penetrômetros de impacto em Latossolo Vermelho eutrófico. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**, 14., Cuiabá, 2002. Resumos. Cuiabá, 2002.

RIBON, A.A. & TAVARES FILHO, J. Model for the estimation of physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Arch. Biologic Technol.**, 47:25-31, 2004.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; SILVA, V.R. da; BASSO, C.J.; DELLA FLORA, L.P.; CHERUBIN, M.R.; EITELWEIN, M.T. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão. **Interciência**, v.37, p.204-208, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SHIRATSUCHI, L.S.; MARCHÃO, R.L.; JERKE, C.; RESENDE, A.V.; FONTES, J.R.A.; OLIVEIRA, C.M. de; VILELA, M. de F.; SÁ, M.A.C. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D.G. dos; HURTADO, S.M.C. Geração de mapas multitemáticos em agricultura de precisão. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 22p. **(Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 181).**

SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.1-5, 1989.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:191-199, 2000.

SILVA, A. M.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Lima, J. M.; Avanzi, J. C.; Ferreira, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1223-1230, 2005

SILVA, S.R.; BARROS, N.F. & COSTA, L.M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, 10:842- 847, 2006.

SILVA, S. de A.; LIMA, J.S. de S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.15-22, 2010.

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**, v.13, p.77-86, 2011.

SILVEIRA, N. D. **Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) em la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras**. 2005. 141p.

SILVEIRA NETO, A. N. da; SILVEIRA, P, M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 29- 35, 2006.

SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573p.

SOMARRIBA, E. Diversidad Shannon. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v.6, n. 23, p. 72-74, 1999.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7:18-23, 2003.

SOUZA, E. D., CARNEIRO, M. A. C. e PAULINHO H. B. Atributos físicos de um Neossolo quartazarênico e um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p.1135-1139, 2005.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 130p.

STATSOFT, INC. STATISTICA FOR WINDOWS - **Computer Programa manual-Tulsa**: StatSoft, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/ IAA/ PNMCA/Planalsucar, 1983. 8 p. (Série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1).

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

ZALAMENA, J. Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: **Oxford University Press**. 1990. 316p.