

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

HUEZER VIGANÔ SPERANDIO

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2010

HUEZER VIGANÔ SPERANDIO

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
para o título de Engenheiro
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2010

HUEZER VIGANÔ SPERANDIO

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 16 de junho de 2010.

COMISSÃO EXAMINADORA



Roberto Avelino Cecílio
Prof. D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Giovanni de Oliveira Garcia
Prof. D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo



Aderbal Gomes da Silva
Prof. D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo

Aos amados
(Jacir e Ana)
(Antônio, Natalina e Constância)
Reinaldo (*in memoriam*)

*"Que nada te perturbe
que nada te apavore
tudo passa
só Deus não muda
a paciência tudo alcança!"*

Santa Teresa d' Ávila

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por todo amor a mim dedicado! E a Nossa Senhora, que com seu amor inestimável de mãe, sempre me aconchegou!

Aos meus queridos pais, Jacir e Ana, que mesmo na distância sempre se fizeram presentes, me incentivando e fortalecendo com sua dedicação. Amo muito vocês!

A toda minha família, pelo apoio e carinho. Especialmente aos meus avós (Antônio, Natalina, Constância), irmãos (Jô, Dinho e Werike) e sobrinhos (Maria Victória, Otávio, Anna Luisa e Klara), estes, mesmo pouco ou não conversando, muito me deram forças.

Aos amigos do EJC, formamos sim uma família! Muitos foram os momentos da mais pura alegria presenciada!

Ao Prof. Roberto, por nestes quase quatro anos de convivência, tanto ter me ensinado. Obrigado pela confiança, pelas dicas, ensinamentos, bolsas, conversas, ...

Ao meu conselheiro Hugo R. Guariz, por todo apoio e ao amigo Rômulo (Bitoca), pela inestimável colaboração na estatística deste trabalho.

Aos estagiários do Laboratório de Geoprocessamento (Monge, Cássio e Maycon) e aos novos (Vitor, Igor e George), pela ajuda nos trabalhos laboratoriais e de campo, além de toda amizade e confiança. Muita fraude junta! Valeu pessoal!

Aos professores responsáveis e aos técnicos dos Laboratórios de Física do Solo e LAFARSOL, por me propiciarem o utilização do espaço e ajuda nas análises.

À Prefeitura Municipal de Alegre e ao Sr. Francisco Rodrigues Sobrinho, por ter me concedido autorização para realização deste trabalho na ARIE “Laerth Paiva Gama” e em seu sítio, respectivamente.

Aos estimados amigos: Douglas (Mexicano), Brunela, Heitor, Flávio, Pompeu, Dyeime, Alice e Guilherme. (Quanta murrinhagem!) Obrigado por todos os momentos compartilhados, pelos almoços, churrascos, festas... E especialmente a

minha irmãzinha Dany, pelas noites de estudo, pelas brigas, conselhos, alegrias e tristezas. Firmamos uma grande amizade.

A toda a turma de Engenharia Florestal 2006/1, pelos cinco anos de convivência e alegria. Espero que pelos caminhos desta vida, possamos nos encontrar sempre!

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho tivesse êxito, obrigado por poder contar com vocês e perdão àqueles de quem eu tenha me esquecido...

Muito obrigado!

RESUMO

Restaurar um ecossistema florestal pressupõe um retorno mais próximo possível às suas condições primárias, isto é, aquelas existentes antes do processo de degradação ocorrido na área. Uma das necessidades hoje evidenciadas em restauração florestal, consiste em avaliar a efetividade dos projetos de restauração que historicamente foram instalados de forma empírica. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar dois sistemas de restauração florestal implantados na Área de Relevante Interesse Ecológico “Laerth Paiva Gama”, em Alegre – ES, comparando-os com a mata nativa (MN) e o uso do solo anterior (café - CAF). Os sistemas de restauração avaliados foram: sistema utilizando consórcio entre eucalipto e acácia (REA) e, sistema com espécies diversas (RED). Avaliaram-se os seguintes atributos do solo: granulometria, massa específica do solo e de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, carbono orgânico total e matéria orgânica, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, e a serrapilheira acumulada nos pisos florestais. De forma geral não ocorreu interação estatística significativa entre os atributos nas profundidades. A MN apresentou os melhores índices para qualidade do solo e ambos os reflorestamentos proporcionaram estatisticamente as mesmas variações para os atributos avaliados, não apresentando assim, superioridade de um em relação ao outro. Os atributos do CAF foram equiparados aos dos sistemas de restauração.

Palavras – chave: Serrapilheira. Qualidade do solo. Física do solo.
Recuperação de áreas degradadas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Restauração florestal	4
2.1.1 Serrapilheira e Matéria orgânica do solo	6
2.2 Qualidade do solo	8
2.2.1 Granulometria.....	10
2.2.2 Massa específica do solo	11
2.2.3 Massa específica de partículas.....	12
2.2.4 Porosidade	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Caracterização da área em estudo	14
3.2 Avaliação dos atributos em estudo	18
3.2.1 Análise granulométrica	18
3.2.2 Massa específica do solo (Ms)	19
3.2.3 Massa específica de partículas (Mp)	19
3.2.4 Microporosidade, Porosidade Total (PT) e Macroporosidade.....	19
3.2.5 Carbono orgânico total (COT) e Matéria orgânica (MO).....	19
3.2.6 Serrapilheira acumulada.....	20
3.3 Análise estatística	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Granulometria	21
4.2 Massa específica do solo e Massa específica de partículas	22
4.3 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade	24
4.4 Serrapilheira.....	28
4.5 Carbono orgânico total e Matéria orgânica	30
4.6 Avaliação geral dos atributos nos diferentes sítios	32
5 CONCLUSÕES	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
APÊNDICE	43
Apêndice A	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização e delimitação da área em estudo.	14
Figura 2: Gráfico termopluviométrico de Alegre - ES.	15
Figura 3: Delimitação dos sítios amostrais.	15
Figura 4: Vista parcial no interior da mata nativa.	16
Figura 5: Vista parcial no interior do Reflorestamento com eucalipto e acácia.	17
Figura 6: Vista parcial no interior do Reflorestamento com espécies diversas.	17
Figura 7: Vista parcial no interior do Cafeeiro.	18
Figura 8: Proporção dos componentes granulométricos presentes nos sítios em estudo (CAF – cafeeiro, REA – Restauração com eucalipto e acácia, RED - Restauração com espécies diversas e MN - Mata nativa) no município de Alegre - ES.	21
Figura 9: Médias da massa específica do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre – ES.	22
Figura 10 : Médias para a massa específica de partículas do solo encontradas nos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.	24
Figura 11: Médias da macroporosidade do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.	26
Figura 12: Médias para a porosidade total do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES..	26
Figura 13: Médias para a serrapilheira acumulada no piso florestal dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas e REA – Restauração com eucalipto e acácia) no município de Alegre - ES..	28
Figura 14: Médias do carbono orgânico total presente no solo dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.	30
Figura 15: Médias da matéria orgânica do solo presente no solo dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Interação entre os fatores da microporosidade para os sítios em estudo (CAF – cafeeiro, REA – Restauração com eucalipto e acácia, RED - Restauração com espécies diversas e MN - Mata nativa) no município de Alegre - ES..	25
Tabela 2: Análise de variância dos atributos granulométricos (areia total, silte e argila), massa específica do solo (Ms) e massa específica de partículas, estudados nos sítios em Alegre – ES.	44
Tabela 3: Análise de variância dos atributos microporosidade (micro), macroporosidade (macro), porosidade total (PT), carbono orgânico total do solo (COT) e matéria orgânica do solo (MO), estudados nos sítios em Alegre – ES.....	44
Tabela 4: Análise de variância para a serrapilheira acumulada coletada no estudo em Alegre – ES.	44

1 INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agropecuária, ainda baseada no binômio produção-área, desde o início da colonização brasileira, requer grandes extensões de terra advindas de processos de desmatamento das florestas naturais existentes, levando muitas vezes, à degradação ambiental da área.

A supressão parcial de florestas traz consequências diretas para a biodiversidade regional, causando efeitos como a redução do fluxo gênico e extinção de espécies da fauna e flora; e de forma indireta, modificando fatores abióticos regionais (MARTINS, 2001; KAGEYAMA, GANDARA, 2003).

A crescente onda de preocupação ambiental em todo o planeta, com especial enfoque na necessidade de recuperação e/ou restauração das áreas degradadas é uma das grandes problemáticas do século XXI, por estar intimamente ligada à perda de quantidade e qualidade dos corpos hídricos, ocorrência de erosão e desertificação.

A meta da restauração ambiental é construir um ambiente o mais próximo possível do original, de modo a criar condições de biodiversidade renovável, onde as espécies regeneradas artificialmente tenham condições de serem auto-sustentáveis (KAGEYAMA, GANDARA, 2003).

No processo de restauração, segundo Longo et al. (1999), ao se considerar as modificações antrópicas no meio, deve-se observar a estreita relação entre o solo e a vegetação. Além disso, deve-se, a fim de se avaliar os mecanismos formados a partir da implantação desses sistemas de restauração florestal, utilizar-se de indicadores de qualidade, seja do solo ou da vegetação.

Stenberg (1999), citado por Carvalho (2005), enfatiza que nenhum indicador individualmente consegue descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo é suficiente, já que deve haver uma relação entre todos os seus atributos, sendo assim, deve haver um número mínimo de indicadores selecionados. Lima et al. (2007) enfatiza ainda que os indicadores físicos (atributos físicos) representam grande relevância no monitoramento da qualidade do solo.

1.1 O problema e sua importância

O processo de restauração florestal pode ser implantado por diferentes metodologias descritas na literatura, como a nucleação, os modelos sucessionais, os sistemas agroflorestais e o plantio ao acaso. Contudo, pela ausência de conhecimento e/ou de profissionais habilitados, os projetos de restauração florestal são implantados de forma empírica, freqüentemente não existindo um sistema de monitoramento e/ou de avaliação do mesmo.

Barbosa (2000) afirma ainda que, apesar da existência de diferentes modelos de repovoamento florestal heterogêneo para recuperação de áreas degradadas, nenhum deles pode ser considerado ideal para todos os casos de degradação. Isso é devido ao grande número de variáveis possíveis de interferir no desempenho das espécies, seja por características intrínsecas do local ou do modelo adotado. Portanto, torna-se imprescindível para cada local, estudos que idealizem os modelos mais adequados e suas variáveis adaptativas para implantação.

Franco et al. (1992) sugere que em sistemas de restauração ecológica deve-se sempre utilizar de associações de espécies florestais que promovam não apenas rápido crescimento, mas que sejam capazes de melhorar o solo por meio do aporte de serrapilheira e a sua incorporação como matéria orgânica.

