



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

LEANDRO DALLA VALLE

**TÉCNICAS INTERVENCIONISTAS DE RECUPERAÇÃO
ECOLÓGICA EM ÁREAS FLORESTAIS E INFLUÊNCIA NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E ISOTÓPICAS DOS
SOLOS**



Bauru
2015

LEANDRO DALLA VALLE

**TÉCNICAS INTERVENCIONISTAS DE RECUPERAÇÃO
ECOLÓGICA EM ÁREAS FLORESTAIS E INFLUÊNCIA NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E ISOTÓPICAS DOS
SOLOS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva

Bauru
2015



Valle, Leandro Dalla.

Técnicas intervencionistas de recuperação ecológica em áreas florestais e influência nas características físicas, químicas e isotópicas dos solos / Leandro Dalla Valle, 2015

71 f. : il.

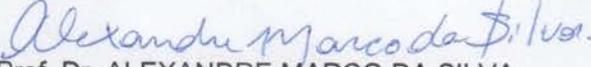
Orientador: Alexandre Marco da Silva

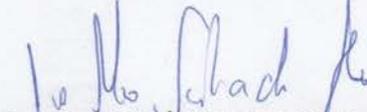
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015

1. Análise Ambiental. 2. Manejo Florestal. 3. Recuperação de Área Degradada. 4. Qualidade do Solo. 5. Solos Florestais. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LEANDRO DALLA VALLE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 10 dias do mês de agosto do ano de 2015, às 14:00 horas, no(a) Auditório do Câmpus Experimental de Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA do(a) Engenharia Ambiental/ Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de Sao Carlos, Prof. Dr. LUIZ FERNANDO CHARBEL do(a) Engenharia Ambiental/UNISO/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LEANDRO DALLA VALLE, intitulado "TÉCNICAS INTERVENCIONISTAS DE RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREAS FLORESTAIS E INFLUÊNCIA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E ISOTÓPICAS DOS SOLOS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA


Prof. Dr. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA


Prof. Dr. LUIZ FERNANDO CHARBEL

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus nosso grande Mestre Criador, sem dúvida este trabalho não seria possível sem a fonte de sabedoria infinita que nos incita a cada vez mais observar, pesquisar, estudar e atingir novos avanços científicos. Muito obrigado!

A meu pai Luiz Carlos e minha mãe Mariângela, meus maiores incentivadores e que se não fosse por eles eu não estaria vivo para desenvolver este estudo, entre outros que ainda virão. A meu irmão Daniel, melhor amigo, e parceiro para todas as horas, o qual posso contar sempre que precisar. Muito obrigado!

Meu Orientador, Professor e amigo Dr. Alexandre Marco da Silva, tive a honra e muito orgulho de tê-lo como meu orientador, pois além de um exímio orientador e pesquisador esteve sempre presente e disponível para conversar e incentivar a seguir em frente no desenvolvimento da pesquisa nas horas que mais precisei. Muito obrigado!

Aos Doutores que estiveram presentes na banca de qualificação e defesa, Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva, Prof^ª. Dr^ª. Debora Zumkeller Sabonaro e Prof. Dr. Luiz Fernando Charbel pelas preciosas indicações de correções que acrescentaram em muito na qualidade deste estudo. Muito obrigado!

A todos os meus amigos, mas principalmente às parceiras de estudo que participaram deste projeto e ajudaram muito nas idas a campo, coletas e análise de solos, Karen Regina Castelli e Mariana Gregório Barreto. Também estendo este agradecimento à minha amiga Rosiane Argenton e Silva que sempre que precisei estar em Sorocaba disponibilizou sua moradia com muito conforto, além das boas conversas e risadas. Muito obrigado!

Ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) – USP pela realização das análises isotópicas e em especial pela excelente recepção e atenção despendida pelo Prof. Dr. Marcelo Zacharias Moreira. Muito obrigado!

À Empresa Eucatex que disponibilizou a área de pesquisa em sua Fazenda Santa Terezinha no município de Bofete-SP, bem como recursos que foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo. Muito obrigado!

A todos meus Professores nas disciplinas do PPG em Eng. Civil e Ambiental na Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), principalmente à Prof^ª. Dr^ª. Ana Silvia Pacheco que sempre se mostrou entusiasmada com a pesquisa e sempre me incentivou. Muito obrigado!

TÍTULO: TÉCNICAS INTERVENIONISTAS DE RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREAS FLORESTAIS E INFLUÊNCIA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E ISOTÓPICAS DOS SOLOS

Candidato: Eng Florestal Leandro Dalla Valle.

Orientador: Prof Adj Alexandre Marco da Silva.

RESUMO - Solos submetidos a reflorestamentos comerciais de espécies arbóreas exóticas sofrem diversas alterações físicas e químicas, as quais começaram a serem vistas com maior importância por empresas e pesquisadores com vistas a avaliar, sobretudo, como técnicas de recuperação ambiental influenciam os indicadores do solo. A qualidade de solos foi aqui avaliada investigando-se atributos físicos, químicos e isotópicos do solo e da matéria orgânica do solo (MOS), em stands submetidos a três técnicas de recuperação de áreas degradadas: transposição de serapilheira (stand T), abandono de atividades de manejo florestal em talhão de eucalipto (stand E), estabelecimento de poleiros (stand P), além de um stand onde ocorre floresta estacional semidecidual (stand referência - R). Os quatro stands situam-se em uma fazenda no município de Bofete-SP. Em cada stand, amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades. Os atributos químicos estiveram fortemente relacionados ao pH do solo, o qual indicou acidez elevada em todas as camadas. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na camada superficial do solo foram menores para os stands R e E, indicando predominância de vegetação C_3 . Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foi menor em todo o perfil do solo somente no stand R, indicando resposta do solo à adubação química préterita. Quanto às concentrações de carbono (C) e nitrogênio (N), todas as áreas submetidas às intervenções apresentam concentrações menores que o stand R. Conclui-se que a ferramenta de análise de solos por isótopos de C e N foi importante para a avaliação da qualidade da MOS. Comparando com os dados obtidos na área de referência, o stand E apresentou os melhores indicadores. Como atividade complementar em projetos de restauração ambiental, encoraja-se a calagem e adubação fosfatada.

Palavras-chave: Análise Ambiental, Manejo Florestal, Recuperação de Área Degradada, Qualidade do Solo, Solos Florestais.