Contudo, observa-se carência de estudos que relacionem a restauração florestal com os atributos físicos do solo (NOGUEIRA JUNIOR, 2000; FRANCO, 2006; SAMPAIO, 2006), a fim de fornecer subsídios indicativos da qualidade do solo e da influência originada pela implantação do sistema no local. De forma geral, necessita-se de mensurações práticas sobre a interação solo-planta, no que tange os atributos físicos do solo, para validar sistemas de restauração florestal implantados e o seu monitoramento temporal.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar dois sistemas de restauração florestal implantados nos limites da Área de Relevante Interesse Ecológico “Laerth Paiva Gama”, em Alegre (ES).

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistiram em:

- Caracterizar fisicamente o solo dos sistemas de restauração florestal, da mata nativa e do cafezal.
- Mensurar a matéria orgânica presente no solo dos sistemas de restauração, da mata nativa e do cafezal.
- Quantificar a serrapilheira acumulada nos sistemas de restauração florestal e na mata nativa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Restauração florestal

No processo de ocupação agrícola do Espírito Santo é observado acelerado processo de exploração irracional dos recursos naturais, assim como a alteração ou total substituição dos ecossistemas nativos. Segundo Sattler (2006), os modelos produtivos utilizados, desde então, vêm levando a região a uma crescente degradação dos recursos naturais, refletindo-se na baixa capacidade produtiva dos solos, associada a outros danos ambientais também de significativa importância.

A degradação de terras sob florestas representa uma significativa redução de sua capacidade produtiva, com a fragmentação de sua biodiversidade (MALLEUX, 1993). Conforme Miranda (1993), essa mudança na vegetação natural, causa um desequilíbrio no ecossistema e as propriedades intrínsecas da nova vegetação influenciarão os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando suas características e propiciando sua degradação.

A avaliação deste processo degenerativo, embora complexa, tem como principais indicadores as modificações ocorridas na estrutura física do solo, a perda de matéria orgânica, a redução de nutrientes, os processos erosivos e os distúrbios no equilíbrio hídrico (LONGO, 1999).

A restauração florestal implica em um retorno completo do ecossistema degradado às condições ambientais originais ou pré existentes, sendo, segundo Rodrigues e Gandolfi (2004), uma prática muito antiga, podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões.

A restauração florestal ou ecológica enfoca principalmente os processos ecológicos do ecossistema (RODRIGUES, GANDOLFI, 2004), assim como, a recuperação das funções do ecossistema e a proteção e restauração dos solos e das águas (KAGEYAMA & GANDARA, 2001).

O processo de recuperação pode ser realizado de forma natural (RODRIGUES, GANDOLFI, 2004) ou ocorrer com alteração intencional, isto é, intervenção humana no local (KAGEYAMA, GANDARA, 2001).

Embora existam metodologias que instrumentalizam o objetivo de restaurar um ecossistema florestal, uma abordagem científica desta questão implica em

conhecer a complexidade dos fenômenos que se desenvolvem na floresta e compreender os processos definidores da estruturação e manutenção destes ecossistemas no tempo (RODRIGUES, GANDOLFI, 2004), além disso, o monitoramento deste processo deve passar por avaliações tanto da vegetação quanto dos fatores abióticos, em especial, das propriedades físicas do solo.

Segundo Sattler (2006), no decorrer do desenvolvimento das espécies vegetais ocorre uma estreita inter-relação entre os fatores que determinam a formação do solo e o ambiente dos ecossistemas, o que ocasiona uma mudança nas características da vegetação e concomitantemente, alterações no solo, resultando num processo natural de seleção de espécies.

Os métodos de restauração são baseados na premissa da substituição das espécies no tempo e no espaço, o que corresponde a uma substituição de diferentes grupos ecológicos ou classes sucessionais a que cada espécie pertence (SWAINE, WHITMORE, 1988), chegando a um estado de floresta clímax.

Os principais métodos de intervenção humana utilizados para a implantação da restauração florestal são, segundo Martins (2001), a nucleação, os modelos sucessionais, o plantio ao acaso e os sistemas agroflorestais.

Os plantios florestais, conforme Carneiro (2002) quer pelas suas características de ciclo longo, quer pela aplicação reduzida de pesticidas, funcionariam como um meio efetivo de se promover a regeneração florestal, desempenhando o mesmo papel de espécies pioneiras sob condições naturais.

Segundo Viani (2005), o processo de regeneração é afetado por fatores bióticos tais como herbivoria e predação, ação de patógenos e a competição intra e interespecífica que exercem de forma isolada ou combinada, papel importante no destino das plântulas arbustivo-arbóreas nas florestas tropicais.

Inicialmente, segundo Nogueira Júnior (2000), o estabelecimento da cobertura vegetal atua como proteção mecânica contra os agentes erosivos, como fonte potencial de matéria orgânica e como mecanismo regulador da liberação e ciclagem de nutrientes contidos na serrapilheira.

Após o estabelecimento, a vegetação proporciona nova dinâmica de nutrientes, seja pelo fluxo de material orgânico transferido para a superfície do solo via serrapilheira ou pela ação mecânica e incremento dos tecidos radiculares incorporados ao solo (PROCTOR, 1987).

2.1.1 Serrapilheira e Matéria orgânica do solo

De certa forma, estes termos (serrapilheira e matéria orgânica) se confundem na literatura, contudo serrapilheira, segundo Barbosa e Faria (2006), constitui-se de material orgânico de origem vegetal e animal que é depositado sobre o solo, sob diferentes estados de decomposição. Já a matéria orgânica, segundo Camargo et al. (1999), corresponde a um complexo sistema de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. Diante disso, serrapilheira é o material sobre o solo (in natura e em decomposição) e matéria orgânica é este material já incorporado ao solo, após processo de decomposição.

Conforme Carpanezzi (1997), em todas as tipologias florestais a produção de serrapilheira representa o primeiro estágio de transferência de nutrientes e energia da vegetação para o solo, pois a maior parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas retorna ao piso florestal por meio da queda de serrapilheira ou lavagem foliar.

A serrapilheira acumulada desempenha um papel essencial no crescimento das plantas, pois influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Segundo Santos (1989), esta permite a existência de uma grande variedade de nichos para a mesofauna e microrganismos e, por armazenar água de precipitações, conserva a umidade (CARAMORI et al., 1995). Atua na prevenção e controle dos processos erosivos, por atenuar o impacto das gotas de chuva e por melhorar a estabilidade dos agregados do solo, refletindo em um aumento na infiltração da água no solo. Segundo Barbosa e Faria (2006), a acumulação de serrapilheira intercepta a luz, sombreando sementes e as plântulas e reduzindo a amplitude térmica do solo.

Todavia, conforme Facelli e Pickett (1991), a serrapilheira, em alguns casos, pode impedir a chegada de algumas sementes ao solo e dificulta o crescimento de plântulas.

Florestas tropicais conseguem crescer em substratos pobres em nutrientes somente a partir da manutenção dos mesmos sob altos níveis de biomassa, através de mecanismos de conservação, produzindo um ciclo de nutrientes relativamente otimizador ou fechado com pequenas quantidades (HERRERA et al., 1978). Segundo Palm (1995) a serrapilheira contribui com a ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio.

O acúmulo de serrapilheira varia em função da procedência, da espécie, da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local (CALDEIRA et al., 2007).

Segundo Nogueira Júnior (2005), devido à decomposição da serrapilheira ocorrer principalmente na camada superficial do solo, ocorre aumento da retenção e absorção de água e nutrientes pelas raízes e micorrizas, ocasionando, por conseguinte, uma rápida ciclagem de nutrientes e maior crescimento da vegetação.

Segundo Arato et al. (2003) a comparação entre áreas em processo de recuperação com florestas nativas, quanto à produção e decomposição de serrapilheira, pode ser uma importante ferramenta para avaliação do sucesso de determinado projeto de recuperação de área degradada.

A matéria orgânica do solo é comumente conhecida como um indicador químico da qualidade de solo, em razão de sua função na regulação de uma série de processos que ocorrem no solo (KELTING et al., 1999). Kaiser et al. (1995) acrescenta que a matéria orgânica do solo é tida como um critério importante na avaliação da sustentabilidade dos sistemas, uma vez que, seu declínio ou acréscimo permite mensurar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas.

Seu incremento está diretamente relacionado ao tipo de solo, às condições climáticas e, especialmente, às práticas de manejo (COSTA et al., 2004); e sua decomposição é determinada pela composição química da serrapilheira, condições ambientais (temperatura e umidade), diversidade e quantidade de macro e microorganismos presentes no solo (KILLHAM, 1994).

A matéria orgânica é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo, sendo que quanto maior o teor de carbono orgânico, maior o índice de estabilidade de agregados no solo (SATTLER, 2006). Segundo Passos (2000), a matéria orgânica constitui-se em um dos principais reservatórios de carbono (C) no ciclo global deste elemento. Pode ainda contribuir no aumento do armazenamento e permeabilidade da água, assim como influenciar a aeração do solo e favorecer o fornecimento de nutrientes para as plantas (SANTOS, 2007). Promove a elevação da CTC, uma liberação lenta de fósforo, nitrogênio, enxofre e água, favorecendo ainda o controle biológico, pela maior população microbiana e melhoria da capacidade tampão do solo (RAIJ, 1991).

Contudo a maior importância dada à matéria orgânica do solo consiste na formação e estabilização dos agregados, desempenhando importante papel no desenvolvimento das plantas, dado a sua influência direta e indireta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo. Os agregados são componentes da estrutura do solo, sendo, portanto, importantes para a manutenção da porosidade e aeração favoráveis ao crescimento das plantas e dos microrganismos, para a infiltração de água e para a estabilidade necessária à prevenção da erosão (OADES, 1984 citado por AGUIAR, 2008).

Segundo Bastos et al. (2005), dois são os principais mecanismos envolvidos no aumento da estabilidade dos agregados pela ação da matéria orgânica do solo. O primeiro pela formação de ligações de materiais orgânicos com as partículas minerais ou pela ação física de raízes ou hifas de fungos. O segundo é a ação da matéria orgânica do solo na diminuição da entrada de água no agregado, reduzindo, assim, sua quebra pela expulsão instantânea do ar.

Conforme Guariz (2008) o aumento do teor de matéria orgânica ocasiona uma diminuição da massa específica do solo e aumento da porosidade e, conseqüentemente, maior capacidade de infiltração de água no solo, tendendo à uma regularização da vazão nos corpos hídricos da bacia hidrográfica no decorrer dos anos hidrológicos.

2.2 Qualidade do solo

O intensivo processo de degradação ambiental, especialmente a degradação edáfica, despertou preocupação acerca do manejo correto dos ecossistemas e, com isso, uma necessidade de se estabelecer e estudar a qualidade dos solos e sua relação com os sistemas de produção agrosilviculturais e a sustentabilidade na sua exploração.

A qualidade do solo pode ser definida, segundo Karlen et al. (1997), como a capacidade de um tipo específico de solo em seu meio natural ou modificado de exercer várias funções como sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde humana, de plantas e de animais.

O conceito é relativamente amplo, pois é dependente de variados atributos do solo (físicos, químicos e/ou biológicos), que por sua vez, estão atrelados às interações com o ecossistema e sua variabilidade espacial e temporal.

Segundo Longo et al. (1999), estudar as modificações ocorridas em diferentes ecossistemas, sejam estas ocasionadas por ação antrópica ou natural, requer a avaliação da estreita relação existente entre a vegetação e o solo. A vegetação influencia diretamente as propriedades e a dinâmica dos solos, pelo suprimento de matéria orgânica, e de forma indireta, na estruturação, capacidade de retenção de cátions, aeração, fornecimento de nutrientes, e o comportamento hídrico, interferindo assim, na adaptabilidade de diferentes tipologias florestais.

Quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil; a dificuldade advém do fato de que a qualidade do solo depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos (COSTA et al., 2006), entretanto a qualidade do solo é a base para a quantificação da sustentabilidade agrícola e dos sistemas de manejos adotados em cada local.

De acordo com Dumanski e Pieri (2000) a base para estabelecer indicadores do solo é a compreensão que estes estão direcionados para a avaliação e/ou monitoramento das condições do solo que o tornam um corpo vivo. Indicadores específicos desta escala devem ter a capacidade e a sensibilidade para medir e avaliar atributos e processos do solo que interfiram na promoção de sua vida (CARVALHO, 2005).

A qualidade do solo como um importante indicador da sustentabilidade de agroecossistemas, tem seu monitoramento feito a partir do comportamento de indicadores ao longo do tempo, ou comparando seus desempenhos com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN, PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

Existem algumas propriedades do solo, que podem ser consideradas como atributos indicadores e, portanto, são de suma importância na avaliação da sua qualidade (DORAN, PARKIN, 1994). Segundo Doran e Zeiss (2000), um bom indicador, além de ser sensível a modificações no manejo, deve ser bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, ser capaz de elucidar os

processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferivelmente, de fácil e barata mensuração.

Indicadores físicos representam grande relevância no monitoramento da qualidade do solo, com vistas à sustentabilidade agrícola. Até o momento, a qualidade física ideal para um solo ainda não é conhecida. Tem sido sugerido adotar como critério de referência as condições de solos que suportam uma vegetação nativa e ou que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (DORAN e PARKIN, 1994).

A qualidade física do solo descreve como o solo permite a infiltração, retenção e disponibilidade da água às plantas, córregos e subsuperfícies, responde ao manejo e resiste à degradação, permite trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes das plantas, e permite o crescimento das raízes (REICHERT et al., 2003).

Lima et al. (2007) sugere como bons indicadores físicos do solo, a massa específica do solo, a porosidade, estabilidade de agregados e a resistência mecânica do solo à penetração. Effgen (2008), indica ainda, para avaliação da física do solo, a textura, argila dispersa em água e o grau de floculação.

2.2.1 Granulometria

A granulometria ou textura do solo pode ser definida como sendo a proporção relativa dos diferentes grupos de partículas minerais primárias, agrupadas em areia, silte e argila, em função do seu tamanho.

Segundo Zimbach (2003) a areia compreende as partículas de dimensões diamétricas entre 2 e 0,05 mm, responsável pelo surgimento de macroporos e assim, pela sua aeração, e o silte, partículas com dimensão de 0,05 a 0,002 mm, que promovem o aparecimento de poucos poros, podendo causar o adensamento do solo. Ambos possuem a capacidade de reter pouca água e poucos nutrientes. A argila compreende as partículas com diâmetros médios inferiores a 0,002 mm, sendo responsável pela estruturação do solo, proporcionando o aparecimento de elevado volume de poros, especialmente dos microporos, que tendem a reter muita água e nutrientes (ZIMBACH, 2003). Segundo Reichardt e Timm (2004) a argila é o elemento granulométrico que de forma prioritária determina o comportamento físico dos solos.

A textura do solo constitui-se numa das características físicas mais estáveis, e esta estabilidade faz com que seja considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo (FERREIRA et al., 2003). A mudança textural somente ocorrerá se houver mudança da composição do solo (elementos de sua formação) devido à erosão seletiva ou processos de intemperismo ao longo do tempo (REINERT, REICHERT, 2006), sendo pouco dependente do uso e manejo do solo.

Segundo Carvalho Júnior (1995) com as características granulométricas do solo é possível idealizar um diagnóstico das áreas agrícolas quanto à fertilidade e erosão, ditando ainda o comportamento do solo em relação à formação de camadas compactadas e/ou adensadas. Guimarães e Lopes (1986) comentam que solos de textura média são melhores para o desenvolvimento das raízes das plantas.

2.2.2 Massa específica do solo

A massa específica do solo é a relação entre a massa de uma amostra de solo seco e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros. Constitui um parâmetro físico que reflete o arranjo das partículas de solo e que, por sua vez, define características do sistema poroso (LIMA et al., 2007), podendo ser utilizado como um bom indicador do grau de compactação.

A massa específica do solo aumenta quando os constituintes do solo ficam mais próximos uns dos outros e/ou as partículas menores ocupam os espaços vazios entre as maiores. Sendo assim, todas as manifestações que influenciam a disposição das partículas do solo, refletem diretamente nos valores de massa específica do solo.

Possui ainda, a característica de ser variável de acordo com a profundidade no perfil, com a textura, a natureza, o tamanho e a forma das partículas e com fatores externos e ambientais (LIMA et al., 2007).

Em literatura, não existe um consenso em relação ao valor crítico a partir do qual o solo pode ser considerado compactado. Conforme Hakasson e Lipiec (2000), citado por PIETRZACKA (2009), há dificuldades em se extrapolar resultados experimentais de valores de massa específica do solo críticos ao desenvolvimento de plantas, uma vez que a resposta dessas varia de solo para solo, principalmente em função da textura.

Camargo e Alleoni (1997) consideraram crítico o valor de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ em solos franco argilosos a argilosos. De Maria et al. (1999) constataram que acima de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, em Latossolo Vermelho Escuro, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes, o que caracteriza um estado de compactação do solo.

Segundo Junqueira Júnior (2006), solos cuja massa específica do solo apresente valores superiores a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, os vegetais ali instalados tendem a serem afetados pela falta de oxigênio para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem, e pelo impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando a zona de absorção de água e nutrientes.

Effgen (2008) afirma que o aumento excessivo da massa específica do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo.

2.2.3 Massa específica de partículas

A massa específica de partículas é expressa como a razão da massa total das partículas sólidas pelo volume total, excluindo o espaço poroso entre as mesmas.

Este atributo é uma propriedade física bastante estável porque depende exclusivamente da composição da fração sólida do solo (FERREIRA et al., 2003). Considera a proporção entre a matéria orgânica e a parte mineral, quanto a constituição mineralógica do solo. Um elevado teor de matéria orgânica, tende a reduzir o seu valor, já uma maior presença de material mineral tende a elevar o valor da densidade real.

O conhecimento da massa específica de partículas é importante para os cálculos da velocidade de sedimentação das partículas, porosidade e teor de umidade do solo (KLAR, 1991).

Conforme Sengik (2005) massa específica de partículas tem efeito indireto sobre o crescimento vegetal, pois representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos.

2.2.4 Porosidade

A porosidade quantifica a fração do volume total do solo ocupado por poros, ou seja, o espaço do solo não ocupado por partículas sólidas. A porosidade, portanto, representa o volume de solo ocupado por ar e água.

Os poros em função do seu diâmetro são classificados em macroporos (porosidade não capilar) e microporos (porosidade capilar), os quais representam um diâmetro superior e inferior a 0,05 mm, respectivamente.

Os macroporos permitem a livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração, pois são grandes o suficiente para permitir o desenvolvimento do sistema radicular e abrigar organismos de menor tamanho que habitam o solo (BRADY, WEIL, 2002). Já os microporos geralmente são caracterizados por serem ocupados por água, pois seu tamanho reduzido não permite uma movimentação adequada de ar no solo (FRANCO, 2006). O movimento de água é lento e a maior parte da água retida nos microporos não está disponível às plantas (BRADY, WEIL, 2002). Segundo Lima e Lima (1996) a macroporosidade é responsável pela aeração, pela movimentação de água no solo e penetração das raízes, já os microporos são responsáveis pela retenção da água no solo.

O conhecimento da porosidade do solo é importante para se ter idéia tanto de sua permeabilidade quanto da sua capacidade de retenção de água e de nutrientes (GUARIZ, 2008), sendo um excelente indicador do seu estado de compactação.

A quantidade e a qualidade do espaço poroso são determinadas pela forma, pelo tamanho, pela quantidade e pelo arranjo das partículas sólidas (LIMA et al., 2007). Este espaço poroso possui importantes consequências para o comportamento físico do solo, tais como: percolação, difusão, resistência à penetração e penetração das raízes (EFFGEN, 2006).

A fim de um não comprometimento radicular e do desenvolvimento dos microorganismos, a macroporosidade não deve ficar aquém de 10 a 12% do volume do solo (ALVARENGA, 1993), sendo que seu ponto ótimo encontra-se entre 20 e 30% (GUARIZ, 2008).

Em um solo compactado ocorre diminuição na porosidade livre de água, com conseqüente decréscimo em sua permeabilidade tanto à água como às trocas gasosas. A baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água, nutrientes e trocas gasosas (CAMARGO, ALLEONI, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área em estudo

O estudo constitui-se de sítios amostrais locados no interior e no entorno da Área de Relevante Interesse Ecológico “Laerth Paiva Gama” (ARIELPG), localizada no município de Alegre – ES, conforme apresenta a Figura 1.



Figura 1: Localização e delimitação da área em estudo.

A ARIELPG é uma unidade de conservação de uso sustentável, instaurada pela Lei municipal N° 2693/2005, sendo seu órgão gestor a própria prefeitura municipal de Alegre. Sua área total é de 27,6 hectares, destinadas ao estudo e preservação do meio ambiente, segundo diretrizes próprias.

O clima local, segundo classificação de Köppen, é enquadrado no tipo Cwa, onde tem-se inverno seco e verão chuvoso. A Figura 2 apresenta o gráfico termopluviométrico de Alegre - ES, conforme os dados obtidos de Castro (2008).