INTERVENTIONIST TECHNIQUES FOR ECOLOGICAL RECUPERATION IN FOREST STANDS AND INFLUENCE ON PHYSICAL, CHEMICAL AND ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF THE SOILS.

Candidate: Leandro Dalla Valle.

Advisor: Prof Adj Alexandre Marco da Silva.

ABSTRACT - Soils under commercial reforestation of exotic tree species suffer several physical-chemical changes, which has been seen as major importance by companies and researches, aiming evaluate how environmental recovery techniques influence the soil indicators. Thereby, the soil quality was assessed investigating the physical, chemical and isotopic soil attributes and the soil organic matter (SOM), in stands submitted to three environmental restoration techniques: soil litter transposition of adjacent areas (stand T), stopping of forest management activities (stand E), and perches (stand P), and also a stand where occurs semideciduous seasonal forest (stand reference - R). The four stands are located in a farm in Bofete city of São Paulo State. In each stand, soil samples were collected in five thicknesses. The samples were dried, sieved and delivered to laboratories for chemical and isotopic analyses. The chemical attributes were related to soil pH, which indicated high acidity in all layers. The $\delta^{13}\text{C}$ values in the superficial layer of the soil were smaller for the R and E stands, indicating predominance of C_3 vegetation. The values of $\delta^{15}\text{N}$ were smaller throughout the soil profile only in the R stand, pointing out response of the soil to former chemical fertilizations. The concentrations of both carbon (C) and nitrogen (N) in all “managed” stands were smaller than the R stand. In conclusion, analyzing the soil by mean of C and N isotopic signatures was an important tool to assess SOM quality. In comparison with data got from R stand, the E stand presented the best indicators. As a complementary activity in projects of environmental restoring, it is encouraged liming and phosphate fertilization.

Keywords: Environmental Analysis, Forestry Management, Degraded Areas Recovery, Soil Quality, Forestry Soils.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABELAS.....	III
1. INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Conceito de Solo.....	4
3.2. Indicadores de Qualidade de Solos.....	5
3.3. Matéria Orgânica do Solo: relação com a quantidade e qualidade de Carbono e Nitrogênio.....	9
3.3.1. Isótopos de Carbono (C) e Nitrogênio (N).....	9
3.3.2. Relação C/N e Estoque de C no solo.....	12
3.4. Recuperação ambiental e qualidade do solo.....	14
4. LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E HISTÓRICO DE USO DA ÁREA	16
4.1. Localização e caracterização ambiental da área.....	16
4.2. Histórico de uso das áreas de estudo.....	18
5. PROCEDIMENTOS	25
5.1. Coleta de amostras de solo para análise de fertilidade e demais informações em campo.....	25
5.2. Trabalhos realizados em laboratório.....	25
5.2.1. Tratamento das amostras.....	25
5.2.2. Determinação do conteúdo de C e N e da assinatura isotópica do C e do N em cada amostra.....	27
5.2.3. Determinação do estoque de C em cada área experimental.....	27
5.2.4. Análise dos dados.....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6.1. Análise espacial dos atributos físico-químicos da superfície do solo.....	29
6.2. Atributos químicos do solo no estrato 0 – 80 cm.....	33
6.3. Dinâmica do C e do N.....	43
6.3.1. Estatística descritiva com todos os dados.....	43
6.3.2. Análise comparativa entre os stands.....	44
6.4. Estatística multivariada.....	49
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Hierarquia das relações de qualidade do solo para a sustentabilidade agrícola, exemplo de avaliação da qualidade do solo.....	8
Figura 4.1. Localização da propriedade Santa Terezinha no município de Bofete-SP.....	16
Figura 4.2. Mapa da área da Fazenda Santa Terezinha. Destaca-se a localização dos stands. Em amarelo (superior esquerda) apresenta-se a imagem com o stand T. Em azul (superior direita) stand P. Em rosa (inferior esquerda) stand E. Em verde (inferior direita) o stand R.....	19
Figura 4.3. Fragmento florestal do stand R.....	21
Figura 4.4. Área onde foi aplicada a técnica de transposição de serapilheira (stand T).....	22
Figura 4.5. Área onde houve o abandono da silvicultura de eucalipto (stand E).....	23
Figura 4.6. Stand onde foi usada a técnica denominada poleiro (stand P).....	24
Figura 6.1. Representação gráfica das análises de Teor de matéria orgânica do solo (MOS), pH pelo método SMP, pH em CaCl ₂ , Fósforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca), para os stands T, E, R, P.....	34
Figura 6.2. Representação gráfica das análises de Magnésio (Mg), Sódio (Na), Alumínio (Al), Hidrogênio (H), Porcentagem de saturação por Alumínio ou Nível de Atividade da Argila (m%) e Acidez potencial (H + Al) para os stands T, E, R e P.....	36
Figura 6.3. Representação gráfica das análises de Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Porcentagem de Saturação por Bases (V%), Enxofre (S), Boro (B) e Cobre (Cu) stands T, E, R e P.....	38
Figura 6.4. Representação gráfica das análises de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Potássio na CTC (K na CTC), Cálcio na CTC (Ca na CTC) e Magnésio na CTC (Mg na CTC) para stands T, E, R e P.....	40

Figura 6.5. Representação gráfica das análises de Alumínio na CTC (Al na CTC), Hidrogênio na CTC (H na CTC), Sódio na CTC (Na na CTC), Relação Cálcio e Magnésio (Ca/Mg), Relação Cálcio e Potássio (Ca/K) e Relação Magnésio e Potássio (Mg/K) para os stands T, E, R e P.....**42**

Figura 6.6. Representação gráfica das análises de Carbono Orgânico Total (COT, em g/dm³), Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰), Concentração de N (em ‰), Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰), Concentração de C (em ‰) e Relação Carbono e Nitrogênio (C/N) para os stands T, E, R e P.....**45**

Figura 6.7. Diagrama resultante da análise de discriminante de Fisher.....**49**

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Classificação da leitura do pH do solo em água e em cloreto de cálcio conforme Tomé Jr (1997).....	9
Tabela 3.2. Isótopos de Carbono (C) e Nitrogênio (N) e seus respectivos pesos moleculares.....	10
Tabela 4.1. Dados ombrotérmicos do município de Bofete-SP.....	17
Tabela 5.2. Variáveis e respectivas metodologias de extração dos atributos químicos.....	26
Tabela 6.1. Média e coeficiente de variação (CV, em %) para os atributos físico-químicos do solo (camada 0 – 20 cm) nos quatro stands.....	30
Tabela 6.2. Estatística descritiva para os dados de C e N para a camada superficial considerando a base de dados dos quatro tratamentos juntos.....	43
Tabela 6.3. Valores dos atributos qualitativos e quantitativos nos diferentes tratamentos.....	44

1. INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA.

Existem ao longo do planeta extensas áreas destinadas a florestas plantadas com múltiplas funções, sendo uma delas a extração de matéria-prima para a indústria de papel e celulose. No plantio de espécies arbóreas exóticas, denominado reflorestamento comercial, há uma série de ações de manejo visando à otimização da produção florestal (adubação do solo, controle do sub-bosque, desrama das árvores, desbastes). Algumas destas ações de manejo sabidamente alteram as características físicas e químicas do solo que está sendo explorado.