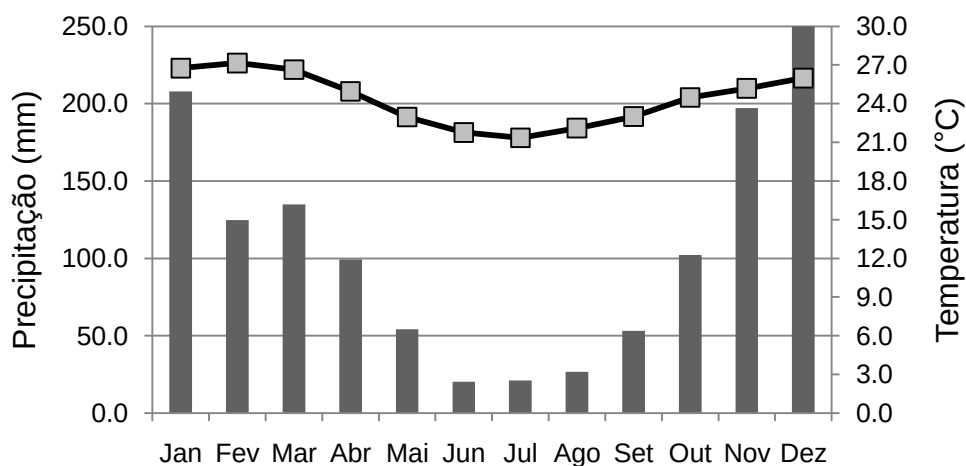


Figura 2: Gráfico termopluviométrico de Alegre - ES.

A topografia do terreno apresenta-se bastante declivosa, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA).

Os quatro sítios experimentais foram demarcadas conforme o uso do solo no local, a saber: mata nativa (MN), reflorestamento com eucalipto e acácia (REA), reflorestamento com espécies diversas (RED) e cafeeiro (CAF) (Figura 3). Os sítios MN, REA e RED encontram-se instaladas na ARIELPG, já a CAF encontra-se em seu entorno, na propriedade do Sr. Francisco Fernandes Sobrinho.

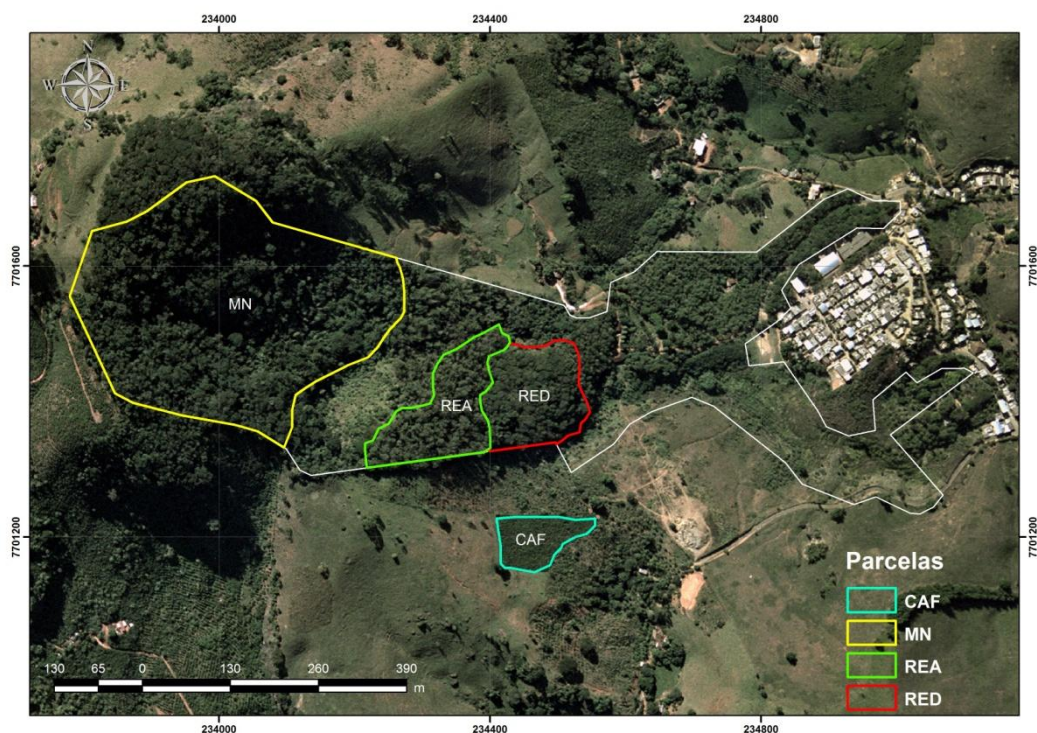


Figura 3: Delimitação dos sítios amostrais.

A área sob mata nativa (Figura 4) é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual, que segundo Veloso e Góes-Filho (2003), apresenta uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, possuindo aptidão fisiológica à deficiência hídrica ou à baixa temperatura, de acordo com as estações do ano. A MN é representada por um ambiente heterogêneo em termos de flora, com espécies arbóreas nativas, lianas e epífitas dominando a estrutura da paisagem.



Figura 4: Vista parcial no interior da mata nativa.

As áreas definidas como de reflorestamento (REA e RED), foram ocupadas, em período anterior à década de 1950, com agricultura de culturas anuais (milho, feijão, arroz, dentre outros), posteriormente a área foi destinada à monocultura do café, sob sistema de produção tradicional da região, que consiste na ausência de um preparo inicial do solo, seja por aração ou gradagem, ocorrendo apenas a abertura das covas de forma manual, e toda a sua manutenção realizada também manualmente.

Na década de 1980, essa área foi adquirida pela Prefeitura Municipal de Alegre, onde por meio de convênio com a Companhia Vale do Rio Doce, foi implantado o Horto Florestal em 1992. Esta área apresentava estado considerável de degradação e a perda de produtividade nas culturas implantadas. Iniciou-se então, um processo de instalação do programa de restauração florestal.

Em cada sítio amostral, o programa de restauração apresentou-se de forma extremamente distinta como se segue. Em ambas as áreas de reflorestamento, o preparo inicial do solo constituiu-se apenas no coveamento manual, seguido de tratos culturais na mesma condição.

Na REA (Figura 5), optou-se por implantar duas espécies exóticas (*Eucalyptus* sp. e *Acacia mangium* Willd), que proporcionariam uma boa cobertura

vegetal e grande quantidade de serrapilheira/matéria orgânica ao solo. O plantio foi caracterizado por intercalar de forma aleatória ambas as espécies, não seguindo um espaçamento pré-definido rigorosamente, apresentando, contudo, um espaçamento médio de 4 x 5 m.



Figura 5: Vista parcial no interior do Reflorestamento com eucalipto e acácia.

Na RED (Figura 6), foi implantado um bosque de espécies tropicais diversas, a fim de se obter maior diversidade para a flora local. A implantação foi realizada com espaçamento também pré-definido, contudo de forma análoga à REA, não ocorreu uma preocupação rígida com o cumprimento deste quesito. É observado entretanto, uma maior sistematização que a implantada na REA.



Figura 6: Vista parcial no interior do Reflorestamento com espécies diversas.

O sítio instalado no entorno da ARIELPG, apresenta uso do solo com cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre). A área apresentava o mesmo uso de solo da REA e RED, caracterizada por culturas anuais, sendo a cafeicultura estabelecida somente em 1981, num espaçamento de 1,5 x 2,5 m, de forma completamente manual, seguindo sua manutenção da mesma forma até os dias atuais. A Figura 7 apresenta a condição do sítio sob cafeeiro.



Figura 7: Vista parcial no interior do Cafeeiro.

3.2 Avaliação dos atributos em estudo

As amostragens de solo para avaliação dos seus atributos foram realizadas nos meses de abril e maio de 2010. Para tal, foi definido de forma sistemática em cada sítio, três pontos para coleta de solo, onde foram retiradas amostras deformadas e amostras indeformadas, com auxílio do trato tipo holandês e amostrador de Uhland, respectivamente, em duas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. As análises foram realizadas de forma individual para cada amostra coletada.

Para fugir do problema de analisar a dependência espacial, como sugerido por Grego e Vieira (2005), foi empregado o método no qual utiliza a área considerada como homogênea para a realização das coletas.

As análises do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo e no Laboratório de Análises de Fertilizantes, Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas (LAFARSOL), sendo avaliados os seguintes atributos: análise granulométrica, massa específica do solo, massa específica de partículas, microporosidade, porosidade total, macroporosidade e matéria orgânica. Além da mensuração da serrapilheira acumulada realizada no Laboratório de Ecologia Florestal. Os laboratórios são pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo.

3.2.1 Análise granulométrica

Para o estudo das frações do solo, foi utilizado o método da pipeta – agitação rápida, conforme EMBRAPA (1997), onde as frações de areia são obtidas por

peneiras e o silte e a argila são separadas por sedimentação, segundo a lei de Stokes. Utilizou-se da agitação mecânica rápida (12.000 rpm) e como agente dispersante químico o NaOH a 1 mol L⁻¹.

3.2.2 Massa específica do solo (Ms)

Foram obtidas por meio de amostras indeformadas (EMBRAPA, 1997). O anel com seu volume completado por solo foi seco em estufa a 105°C, por 24 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas e determinou-se a massa específica do solo.

3.2.3 Massa específica de partículas (Mp)

A determinação da Mp foi realizada conforme rotina proposta pela EMBRAPA (1997), onde se utilizou o princípio da determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade do balão volumétrico contendo solo seco em estufa.

3.2.4 Microporosidade, Porosidade Total (PT) e Macroporosidade

A microporosidade foi determinada a partir da mesa de tensão, onde as amostradas indeformadas são saturadas em água e submetidas a sucção de 60 cm de coluna de água, conforme EMBRAPA (1997).

A porosidade total foi obtida através da relação existente entre a massa específica do solo e a massa específica de partículas, conforme equação 1.

$$PT = \left(1 - \frac{M_s}{M_p}\right) 100 \quad (1)$$

A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

3.2.5 Carbono orgânico total (COT) e Matéria orgânica (MO)

Foi realizado pelo princípio do método volumétrico pelo dicromato de potássio. O carbono da matéria orgânica (COT) da massa é oxidado a CO₂ e o cromo (Cr) da solução extratora é reduzido da valência +6 (Cr⁺⁶) à valência +3 (Cr⁺³). Na seqüência, faz-se a titulação do excesso do dicromato de potássio pelo sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito pela Embrapa (1997).

3.2.6 Serrapilheira acumulada

A coleta da serrapilheira foi realizada no mês de junho de 2010, com o auxílio de um gabarito com formato quadrado (1,0 m²). O gabarito em campo, foi colocado na superfície do terreno, conforme a declividade do local, e todo o material orgânico presente em seu interior era coletado e armazenado em sacos de papel. Foram realizadas quatro coletas por sítio, em pontos próximo aos determinados para coleta de solo. Os sacos de papel com a serrapilheira coletada foram levados para secagem em estufa de circulação fechada e renovação de ar a 65°C até alcançar massa seca constante. Posteriormente, o volume foi pesado para obtenção do peso da matéria seca da serrapilheira.

3.3 Análise estatística

Os atributos em estudo foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado, sob esquema de um fatorial 4 X 2, configurando o uso do solo (MN, REA, RED e CAF) e a profundidade (0 – 20 e 20 – 40 cm), possuindo cada atributo 3 repetições por uso do solo e profundidade.

A serrapilheira, de forma diferenciada, foi analisada segundo um delineamento inteiramente casualizado com teste de médias, possuindo 4 repetições por uso do solo, sendo utilizados como tratamentos a MN, REA e RED.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” e quando significativo foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria

De acordo com os testes estatísticos realizados, não ocorreu nenhum tipo de interação significativa entre os fatores para a textura do solo. Desta forma, apresenta-se a análise individual, em que também não foi evidenciada nenhuma variação significativa entre as médias, ou seja, não houve variação granulométrica em profundidade e nem entre os usos do solo nos sítios. As médias de cada componente granulométrico encontram-se na Figura 8.

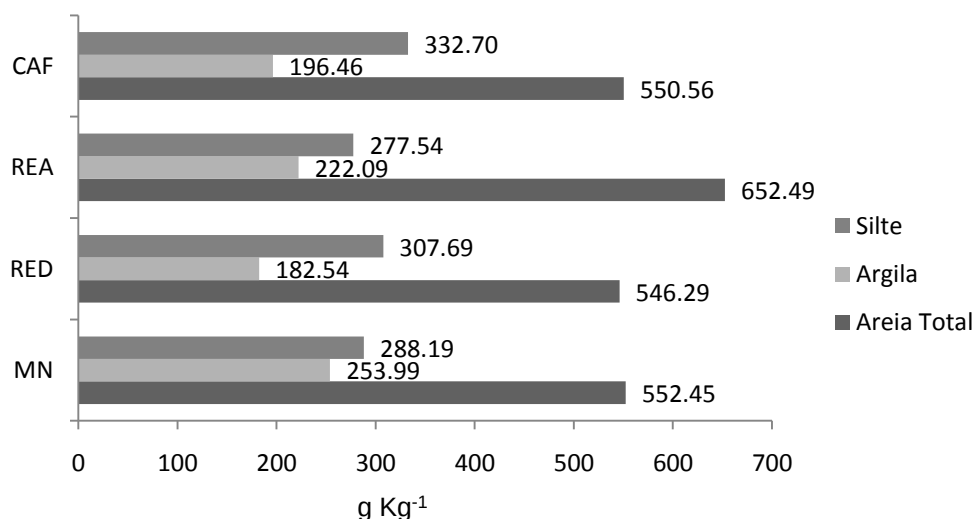


Figura 8: Proporção dos componentes granulométricos presentes nos sítios em estudo (CAF – cafeeiro, REA – Restauração com eucalipto e acácia, RED - Restauração com espécies diversas e MN - Mata nativa) no município de Alegre - ES.

Utilizando-se do ábaco triangular de textura (EMBRAPA, 1979), a classificação do solo para todas os sítios foi identificada como sendo média. E de acordo com o ábaco triangular para a classificação do grupo hidrológico de solo, proposto por Debo e Reese (1995), citados por Guariz (2008), que possui como entrada apenas as porcentagens granulométricas, os sítios apresentam potencial de escoamento superficial abaixo da média.

A textura do solo é um atributo relativamente estável, apresentando pouca tendência a modificar-se no decorrer do tempo, apresentando significativa mudança

dependendo do manejo adotado, contudo neste trabalho, não foi observada esta alteração.

4.2 Massa específica do solo e Massa específica de partículas

Para a massa específica do solo não ocorreu nenhum tipo de interação significativa entre os fatores, procedendo-se assim a análise individual. A variação em profundidade do solo estudada não apresentou diferenciação estatística, sendo significativo apenas a variação entre os usos do solo, conforme apresentado na Figura 9.

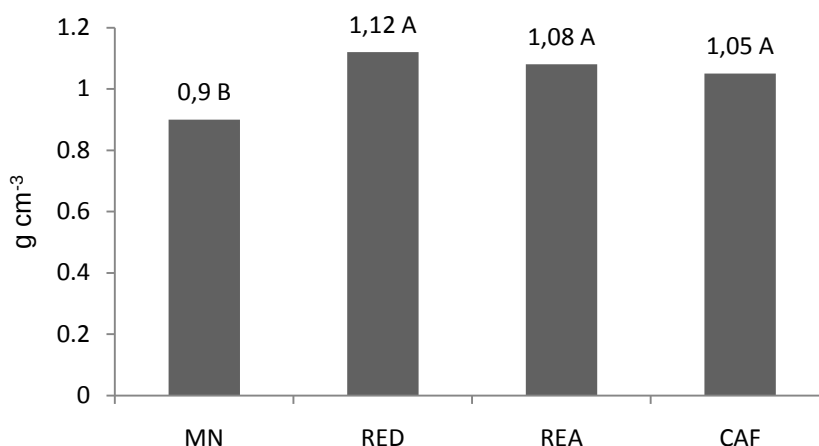


Figura 9: Médias da massa específica do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre – ES.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para Camargo e Alleoni (1997), os valores ideais de Ms estão compreendidos na faixa de 1,0 e 1,2 g cm³, acima desses valores, o solo tende a apresentar dificuldades para permeabilidade e aeração.

Os valores encontrados para Ms apontam para um baixo grau de compactação do solo em todas os sítios, tendo médias abaixo da recomendada por Camargo e Alleoni (1997), no caso da MN, indicativo de um elevado grau de porosidade e matéria orgânica, e entre o intervalo ótimo nos demais sítios.

O resultado equipara-se aos encontrados por Souza (1997), que avaliando diferentes estratégias para recuperação de áreas degradadas pela mineração em

Minas Gerais, observou médias de 1 g/cm³ e 0,89 g/cm³, para parcelas denominadas de mata natural e reflorestamento com *Mimosa pseudoincana*, respectivamente. Entretanto, os valores são relativamente inferiores aos encontrados por Sattler (2006) em vegetação nativa na região de Alegre – ES.

Estes baixos valores estão associados ainda com a não intervenção antrópica na área de forma intensiva, ou seja, não ocorrendo revolvimento do solo, tráfego de maquinário ou a inserção do componente animal no meio.

Ribon et al. (2003) afirmam que toda mudança na massa específica do solo tem uma relação direta com a resistência do solo a penetração mecânica, indicando que solos menos densos, como os deste estudo, fornecem menor dificuldade para crescimento e elongação radicular da vegetação instalada.

Segundo Aguiar (2008) um incremento nos valores de Ms estão associados à redução na macroporosidade, resultando em maior quantidade de poros de menor diâmetro, corroborando com os dados obtidos neste trabalho. O autor afirma ainda, que este fato leva a um aumento no número de partículas sólidas por unidade de volume de solo, que são capazes de formar ligações com a água, favorecendo conseqüentemente à elevação da umidade retida no solo (SILVA, KAY, 1997; NEVES JUNIOR, 2005).

De acordo com os testes estatísticos realizados, não ocorreu nenhum tipo de interação significativa entre os fatores para a massa específica de partículas. Desta forma, apresenta-se a análise individual, em que também não foi evidenciada nenhuma variação significativa entre as médias. Este resultado já é indicado por Brady (1989), que afirma que este atributo depende da natureza do material mineral predominante, apresentando pouca ou nenhuma diferença para a mesma classe de solo. As médias obtidas para este atributo encontram-se expostas na Figura 10.

Segundo Mendes et al. (2006) a massa específica de partículas é dependente apenas dos constituintes da fração sólida do solo e determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas massas específicas, ou seja, é irrelevante a influência neste atributo ocasionada pelo manejo do solo e sua cobertura vegetal.

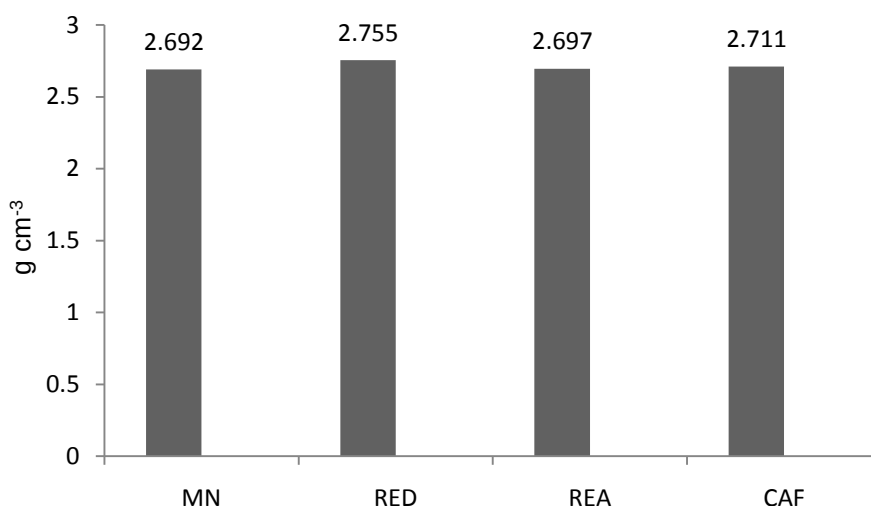


Figura 10 : Médias para a massa específica de partículas do solo encontradas nos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.

Os valores observados encontram-se no intervalo comum proposto por Kiehl (1979), que varia entre 2,30 a 2,90 g cm⁻³. Segundo Reinert e Reichert (2006), os componentes que predominam em solos minerais apresentam valores de Mp em torno de 2,65 g cm⁻³, exceção quando tem teor de matéria orgânica ou óxidos de Fe e Al altos. A matéria orgânica tem massa específica de 0,9 a 1,3 g cm⁻³ e sua presença reduz a Mp, ao contrário da presença de óxidos que aumenta a Mp. Conforme Aguiar (2008), o solo sob os sítios amostrais apresenta um predomínio em sua constituição sólida de partículas minerais.

A Mp ficou acima também dos valores encontrados no estudo realizado por Campanharo et al. (2009) nas entrelinhas de um sistema agroflorestal (eucalipto x cafeeiro), na região de São José dos Calçados - ES. Contudo os valores são semelhantes aos encontrados por Barreto et al (2006) em Latossolo vermelho amarelo na região sul da Bahia, por Effgen (2008) e Guariz (2008) na região de Alegre - ES.

4.3 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Para a microporosidade ocorreu interação significativa entre os fatores (Tabela 1). Fato possivelmente influenciado pela maior presença de areia total e

silte, e pela lixiviação da argila, apesar destes não se apresentarem estatisticamente diferentes. Já para porosidade total e a macroporosidade, não ocorreu nenhum tipo de interação significativa entre os fatores, procedendo-se a análise individual, onde não foi evidenciada nenhuma variação significativa entre as médias (Figuras 11 e 12).

Tabela 1: Interação entre os fatores da microporosidade para os sítios em estudo (CAF – cafeeiro, REA – Restauração com eucalipto e acácia, RED - Restauração com espécies diversas e MN - Mata nativa) no município de Alegre - ES..

Sítio/Prof	0 -20		20 - 40	
MN	27	A a	26,56	A a
REA	30,38	A a	26,7	B a
RED	30,01	A a	29,03	A a
CAF	29,86	A a	29,91	A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A porosidade de forma geral, encontra-se relativamente elevada, fato especialmente afetado pela grande presença de radículas superficiais da vegetação (OLIVEIRA, 1979) e de elevada fauna edáfica, além disso, os sítios apresentam significativa quantidade de matéria orgânica no solo, conforme ilustrado no item 4.5.