Por outro lado, em fazendas onde o reflorestamento comercial ocorre, algumas áreas podem ocasionalmente ser submetidas a sistemas de manejo visando à recuperação ou mesmo restauração ecológica. No entanto, muito pouco se sabe como é o processo de recuperação do solo nas áreas submetidas às ações de recuperação. Isto é devido ao fato de que estudos que analisam o desempenho do solo sob tais circunstâncias ainda são bastante raros.

Ainda não se sabe ao certo o desempenho de um solo após sofrer intervenções por técnicas de restauração de áreas degradadas. Pode-se dizer, que existem poucos trabalhos abordando o assunto e quando se aborda esta problemática mais a fundo envolvendo indicadores de qualidade dos solos, análises sobre concentração e qualidade de Carbono (C) e Nitrogênio (N) há uma quantidade ainda menor de trabalhos (por exemplo, Posada & Schuur, 2011; Qiao et al., 2014).

Fontes de C em ecossistemas têm sido analisadas através da variação da relação isotópica entre o isótopo leve (^{12}C) e o isótopo pesado (^{13}C), ou seja: $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, chamada de relação $\delta^{13}\text{C}$. Esse método é baseado na existência da mudança da composição isotópica do C da matéria orgânica do solo (MOS), quando a vegetação nativa é constituída predominantemente por plantas de metabolismo C_3 por plantas de metabolismo C_4 (FERNANDEZ et al., 2007).

Da mesma forma, por meio de análises de solo, a relação entre os isótopos leve (^{14}N) e (^{15}N) do Nitrogênio, ou $\delta^{15}\text{N}$, também pode ser analisada. Exemplificando, Boeckx et al. (2005), investigaram a relação isotópica de N em florestas temperadas para mostrar sua importância como indicador de qualidade ecossistêmica e avaliar a resiliência de ecossistemas frente a distúrbios. Uma das conclusões do estudo foi que existia a necessidade de mais informações sobre os perfis de solo e comportamento do N para confirmar a hipótese levantada.

Isto demonstra que este tipo de estudo é importante para contribuir no avanço de conhecimento sobre assuntos ligados a recuperação de ambientes degradados e principalmente por estar voltada a solos e a concentração de isótopos de C e N como uma das formas de avaliação, pois solos são base para o desenvolvimento de grande parte dos ecossistemas e pouco se sabe sobre o comportamento frente a processos de restauração.

Parte-se aqui da hipótese de que atividades de restauração que visam restaurar ecologicamente uma área florestal afetarão, mesmo que indiretamente e involuntariamente, a qualidade do solo dos stands que receberam os tratamentos.

2. OBJETIVOS.

2.1. Geral.

Comparar a qualidade do solo e da sua respectiva matéria orgânica, através da análise de algumas variáveis físicas, químicas e isotópicas, especialmente aquelas ligadas ao carbono e nitrogênio, de quatro stands, sendo três sites submetidos a diferentes técnicas de manejo visando à restauração ecológica e o último de um stand com floresta natural remanescente, considerada como referência para comparação dos dados.

2.2. Específicos.

- Caracterizar quimicamente os solos da área de estudo para permitir a comparação entre os stands.
- Analisar a assinatura isotópica do carbono e do nitrogênio da matéria orgânica do solo de cada stand;
- Determinar o estoque de carbono na camada superficial (0-20 cm) de cada stand;
- Avaliar a variação dos atributos químicos em perfis de 0 a 80 centímetros de cada stand.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

3.1. Conceito de Solo.

Conceitos e origens de alguns conceitos chave em pedologia, podem ser separados em vetores dinâmicos: fluxos de energia e de massa (transferência de calor, água, gases e sólidos), frequência de eventos que umedecem e secam o solo (precipitação), organismos (plantas e animais), pedoperturbação (terremotos); bem como vetores passivos: material de origem (textura, composição química), ambiente químico do solo (pH, composição catiônica), lençóis freáticos permanentemente baixos (oxidação e efeito de crista), estabilidade de superfícies geomorfológicas (encostas, taludes) (JOHNSON et al., 1990).

Solos podem ser entendidos como recursos chave na produção de alimentos, rações, fibras e combustíveis, e são papel central na determinação da qualidade do meio ambiente. Os nutrientes do solo e água, energia solar, e o dióxido de carbono (CO₂) são convertidos através da absorção pelas plantas e fotossintetizados em produtos para as mesmas, que por sua vez alimentam animais, seres humanos e os fornecem fibras e combustíveis (PALM et al., 2007).

Assim, todos os solos são poligenéticos, pois o ambiente do solo muda constantemente e os solos preservam, em suas morfologias e propriedades, alguns atributos impressos por vários agentes em adição ao clima. Logo, solo é material orgânico ou lítico na superfície de planetas e corpos similares alterados por agentes biológico, químicos ou físicos (JOHNSON et al., 1990).

O solo, que é base para os serviços ecossistêmicos é principalmente determinado por três propriedades principais: textura, mineralogia e matéria orgânica (PALM et al., 2007). Estes processos e serviços ecossistêmicos incluem o fornecimento de nutrientes e água, regulação dos ciclos biogeoquímicos (ciclagem de nutrientes), regulação do ciclo da água (escoamento e erosão), biorremediação de poluentes, supressão de doenças e pragas provenientes do solo, e suporte físico para as plantas. Muitos desses serviços estão inter-relacionados e podem ser avaliados por indicadores de qualidade (DAILY et al., 1997).