Devido ao elevado teor de macroporosidade, a porosidade total foi extremamente afetada, possuindo assim por consequência, valores também elevados, variando de 67,06% a 59,94%, para MN e REA, respectivamente. Entretanto Sanchez (1976), citado por OLIVEIRA (1979) chama a atenção para o fato de que o volume total de poros é um parâmetro calculado indiretamente, não representando a distribuição entre macro e microporos de um solo, e que este parâmetro varia inversamente com a massa específica do solo. Este elevado percentual de porosidade do solo correlaciona-se de forma positiva ao baixo valor da massa específica do solo encontrado nos sítios em estudo, corroborando com Effgen (2008).

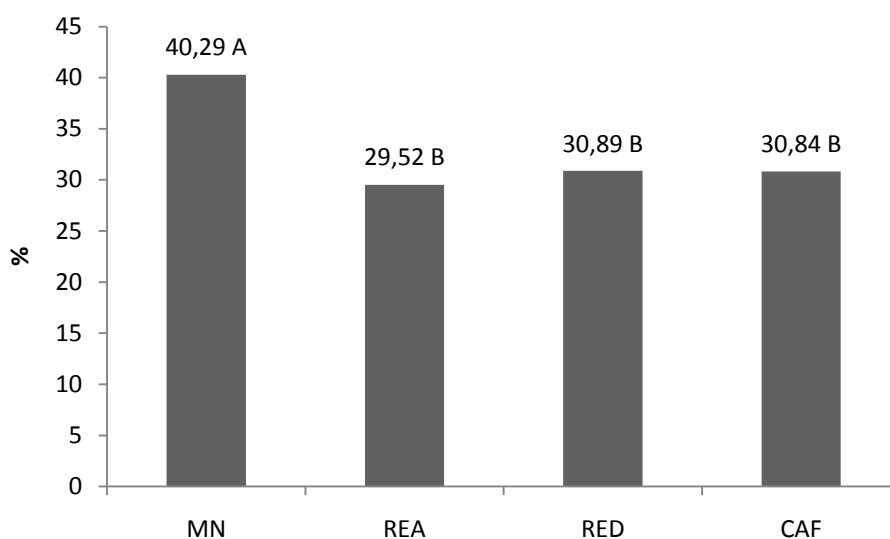


Figura 11: Médias da macroporosidade do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

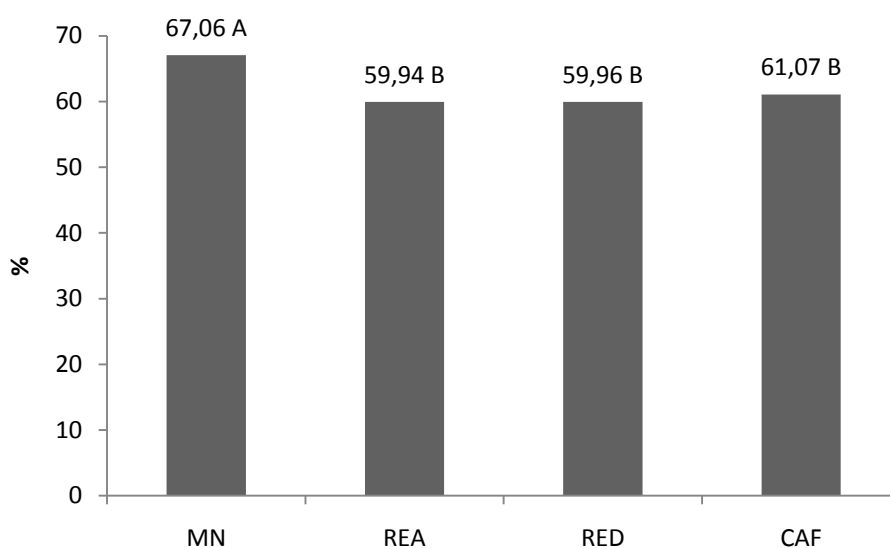


Figura 12: Médias para a porosidade total do solo obtidas para os sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia, e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES..

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observando-se os valores de porosidade expostos, verifica-se que a área ocupada por mata nativa, apresentou sempre valores mais elevados, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, que por sua vez, não diferiram entre si. As

médias obtidas neste estudo para a porosidade, não apresenta em literatura, valores semelhantes para a mesma classe de solo, que se encontra entre 40 a 55% (ARAÚJO et al., 2004; SATTLER, 2006; OLIVEIRA, 2007; EFFGEN, 2008). Sendo assim, comparada às obtidas por Monsueto et al. (2007), em um Cambissolo sob mata atlântica ombrófila densa em Teresópolis – RJ, onde encontrou uma PT média de 74%, e uma D_s de $0,62 \text{ g/m}^3$. Os dados obtidos corroboram com estudo desenvolvido por Souza (1997), em que o autor, analisando porosidade total em áreas de reflorestamento com *Mimosa pseudoincana* e nativas plantadas em áreas terraceadas na localidade de Retiro Branco, e mata natural e reflorestamento com *Mimosa scabrella* em Santa Rosália, encontrou valores de 64,82%, 64,04%, 65,84% e 65,34%, respectivamente. Ambas as localidades são locadas no município de Poços de Caldas – MG.

A macroporosidade está diretamente relacionada com a difusão de oxigênio no solo para as raízes e determina a capacidade de aeração do solo (THOMASSON, 1978 citado por TORMENA, 2002). Valores de macroporosidade abaixo de 15% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e desenvolvimento das plantas, indicando assim, que o solo em estudos apresenta boas condições de aeração.

Pode-se inferir que o solo destes sítios amostrais apresenta boa capacidade de infiltração de água, além disso, nesse processo, devido ao considerável grau de microporosidade, um elevado percentual desta água, ficará retida no solo. De maneira semelhante, pode-se esperar que o solo apresente baixa resistência à penetração, visto que este atributo não foi avaliado no presente trabalho.

O solo em todos os sítios em estudo, por seu elevado teor de porosidade, apesar de possuir grande variação na distribuição de tamanho dos poros, conforme Cavalieri et al (2006), não apresenta degradação estrutural.

As diferentes coberturas vegetais, não propiciaram ao solo significativo grau de compactação, devido à não existência de redução de microporosidade e macroporosidade, segundo o proposto por Fonseca et al. (2007).

4.4 Serrapilheira

Conforme observado na Figura 13, os valores de serrapilheira acumulada nos pisos florestais não diferiram estatisticamente entre si.

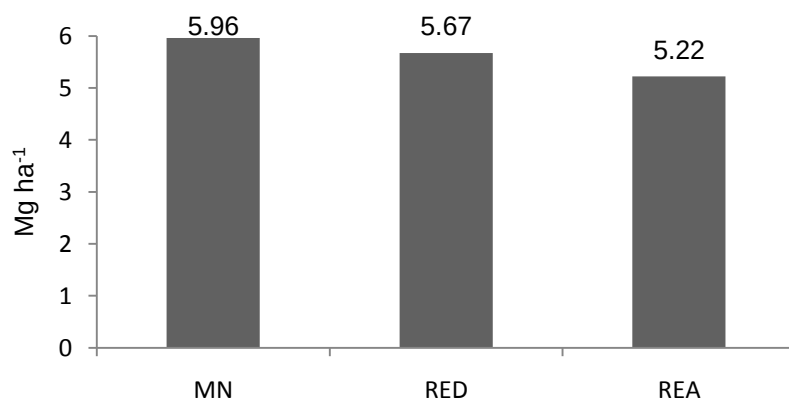


Figura 13: Médias para a serrapilheira acumulada no piso florestal dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas e REA – Restauração com eucalipto e acácia) no município de Alegre - ES.

Ressalta-se que este valor de serrapilheira acumulada é uma mensuração parcial, pois foi realizada apenas uma coleta no mês de junho/2010, período caracterizado por ser uma estação fria e seca na área em estudo, influenciando no aporte e decomposição do material orgânico depositado ao solo. Contudo a presença do eucalipto na REA, segundo Cortines et al. (2005) tende a fornecer um nível estável de cobertura do solo durante todo o ano, devido, a maior resistência da serrapilheira aos processos de degradação e ciclagem de nutrientes, pois o eucalipto possui folhas e galhos com grandes concentrações de lignina e celulose; aliado ainda à presença de acácia, que apresenta grande potencial de aporte de matéria orgânica e assim como o eucalipto, sua serrapilheira apresenta baixa taxa de decomposição. De maneira geral, conforme Leitão Filho (2003) o ambiente florestal tropical apresenta uma estabilidade na produção de serrapilheira no decorrer do ano, devido ao seu estado clímax, sendo que a quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação considerada. Balbinot et al. (2003) elucida que no início do estabelecimento de florestas naturais e plantações florestais, a produção de serrapilheira é baixa, aumentando com a idade, podendo posteriormente ocorrer redução, no seu estado clímax.

Os valores de serrapilheira acumulada determinados corroboram com Cunha (1997), em trabalho com biomassa da serrapilheira acumulada em Floresta

Estacional no Rio Grande do Sul, em diferentes estágios de sucessão: capoeira com 13 anos, capoeirão com 19 anos e floresta secundária com mais de 30 anos, nas quais foram encontrados os seguintes valores: 4,2 Mg ha⁻¹, 5,6 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Estudos específicos em ambientes tropicais reportam variações de 3,6 a 12,4 Mg ha⁻¹ de matéria seca na forma de “litterfall” (CORREA, ANDRADE, 2008). Nas condições climáticas do sul do Espírito Santo, estudos conduzidos por Effgen (2008) e por Gonçalves (2008), em áreas ocupadas por monocultura de eucalipto e Mata Atlântica, respectivamente, encontraram valores de serrapilheira iguais a 5,4 e 7,51 Mg ha⁻¹, superiores aos encontrados para a REA e MN no presente estudo.

Na observação dos valores quantificados para serrapilheira na área em estudo deve-se levar em consideração que o local está situado em um pequeno fragmento florestal, afetado diretamente pelos usos do solo no seu entorno, situação esta que segundo Correa e Andrade (2008), provoca um significativo efeito de borda, levando a alterações na colonização vegetal e nas condições microclimáticas, conseqüentemente interferindo no aporte da serrapilheira. Tais diferenças podem ainda, serem explicadas pelo fato de que a serrapilheira acumulada nos solos florestais pode variar significativamente entre diferentes espécies estabelecidas no mesmo sítio (O'CONNELLE, SANKARAN, 1997). Segundo Caldeira et al. (2007), outros fatores podem influenciar, tais como baixo nível de nutrientes na serrapilheira e no solo, condições desfavoráveis para a decomposição, como déficit de água no solo e na serrapilheira, pH alto ou baixo, baixa densidade da população de organismos decompositores, além da época de coleta, bem como da estação do ano.

Os sistemas de restauração florestal avaliados (REA e RED) possuem comportamento satisfatório no que tange à introdução de serrapilheira no sistema local, visto que sua presença melhora as condições do solo por minimizar o impacto das gotas de chuva, ameniza a temperatura do solo e, em sua decomposição, favorece os processos de ciclagem de nutrientes, promovendo, assim, uma melhoria da qualidade do solo.

Existe a possibilidade de que a serrapilheira esteja dificultando o processo de germinação e desenvolvimento das espécies vegetais nativas, especialmente na REA, conforme observado in locu, contudo a discussão desta problemática deve

levar em consideração outros fatores ecológicos como o banco de sementes, dentre outros.

4.5 Carbono orgânico total e Matéria orgânica

As Figuras 14 e 15 apresentam os valores obtidos nos sítios amostrais para os atributos carbono orgânico total e matéria orgânica do solo, os quais apresentaram diferença estatística apenas entre os usos do solo, não diferindo entre as profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm.

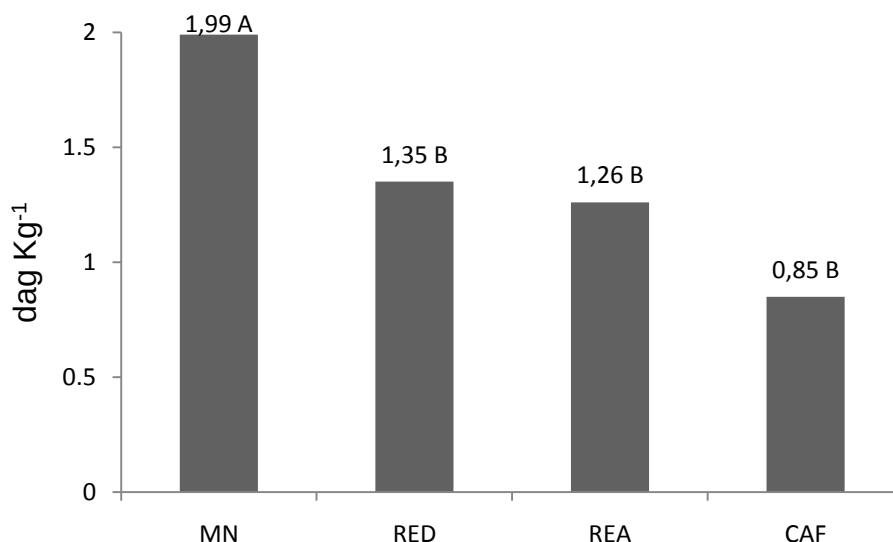


Figura 14: Médias do carbono orgânico total presente no solo dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A MN apresentou média de COT igual a 1,99 dg/kg, resultado que corrobora com Sattler (2006) em avaliação do atributo em floresta nativa, em Alegre – ES.

Os valores de MO encontrados para os sítios são considerados médios segundo Prezotti (2007), podendo proporcionar maior estabilidade de agregados, já que a decomposição desse material facilita a ligação entre partículas e promove maior absorção de água, resultando em menor disponibilidade de água para o processo erosivo (Oliveira et al., 2004).

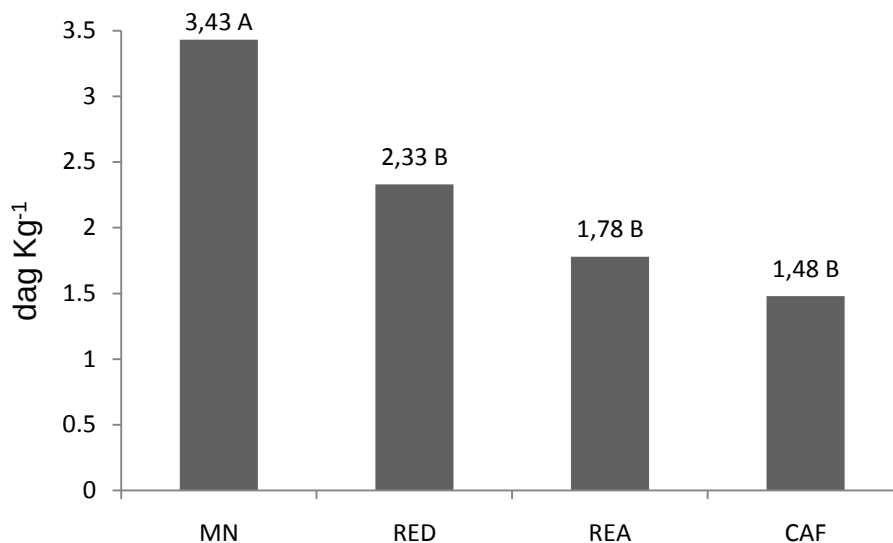


Figura 15: Médias da matéria orgânica do solo presente no solo dos sítios em estudo (MN - Mata nativa, RED - Restauração com espécies diversas, REA – Restauração com eucalipto e acácia e CAF – cafeeiro) no município de Alegre - ES.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ao comparar as áreas sob MN e CAF, observa-se diferença estatística entre ambos, corroborando com estudos realizados por Souza et al. (2004) e Albuquerque (2005), os quais atribuíram os maiores teores de carbono orgânico em áreas de floresta ao maior aporte de resíduos orgânicos. Para Carvalho et al. (1999) e Longo (1999), tal fato é associado também ao não revolvimento do solo, e a reduzida erosão hídrica nestes ambientes. Sanchez (1981) cita também a importância da natureza superficial das raízes da maioria dos vegetais como diferencial entre solos sob floresta e outros tipos de cobertura. Quanto à RED e à REA não diferirem estatisticamente do CAF, é resultado, tanto do manejo da cultura do café, como a inserção de matéria orgânica via adubação, quanto do pouco tempo de inserção dos reflorestamentos na área.

Insere-se aqui que para uma recuperação do solo, são necessárias intervenções visando recuperar o aporte de matéria orgânica, o que se consegue pelo revegetação da área, sendo esta, uma forma natural e lenta (SIQUEIRA et al., 2008). Com isso, espera-se com o decorrer da dinâmica do processo de restauração florestal, uma aproximação dos valores de RED e REA aos da MN, diferindo assim do CAF, caso não seja inserido nenhuma nova forma de manejo na área.

4.6 Avaliação geral dos atributos nos diferentes sítios

O solo da área em estudo apresentou elevada porosidade total, baixa massa específica do solo e altos valores de massa específica de partículas.

A mata nativa apresentou sempre as melhores médias para Ms, MO, COT, macroporosidade e PT, evidenciando a superioridade da qualidade do solo em ambientes florestais nativos. Indicando também, o potencial de ambientes naturais, com pouca ou nenhuma interferência antrópica, como áreas base de comparação para estudos diversos na Ciência do Solo.

De maneira geral, os dois sistemas de restauração florestal implantados na ARIELPG não diferiram estatisticamente quanto aos atributos avaliados neste trabalho (Ms, MO, COT, Macroporosidade, PT e serrapilheira), apesar da referida diferença estrutural nos projetos de restauração, quando implantados. Diferentemente do esperado, não houve diferença estatística com o uso do solo anterior ao projeto de restauração (Cafeeiro), devido ao manejo adotado e ao fato de os sistemas de restauração possuírem pouco tempo de implantação.

Espera-se, com o decorrer do tempo, um incremento na melhoria das condições físicas do solo nos sistemas de restauração florestal, principalmente, em função da contribuição da matéria orgânica do solo, quantitativa e qualitativamente, visando à busca pela restauração completa do ecossistema.

Segundo Vezzani et al. (2008) a matéria orgânica do solo é um fator determinante da qualidade do mesmo, pois as funções que ela exerce estão intimamente ligadas com as propriedades emergentes (físicas, químicas e biológicas) que promovem a qualidade do solo, ou seja, todo sistema de restauração florestal deve basear-se no aporte e decomposição da matéria orgânica. Evidenciando assim, que ambos os sistemas implantados (REA e RED) estão desempenhando seu papel fundamental, que é a restauração de um sistema florestal complexo, a partir da inserção da MO e de espécies distintas.

Quanto à serrapilheira, não foi observada distinção entre os valores de aporte de material orgânico sob as diferentes coberturas vegetais. Desta maneira, verifica-se que ambos os sistemas de restauração florestal, quanto aos atributos avaliados, apresentaram a mesma interferência sobre o sistema edáfico do local e sob a cobertura orgânica depositada ao solo, evidenciando uma equiparação dos sistemas, onde não ocorre uma ascendência de um sistema específico.

Sugere-se para complementação desta avaliação dos sistemas de restauração florestal implantados na ARIELPG, uma análise conjunta de atributos físicos (aqui realizados), químicos, biológicos e de parâmetros ecológicos (densidade, dominância, frequência, índice de valor de importância, índice de valor de cobertura, regeneração, dentre outros), a fim de se verificar por completo os efeitos das diferentes metodologias aplicadas de forma empírica no local.

5 CONCLUSÕES

De forma geral, os atributos tenderam a não apresentar diferença estatística entre as profundidades avaliadas.

O solo sob mata nativa apresentou as melhores médias para Ms, macroporosidade, PT, MO e COT, possuindo assim, qualidade de solo superior aos demais sítios.

Os atributos do solo sob REA e RED não diferiram estatisticamente (Ms, macroporosidade, PT, MO e COT), desta forma, apresentaram comportamento semelhante quanto à sua finalidade de restauração do sistema, iniciada pela inserção de matéria orgânica e cobertura do solo via serrapilheira e vegetação, reduzindo assim a degradação do solo.

As médias obtidas para a maioria dos atributos avaliados neste estudo (Ms, macroporosidade, PT, MO e COT), para o sítio sob uso do solo com cafeeiro, não diferiram estatisticamente das áreas sob processo de restauração florestal.

A serrapilheira acumulada mensurada para o período em estudo se apresentou semelhante para a MN, REA e RED.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008, 89 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

ALVARENGA, R.C. **Potencialidade de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. 1993. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S.. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.715-721, 2003.

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

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F. Inventário do carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 5, no 1, Jan/Jun 2003

BARBOSA, J. H. C. **Dinâmica da serrapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica Reserva Biológica de Poço das Antas – RJ**. 2000. 202p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2000.

BARBOSA, J.H.C. & FARIAS, S.M.. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, RJ, Brasil. **Rodriguésia**, nº 57 v.3, p. 461-476. 2006.

BARRETO, A., LIMA, F., FREIRE, M., ARAÚJO, Q., FREIRE, F. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga** (Mossoró,Brasil), v.19, n.4, p.415-425, 2006

BASTOS, R. S. MENDONÇA, E. S., ALVAREZ, V. H. CORRÊA, M. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, n.1, p.11-20. 2005

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRADY, N. C., WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**, 13.ed. New Jersey: Prentice Hall do Brasil, USA, 2002.