3.2. Indicadores de Qualidade de Solos.

O termo qualidade implica valor/julgamento (grau de excelência). Portanto, qualidade do solo envolve alguma medida de suas propriedades ou funções do solo (boas/ruins, altas/baixas, entre outras). A classificação de um dado e informações sobre solo é uma necessidade básica do ser humano, sendo o conceito de “capacidade do solo” (‘bom’ ou ‘ruim’ para um propósito específico) muito antigo e necessário (CARTER et al., 1997).

Qualidade do solo se refere à capacidade de um solo sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal. Práticas de manejo do solo influenciam a qualidade do solo em vários graus, e essa influência pode ser positiva ou negativa (WIENHOLD et al., 2005).

Desta forma, várias propriedades do solo podem servir como indicadores de qualidade do solo, seja para produção e sustentabilidade de culturas agrícolas, pastagens, solos florestais, bem como para a manutenção de ecossistemas em restauração (SCHOENHOLTZ et al., 2000; LI et al., 2013). A produção de culturas agrícolas e a saúde de ecossistemas são fortemente afetadas pela qualidade física, química e biológica do solo (CARTER et al., 1997).

Dentre os atributos físicos, a densidade do solo é de grande importância, pois indica quanto um solo está compactado e, devido a esta compactação, o grau de porosidade ali existente. Os poros são locais onde há a ocorrência de gases (entre eles o O₂, útil para as raízes) ou água. A densidade do solo é um indicador de compactação de solo e reflete a capacidade do solo servir como suporte estrutural, percolação de água e solutos, e aeração do solo (USDA, 2008). Assim a densidade do solo é um atributo sujeito a alteração em conformidade com sua cobertura e mudança no uso e manejo do solo (SILVA et al., 2009; SILVA, 2012 e SOBRAL et al., 2015).

A densidade do solo constitui a relação entre massa e o volume (Equação 3.1) de uma amostra geralmente coletada por meio de um anel metálico, de forma que ela permaneça indeformada em relação às condições existentes no momento da coleta.

$$\text{Densidade do solo} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad \text{Equação (3.1)}$$

Onde: densidade do solo (g.cm⁻³), massa da amostra indeformada e seca (g), volume de solo indeformado (cm³).

Além de ser uma informação útil por si própria, o valor da densidade do solo é também útil para estimativas, por exemplo, da porosidade e do estoque de Carbono (GUO & GIFFORD, 2002).

Alguns atributos químicos relacionam-se e dependem um do outro para apresentarem resultados, é o caso da Soma de Bases (SB) que é dada pela Somatória dos Cátions Trocáveis no solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) e, a partir da SB é possível obter a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), somando-se a SB com a Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e finalmente a Porcentagem de Saturação por Bases (V%), através da divisão da SB pela CTC (RAIJ et al., 2001).

Apresenta-se também como atributo utilizado na avaliação de análises de solo a porcentagem de saturação por Alumínio ou nível de atividade da argila (m%), que expressa em porcentagem o quanto da CTC efetiva está ocupada pela acidez trocável ou Al^{3+} trocável. Desta forma, quanto mais ácido for o solo, maior o teor de alumínio trocável, maior a porcentagem de saturação por Al^{3+} , menores os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e, conseqüentemente, menor a soma de bases trocáveis (RAIJ et al., 2001).

A Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) está diretamente relacionada com a capacidade de troca catiônica (CTC) e a soma de bases (SB). Estas definem através do método de neutralização do Alumínio (Al) a necessidade de calagem, com ou sem o acréscimo de cálcio (Ca) ou magnésio (Mg) (KAMINSKI et al., 2007).

Particularmente o sistema radicular é afetado pelos atributos físicos, a disponibilidade de nutrientes pelos atributos químicos e biológicos. Este último, principalmente relacionado a ciclagem de matéria orgânica do solo (MOS), carbono (C) e nitrogênio (N) (TOPP et al., 1997; HEIL & SPOSITO, 1997; GREGORICH et al., 1997).

Assim, os solos possuem propriedades inerentes que determinam seus graus diferenciados a vulnerabilidades a impactos ambientais, diferentes capacidades de uso e resiliência, que geralmente influenciam todo o perfil do solo (entre 0 e 2 m de profundidade), e por isso não é possível usar somente um indicador de qualidade de solo para descrever todos os seus recursos e usos.

A qualidade dos solos não é estática ao longo do tempo e é perceptível principalmente na superfície do solo (até 20 ou 30 cm). Ela descreve o estado ou condição de um solo específico devido ao relativo recente uso da terra ou decisões de manejo (KARLEN et al., 2003).

A evolução do conceito de qualidade do solo a partir da sustentabilidade agrícola pode ser pensada de forma hierárquica até englobar as questões de avaliação da qualidade de solo através dos seus indicadores apresentado na Figura 3.1 adaptada de Karlen et al. (2003) *apud* Silva (2012), sendo um exemplo específico abordado neste estudo a avaliação da qualidade dos solos através de isótopos estáveis de carbono (C) e Nitrogênio (N).

Uma das conclusões de Karlen et al. (2003) no citado estudo é que os solos têm propriedades inerentes, bem como processos e dinâmicas que a avaliação da qualidade do solo, as quais devem refletir suas propriedades biológicas, químicas e físicas, assim como os processos e suas interações. A Figura 3.1 também exemplifica um indicador de qualidade de solos através das análises de solo por isótopos estáveis, este por sua vez aborda propriedades químicas e físicas, o tópico será explicado detalhadamente no item 3.3.1.

Schoenholtz et al. (2000) concluíram que os indicadores de qualidade do solo para sistemas florestais podem ser complexos e variar. Porém comumente devem incluir propriedades como: teor de MOS, capacidade de fornecimento de nutrientes, acidez, densidade, porosidade e capacidade de retenção de água.

O pH medido pelo método SMP (Shoemaker, Mac Lean e Pratt) consiste na diluição do solo numa solução tamponada que é alterada em função da acidez potencial do solo (TOMÉ Jr., 1997). Nos resultados da análise do solo, o índice SMP indica a quantidade de calcário para elevar o pH do solo a valores de 5,5 ou 6,0 ou 6,5. Por sua vez o pH do solo determinado em Cloreto de Cálcio (CaCl_2) apresenta valores menores que àqueles medidos em água. Desta forma, comparando-se os valores em água pelo método CaCl_2 , os valores podem apresentar até um ponto de diferença como pode ser observado na Tabela 3.1.

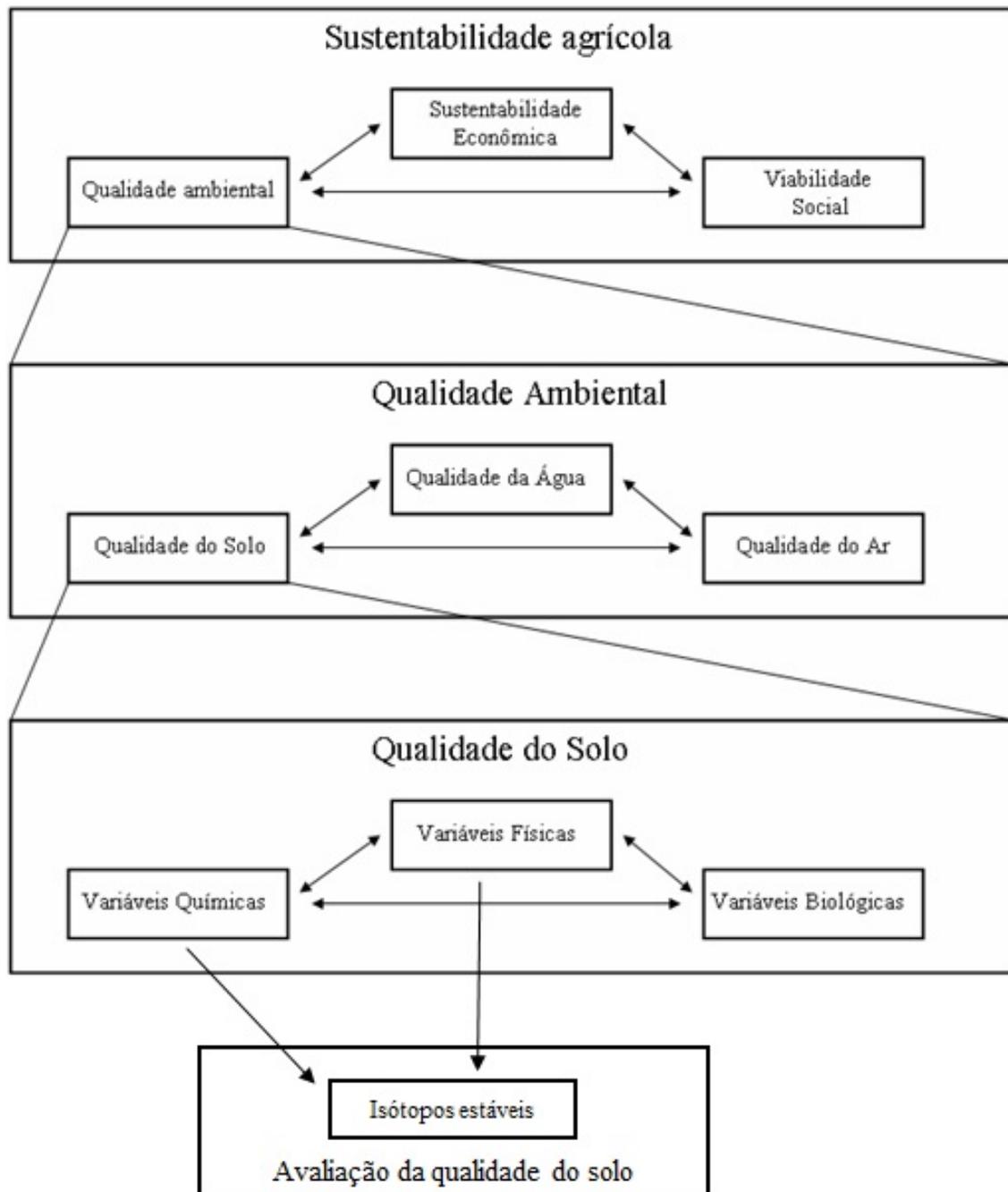


Figura 3.1. Hierarquia das relações de qualidade do solo para a sustentabilidade agrícola, exemplo de avaliação da qualidade do solo. **Fonte:** Karlen et al., (2003) *apud* (SILVA, 2012) - modificado.

Em estudo comparativo entre plantios florestais e florestas secundárias, Li et al., (2005) concluíram que o C do solo em florestas secundárias era mais estável e, portanto, poderia ser acumulado por um período mais longo. Entretanto, a MOS sozinha não constitui informação suficiente para uma avaliação complexa e multifuncional do solo. Portanto, outras propriedades do solo precisam ser incluídas, como por exemplo,

componentes bióticos do solo, biomassa microbiana, C mediado microbiana e transformação de nutrientes (YANG et al., 2013).

Tabela 3.1. Classificação da leitura do pH do solo em água e em cloreto de cálcio.

Classificação	pH água	Classificação	pH CaCl ₂
Acidez elevada	≤ 5,0	Acidez muito alta	≤ 4,3
Acidez média	5,0 – 5,9	Acidez alta	4,4 – 5,0
Acidez fraca	6,0 – 6,9	Acidez média	5,1 – 5,5
Neutro	7,0	Acidez baixa	5,6 – 6,0
Alcalinidade fraca	7,1 – 7,8	Acidez muito baixa	6,1 – 7,0
Alcalinidade elevada	≥ 7,8	Neutro	7,0
		Alcalino	≥ 7,0

Fonte: Tomé Jr (1997).

3.3. Matéria Orgânica do Solo: relação com a quantidade e qualidade de Carbono e Nitrogênio.

Atualmente, o conceito de matéria orgânica do solo (MOS) é o produto não vivo, gerado da decomposição de órgãos de plantas e animais (MANLAY et al., 2007). A quantidade e qualidade da MOS são, sobretudo, influenciadas pelas entradas de resíduos animais e, principalmente, vegetais no ecossistema.

O C é o principal componente de todos os compostos orgânicos. Isto inclui a celulose nas paredes celulares, carboidratos e lipídeos. Por sua vez o N também constitui um componente essencial da MOS, pois é necessário para a síntese de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, hormônios, dentre vários outros compostos cruciais ao desenvolvimento das plantas (SILVA, 2012).

3.3.1. Isótopos de Carbono (C) e Nitrogênio (N).

Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico, porém com pesos moleculares diferentes, são variantes de um elemento químico particular. Desta forma, os isótopos de um elemento químico têm o mesmo número de prótons e diferenciam-se pelo número de nêutrons, alterando seu peso molecular, como por exemplo, o C e o N (BUDZIKIEWICZ & GRIGSBY, 2006) (Tabela 3.3).