CALDEIRA, M. V. W., MARQUES, R., SOARES, R. V., BALBINOT, R. Quantificação de serrapilheira e de nutrientes - Floresta Ombrófila Mista Montana - Paraná. **Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, p. 101-116, 2007.

CAMARGO, A. O., SANTOS, G. A. de; GERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A.; BAGGIO, A. J. Arborização do cafezal com *Grevillea robusta* no norte do estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.38, p.1031-1037, 1995.

CARNEIRO, P.H.M. **Caracterização florística e estrutural da dinâmica da regeneração de espécies nativas em um povoamento comercial de *Eucalyptus grandis* em Itatinga-SP**. Piracicaba, 2002. 131p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

CARPANEZZI, A. A. **Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) na região metropolitana de Curitiba- PR**. 1997. 177 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1997.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n. 2, p.257-265, 1999.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Estado de São Paulo**. 2005. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

CARVALHO JUNIOR, I.A. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em Latossolo de textura média sob diferentes usos**. 1995. 83p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

CASTRO, F. S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinus no Estado do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2008.

CAVALIERI, K.M.V., TORMENA, C.A., VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.137-147, 2006.

CAMPANHARO, W.A. ; SPERANDIO, H.V. ; CECILIO, R.A. ; GUARIZ, H. R. ; HOLLANDA, M.P. ; DEL CARO, C. F. . Qualidade física do solo nas entrelinhas de

três diferentes plantios. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA / II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE AGROECOLOGIA, Curitiba/PR. **Anais ... VI CBA - II CLA**, 2009.

CORREIA, E. F., ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.S; CANELLAS, L.; CAMARGO, F. A. O (Org.) **Fundamentos da da matéria orgânica do solo-ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre. Metrópole, 2008.

COSTA, E.A., GOEDERT, W. J., SOUSA, D. M. J. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1185- 1191, 2006.

COSTA, F.S.DE.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.2, 2004.

CORTINES, E; MAGALHÃES, M. A. F.; MELO, A. L; VALCARCEL, R. Monitoramento da regeneração como forma de avaliar a auto-sustentabilidade da recuperação de ecossistemas perturbados e com exíguos atributos ambientais de Nova Iguaçu, RJ. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁREAS DEGRADADAS, 6. E CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. **Anais...** Curitiba: UFPR, p. 345 – 354. 2005.

CUNHA, G. C. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma Floresta Estacional do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1997.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M., SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular da soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, v.35, p.3-22, 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 81, p.155-162, 2000.

EFFGEN, E. M. **Avaliação de Atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Vermelho- Amarelo Distrófico sob Cultivo de Eucalipto e Pastagem no Sul do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, Alegre, 2008.

EFFGEN, T.A.M. **Atributos do Solo em Função de Tratos Culturais em Lavouras de Cafeeiro Conilon no Sul do Estado do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997.

FACELLI, J. M., PICKETT, S.T. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, v. 57. p. 1-32. 1991.

FERREIRA, M.M.; DIAS-JÚNIOR, M.S.; MESQUITA, M.G.B.F.; ALVES, E.A.B. **Física do solo**. Textos Acadêmicos. Lavras: Editora UFLA, 2003.

FONSECA, S. da; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; COSTA, L. M. da; LEAL, P. G. L.; NEVES, J. C. L. Alterações em um latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem (propriedades físicas e químicas). **Revista Árvore**. v.17, n.3, p.271-288, 2007.

FRANCO, A. A., CAMPELLO, E. F., SILVA, E. M. R., FARIA, S. M. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1992.

FRANCO, A. M. P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2006.

GONÇALVES, M. A. M. **Avaliação da serrapilheira em fragmento de floresta atlântica no sul do estado do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

GREGO, C.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GUARIZ, H.R. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do córrego Jaqueira, Alegre – ES**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B. et al. (Ed). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássia e o Fosfato, p.115-16, 1986.

HERRERA, R. et al. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciência**, v 3, p. 223-232. 1978.

JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.. **Escoamento de Nascentes Associado à Variabilidade Espacial de Atributos Físicos e Uso do Solo em uma Bacia Hidrográfica de Cabeceira do Rio Grande – Mg**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade federal de Lavras, Lavras, 2006.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B.; 2001; Recuperação áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed.; São Paulo: USP, FAPESP; pp. 249-269, 2001.

KAGEYAMA, P. & GANDARA, F.B. Restauração e conservação de ecossistemas tropicais. In: CULLEN Jr, L.; RUDRAN, R. & VALLADARES-PADUA, C. (Org) **Métodos em estudos em biologia da conservação & manejo da vida silvestre**. Curitiba: UFPR, Fundação o Boticário de Proteção a Natureza, p.383-394. 2003.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, v.170, p.287-295, 1995.

KELTING, D. L., BURGER, J. A., PATTERSON, S. C., AUST, W. M., MIWA, M., TRETTIN, C. C. Soil quality assessment in domesticated forests - a south pine example. **Forest Ecology & Management**, v.122, p.167-185, 1999.

KILLHAM, K. **Soil Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

KIEHL, JE. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo – planta – atmosfera**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1991.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition and Framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

LEITÃO-FILHO, H.F. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Campinas: Unesp - Unicamp, 1993. 92 p

LIMA, C.L.R., PILLON, C. P., LIMA, A. C. R. **Qualidade física do solo: indicadores quantitativos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 196). Disponível em <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_196.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2010.

LIMA, V. C. & LIMA, J. M. J. C. **Introdução á pedologia**. 1996. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br>>. Acesso em 10 jun. 2010

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.

LONGO, R. M. **Modificações nas propriedades do solo decorrentes da introdução de pastagens no cerrado (Goiânia-GO) e na floresta amazônica (Porto Velho - RO)**. 1999. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MALEUX, J. O controle dos desmatamentos dos recursos florestais tropicais: uso de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993. **Anais...**Curitiba, p. 254-259.1993.

MARTINS,S.V. 2001. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda fácil. 146p.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, v. 12, n. 3, p.211-220, 2006.

MIRANDA, J. **Caracterização de solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

MONSUETO, R. L., SILVEIRA, E. S., AFONSO, F.P. L. A., QUEIROZ, L. A. V.. Análise das propriedades físicas do solo com base para a compreensão do funcionamento hidrológico de uma encosta no município de Teresópolis, RJ. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal, RN. **Anais...** p. 146 – 152, 2007.

NEVES JUNIOR, A.F. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. 2005. 65p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica**. 2010. 50p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESK, D. V. S.;CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, L. **Recuperação do solo em povoamentos florestais em áreas de exploração de areia no município de Tremembé – SP**.2007. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Univesidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

OLIVEIRA, M. **Comportamento de características e propriedade físicas de um podzólico vermelho amarelo sob condições de pasto natural e cultivo na região de Lavras, Minas Gerais**. 1979. 136p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1979.

O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A. G. (Ed.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO. p. 443-480. 1997

PALM, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agrofororesty Systems**, v.30, p.105-124, 1995.

PASSOS, R. R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um latossolo vermelho sob duas coberturas vegetais**. 2000. 89f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PIETRZACKA, R. **Caracterização física e química de um argissolo em área de citricultura orgânica com diferentes manejos da cobertura vegetal do solo**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.

PROCTOR, J. Nutrient Cycling in primary and old secondary Rain Forests. **Applied Geography**, v. 7, p. 135-152, 1987.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória: SEEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação: Acidez e Calagem**. Piracicaba: Ceres. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 343, 1991.

REICHERT, J.M; REINERT D.J. BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBSCS, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole. 2004.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Apostila didática. UFSM, Santa Maria, 2006.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p 13-17, 2003.

RODRIGUES, R.R. & GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**, 3 ed. São Paulo: EDUSP, Fapesp, p.235- 248, 2004.

SAMPAIO, C. A. **Avaliação da Recuperação de Área Degradada por meio de Indicadores Ambientais Biológicos e Pedológicos na APE Mutuca, Nova Lima**. 2006. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SANTOS, J.D. **A influência de diferentes sistemas agrícolas nas propriedades físicas e químicas das camadas superficiais do solo – São José da Lapa/MG.**, 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SANTOS, V. D. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata tropical subcaducifolia dos planaltos do Paraná (Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo – Fênix/PR)**. 1989. 387 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.

SATTLER, M.A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

SENGIK, E. **Roteiros de Aulas Práticas – Solos e Adubação**. Curso de Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR. 2005.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61: p. 877- 883, 1997.

SIQUEIRA, et al. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.S; CANELLAS, L.; CAMARGO, F. A. O (Org.) **Fundamentos da da matéria orgânica do solo-ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre. Metrópole, 2008.

SOUZA, J.A. **Avaliação das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas (MG)**.1997. 104 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

SWAINE, M.D. & WHITMORE, T.C. On the definition of ecological groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, v.75, p.81-86, 1988.

TORMENA, Cássio Antonio et al . Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, 2002.

VIANI, R. A. G. **O uso da regeneração natural (Floresta Estacional Semidecidual e talhões de Eucalyptus) como estratégia de produção de mudas e resgate da diversidade vegetal na restauração florestal**. 2005. 185 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VELOSO, H.P. e GOES-FILHO, L. **Fitogeografia Brasileira: Classificação Fisionômica – Ecológica da Vegetação Neo Tropical – Projeto RADAMBRASIL**, Salvador: Série Vegetação, 85p, 1982.

VEZZANNI, F. M., CONCEIÇÃO, P.C., MELO, N. A., DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CANELLAS, L. P., CAMARGO, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 483-494. 2008.

ZIMBACH, C.R.L. **Formação dos solos**. Botucatu: Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas -Universidade Estadual Paulista, 2003.

APÊNDICE

Apêndice A

Tabela 2: Análise de variância dos atributos granulométricos (areia total, silte e argila), massa específica do solo (Ms) e massa específica de partículas, estudados nos sítios em Alegre – ES.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Areia	Silte	Argila	Ms	Mp
Profundidade	1	103305,30	66616,17	33081,21	4,37E-05	8,42E-03
Uso	3	28791,72	3526,18	9472,56	6,71E-02	4,95E-03
Prof x Uso	3	6137,87	12765,90	26782,63	3,98E-03	3,43E-03
Resíduo	16	20952,73	33436,46	26383,50	5,00E-03	4,09E-03

Tabela 3: Análise de variância dos atributos microporosidade (micro), macroporosidade (macro), porosidade total (PT), carbono orgânico total do solo (COT) e matéria orgânica do solo (MO), estudados nos sítios em Alegre – ES.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Micro	Macro	PT	COT	MO
Profundidade	1	4,68E-03	0,3644265	0,71	0,15	0,44
Uso	3	10,33	148,52	79,67	1,32	3,91
Prof x Uso	3	14,71	31,23	7,59	8,14E-02	0,24
Resíduo	16	3,86	11,22	6,20	0,1072904	0,32

Tabela 4: Análise de variância para a serrapilheira acumulada coletada no estudo em Alegre – ES.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Uso	2	5445,38
Resíduo	6	7040,18