Tabela 3.2. Isótopos de Carbono (C) e Nitrogênio (N) e seus respectivos pesos moleculares.

Elemento	Prótons	Nêutrons	Peso Molecular	Isótopo correspondente
Carbono (C)	6	6	12	¹² C
Carbono (C)	6	7	13	¹³ C
Carbono (C)	6	8	14	¹⁴ C
Nitrogênio (N)	7	7	14	¹⁴ N
Nitrogênio (N)	7	8	15	¹⁵ N

A análise de isótopos estáveis constitui um método de estudo útil para aumentar o entendimento dos ciclos dos elementos em ecossistemas. A maioria dos estudos em ecologia expressa a composição isotópica em termos de valores de δ (delta) em partes por milhar (‰) em comparação a um padrão:

$$\delta X = \left[\left(\frac{R_{amostra}}{R_{padrão}} \right) - 1 \right] \cdot 10^3 \quad \text{Equação (3.2)}$$

Onde: X é o isótopo de maior peso (¹³C ou ¹⁵N) e R corresponde a relação do isótopo de maior peso sobre o de menor peso (¹³C/¹²C ou ¹⁵N/¹⁴N) (PETERSON & FRY, 1987).

O fracionamento isotópico com isótopos estáveis registra dois tipos de informações: onde as reações físicas e químicas fracionam os isótopos estáveis, as distribuições isotópicas resultantes refletem as condições de reação (processo de informação) e também registram informações sobre a origem das amostras (fonte da informação) (PETERSON & FRY, 1987).

Desta forma, os isótopos estáveis podem ser usados para diversas finalidades. Por exemplo, estudos relacionados à fisiologia dos vegetais, a discriminação do isótopo de C na fotossíntese (FARQUHAR et al., 1989), processos do ciclo do C em florestas e pastagens (EHLERINGER et al., 2002), valores de $\delta^{13}\text{C}$ em diferentes tipos de plantas C₄ (HATTERSLEY, 1982), categorias de fracionamento ¹³C/¹²C para plantas superiores (SMITH & EPSTEIN, 1971); ciclos biogeoquímicos do C e N, como por exemplo, o estudo do passado presente e futuro dos ciclos do N (GALLOWAY et al., 2004).

Isótopos estáveis aplicam-se também a traçamento de dietas em animais e humanos, por exemplo, a reconstrução da dieta do homem africano através do uso de colágeno do osso (AMBROSE & DENIRO, 1986), aproveitamento do C em lagartos da savana amazônica (MAGNUSSON et al., 2001), e as fontes de C na posição trófica dos principais peixes da planície do rio Paraná (MANETTA et al., 2003); à adulteração de alimentos, como por exemplo, a composição isotópica de vinhos para detecção de adição de açúcar, demonstrando de onde vem o C que consumimos da produção de bebidas, comprovando a adição de açúcar de cana em alguns vinhos, o que constitui uma prática bastante inadequada (OLIVEIRA et al., 2002; MARTINELLI et al., 2003).

Entre as aplicações já citadas, com o maior destaque justificado pelo objetivo deste estudo, está o uso dos isótopos de C e N na análise de solos, podendo ser aplicado para determinar a contribuição relativa de cada um dos tipos de plantas (C_3 e C_4). Por exemplo, na composição da MOS. Estudos desse tipo são interessantes em sistemas onde, por exemplo, foi retirada uma floresta e implantado outro ecossistema (MARTINELLI et al., 2009).

Fox & Papanicolaou (2007) utilizaram isótopos estáveis de C e N para investigar a variabilidade temporal e espacial dos processos de erosão dentro de uma sub-bacia hidrográfica. Silva et al. (2009) estudaram no município de Sorocaba os estoques de C e a composição isotópica da MOS em solos cobertos por vegetação nativa comparado com um solo coberto por pastagem, e posteriormente as análises dos efeitos da mudança no uso da terra decorrentes da urbanização com ênfase na quantidade e qualidade do C e do N em uma micro bacia urbanizada (SILVA, 2012).

Desta forma, nestes estudos, quando abordado o termo qualidade da MOS, se diz respeito à verificação da composição isotópica do C e do N pelo seu fracionamento. O fracionamento do C no solo se difere através das plantas de ciclo fotossintético, que absorvem CO_2 com C de pesos moleculares diferentes (^{12}C e ^{13}C), conseqüentemente apresentam valores diferentes e “marcam” o solo com a MOS valores negativos.

As análises feitas em solo predominantemente ocupados por plantas de ciclo fotossintético C_3 (florestas - “vegetais superiores” – “folhas largas”) apresentam valores de $\delta^{13}C$ entre -36‰ a -23‰, já os solos com plantas de ciclo C_4 (Poaceae – “gramíneas” - “folhas estreitas”) variam entre -18‰ e -10‰ (SILVA, 2012). Estes valores para carbono são baseados em um valor padrão que para estudos isotópicos foram determinados através de uma rocha calcária dolomítica (belemitela) da formação Pee Dee (Carolina do Sul - EUA) que apresenta uma relação $^{13}C/^{12}C$ muito baixa

(0,0112), e por isso os valores das análises apresentam-se negativos (FARQUHAR et al., 1989; SOBRAL, 2015).

Em termos de forças que determinam a qualidade do N, o processo de deposição de N via precipitação atmosférica é de muito alta relevância, pois a maior parte do N encontra-se na atmosfera e cerca de 99,6% é ^{14}N , o restante é o “isótopo pesado” ^{15}N . Desta forma, considera-se o valor de abundância isotópica do N atmosférico = 0‰ e este é o padrão usado para estudos de isótopos (ROBINSON, 2001). Como consequência, as análises com isótopos de N enriquecidas com ^{15}N apresentam valores positivos.

Estudos com isótopos de N vêm mostrando que solos em sistemas mais abertos, ou seja, que sofrem impactos diretos e indiretos por ações antrópicas, apresentam valores positivos, enriquecidos em ^{15}N , consequentemente apresentando valores $\delta^{15}\text{N}$ mais positivos ($\delta^{15}\text{N} > 0\text{‰}$). Logo, ambientes menos impactados apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais negativos ($\delta^{15}\text{N} < 0\text{‰}$) (COOK, 2001; ROBINSON, 2001; VERVAET et al., 2002; GALLOWAY et al., 2004; BOECKX et al., 2005; COMPTON et al., 2007; TEMPLER et al., 2012).

A MOS é um acumulador de N no ecossistema terrestre, sendo o N estocado rapidamente na MOS. Em questão de horas a dias, ao ser introduzido ao solo em formas minerais reativas, o N é incorporado nas moléculas orgânicas do solo (TEMPLER et al., 2012). Além disso, este N estocado na MOS é estável. O ^{15}N mineral adicionado ao solo como “marcador” tem subsequentemente sido recuperado por ser recalcitrante baseado nas suas propriedades físicas; permanece na MOS por pelo menos um ano após inicialmente incorporado; e apresenta um limitado potencial à lixiviação e remineralização (LEWIS et al., 2014).

Esta rápida estabilização do N na MOS é um importante processo, pois pode explicar porque os ecossistemas acumulam N mesmo quando não há aumento no estoque de N armazenado de forma biológica, como florestas, biomassa microbiana (DISE & WRIGHT, 1995; GOODALE et al., 2000; ZOGG et al., 2000; CORRE et al., 2007 *apud* LEWIS et al., 2014).

3.3.2. Relação C/N e estoque de C no solo.

A relação entre as concentrações de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo é um indicador de qualidade que vem sendo usada desde longa data em estudos agrônômicos

e/ou ambientais. O valor obtido nesta relação matemática constitui um resultado que geralmente explica os padrões de alocação de C e também dos padrões de imobilização e mineralização do N (YAMAKURA & SAHUNALU, 1990).

Dependendo do valor da relação C/N do material adicionado (folha, flores, galhos ou mesmo tecidos animais em alguns casos), pode ocorrer um esgotamento temporário de nitrogênio (N) no solo. À medida que o C é liberado, na forma de CO₂, a concentração relativa de N no material é aumentada, o que resulta na redução da sua relação C/N. De maneira bem generalizada, esta relação controla o balanço entre os processos de imobilização, que é o estado em que o elemento “x” fica retido no tecido vegetal morto e não está disponível ainda à rizosfera e a mineralização, que é a conversão de um elemento sob a forma orgânica para o estado inorgânico, em função do resultado de decomposição microbiana (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

Por sua vez, o estoque de C no solo refere-se à quantidade de C no solo que está principalmente alocado na MOS. A quantidade de MOS geralmente é maior no horizonte superficial e possui um padrão de diminuição exponencial conforme o solo vai se aprofundando (PRIMAVESI, 1987).

Guo & Gifford (2002) analisaram informações de 74 publicações de trabalhos com estoque de C no solo através da mudança no uso da terra (pastagens, plantios, colheitas e florestas) e identificaram que o estoque de C no solo pode aumentar ou diminuir significativamente entre 8% a 53%, ou seja, alterando significativamente a MOS.

Como uma parte importante da MOS é formada por material orgânico vindo da vegetação que se localiza acima da superfície do solo, nota-se que, usualmente, quanto mais densa e maior a quantidade de biomassa viva sobre o solo, maior é a deposição de resíduos vegetais no solo e materiais orgânicos vão sendo paulatinamente incorporados ao solo. Então isto alterará a quantidade de MOS.

Além da quantidade de resíduo vegetal depositado, se o solo for revolvido, a MOS também poderá ser alterada quantitativamente. Deste modo, uma das maiores preocupações atuais é entender os mecanismos de estoque de MOS e, conseqüentemente de C, conforme o tipo, intensidade e histórico de manejo do solo de uma determinada região (BODDEY et al., 2006 *in* SILVA, 2012).

3.4. Recuperação ambiental e qualidade do solo.

Ainda são escassos os trabalhos que relacionam recuperação ambiental em áreas utilizadas para silvicultura e maior parte dos trabalhos relacionados à recuperação de áreas utilizadas na silvicultura de eucalipto prevê duas formas distintas de ação: a primeira sendo a retirada do eucalipto após o desenvolvimento da vegetação do seu entorno e a segunda o abandono de áreas onde outrora seria realizada a exploração silvícola (GEORGE et al., 1993; LAGE-PINTO et al., 2012; GAINSBURY & COLLI, 2014 e CASTELLI et al., 2015).

Menor ainda é a quantidade de estudos que aparece quando se considera a comparação de qualidade de solos. Por exemplo, Gasch et al. (2014) verificaram que no processo de recuperação, alguns atributos mostram-se mais rapidamente recuperáveis (como o conteúdo de C no solo), enquanto outros (como o restabelecimento da comunidade microbológica), podem levar décadas para um restabelecimento satisfatório.

Resultados de um estudo a respeito do gradiente de regeneração de vegetação de sub-bosques em florestas de eucaliptos adjacentes a fragmentos de cerrado e de florestas semidecíduas, mostrou que a densidade total de todas as espécies de sub-bosque diminuiu linearmente da área de cerrado para a área de floresta, o que pode indicar que as espécies de cerrado estão mais adaptadas aos solos pobres e ácidos apresentados naquele estudo e então mais prováveis a colonizar do que as espécies de florestas semidecíduas (DODONOV et al., 2014).

Além da técnica de abandono que acontece mais comumente em áreas de florestas comerciais ou áreas agrícolas, existem também as técnicas nucleadoras de recuperação de áreas degradadas, que consistem principalmente em proporcionar diversidade na colonização e desenvolvimento inicial da recuperação de um ecossistema (REIS et al., 2010). Desta forma, alguns exemplos de atividades que se encaixam como técnicas de nucleação são: poleiros artificiais ou naturais como atrativos para avifauna e morcegos; transposição de solo, banco de sementes ou serapilheira; e plantio de núcleos de diversidade de espécies (CORBIN & HOLL, 2012).

A recuperação de solos eventualmente exauridos por atividades de reflorestamento deveria ter como objetivo a recuperação de algumas funcionalidades que o solo exerce quando coberto com vegetação nativa. Melhoraria nos padrões de estoque e infiltração de água na coluna do solo e incremento da quantidade de carbono

estocado estão entre algumas das importantes funções exercidas pelo solo. Porém ele depende de, sobretudo, de condições de proteção da superfície, receber constantemente material orgânico, ser perfurado em diferentes níveis e profundidades. Todas estas condições são geralmente feitas com eficiência pela comunidade vegetal presente no local e, em alguns casos com a meso e micro-fauna associadas (SCHOENHOLTZ et al., 2000 e BAKUS & COLE, 2015).

Até recentemente, poucos estudos tentaram diferenciar os efeitos dos fatores ambientais daqueles advindos da presença de vegetação de sub-bosque. Alguns por exemplo têm sido focados em agroecossistemas e poucos se sabem sobre as condições que beneficiariam solos florestais através de gradientes ambientais característicos de região (JOSE et al., 2000 e QIAO et al., 2014).

4. LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E HISTÓRICO DE USO DA ÁREA.

4.1. Localização e caracterização ambiental da área.

A área do presente estudo se localiza na Fazenda Santa Terezinha no município de Bofete (Figura 4.1), distanciando-se aproximadamente 10 km do centro do município e faz parte da sub-bacia do Rio do Peixe, Bacia do Paraná e encontra-se na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) do Tietê-Sorocaba, também conhecida como UGRHI 10 (MOSCA, 2003). O município de Bofete está situado no centro do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 23°3' de latitude Sul e 48°9' de longitude Oeste (www.ibge.gov.br).

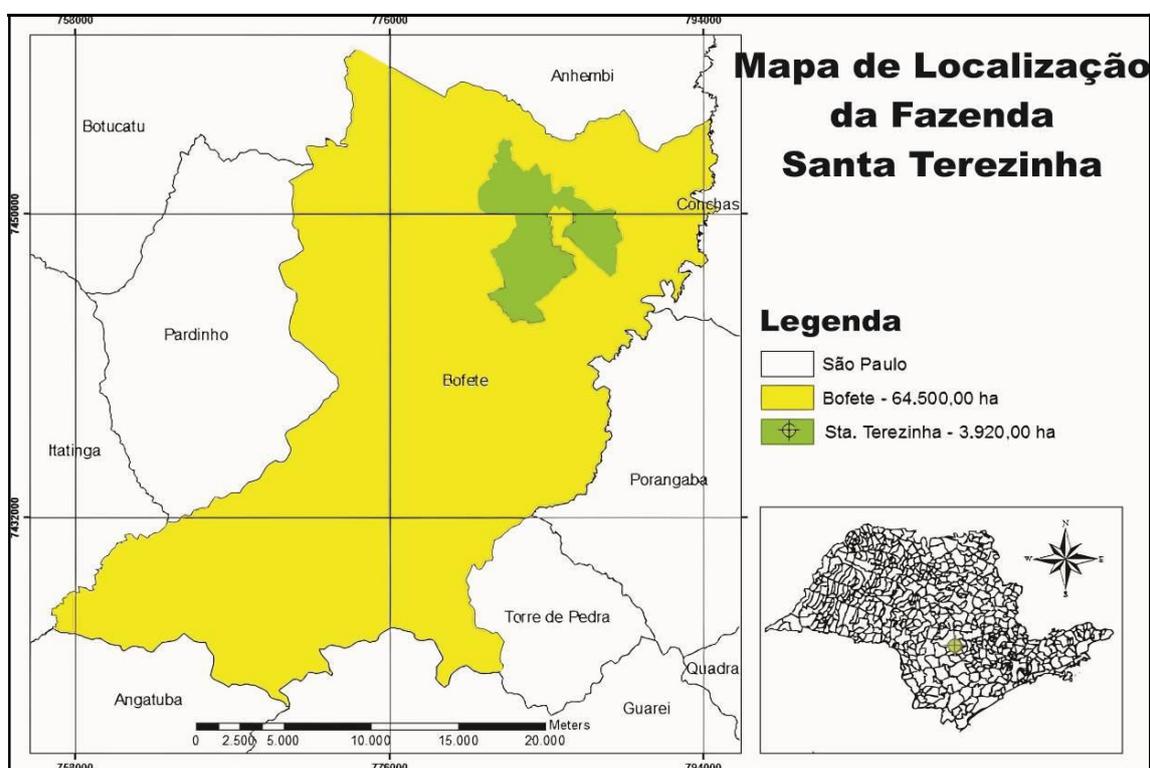


Figura 4.1. Localização da propriedade Santa Terezinha no município de Bofete-SP. **Fonte:** Programa de Diagnostico Ambiental das Áreas de Reserva Legal e Preservação Permanente Fazenda Santa Terezinha, Eucatex (2011) in Castelli (2014).

O município de Bofete é caracterizado por clima subtropical de altitude com chuvas de verão e verões rigorosos, temperatura média entre 19°C e 27°C e pluviosidade média inferior a 2.000 mm.ano⁻¹, sendo classificado por Köppen como clima do tipo Cwa (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Dados ombrotérmicos do município de Bofete-SP.

Mês	Temperatura do ar (°C)			Chuva (mm)
	Média das mínimas	Média das máximas	Média geral	
JAN	18,7	30,0	24,3	247,0
FEV	18,9	30,1	24,5	207,0
MAR	18,1	29,7	23,9	163,6
ABR	15,4	27,8	21,6	70,9
MAI	12,7	25,8	19,2	92,0
JUN	11,2	24,6	17,9	57,9
JUL	10,6	24,8	17,7	41,0
AGO	11,9	26,8	19,4	41,3
SET	13,9	27,7	20,8	82,7
OUT	15,6	28,4	22,0	125,9
NOV	16,6	29,1	22,8	140,2
DEZ	17,9	29,2	23,6	221,1
Ano	15,1	27,8	21,5	1490,6
Mín	10,6	24,6	17,7	41,0
Max	18,9	30,1	24,5	247,0

Fonte: CEPAGRI – UNICAMP - <http://www.cepagri.unicamp.br>. Dados disponíveis somente para o período de 1961 a 1990.

O mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981) classifica o embasamento geológico da área em estudo como pertencente à Formação Pirambóia, litologicamente caracterizada por uma sucessão de camadas arenosas, com predominância de cores avermelhadas (MOSCA, 2003). A constituição geológica regional, do local onde se encontra a propriedade situa-se na transição das Cuestas Arenítico-Basálticas e a Depressão Periférica Paulista (ROSS & MOROZ, 1996).

Quanto aos aspectos geomorfológicos é caracterizada por um material cuja constituição contém arenitos, argilitos, siltitos, basaltos e diabásios, sendo comum a ocorrência de espessos depósitos e intemperismo modernos resultantes do retrabalhamento desses materiais.

Os solos são predominantemente de texturas média e arenosa. São classificados majoritariamente em Latossolo Vermelho-Amarelo ou Neossolo Quartzarênico nas áreas de relevo suave ondulado e Argissolos Vermelho-Amarelo e Vermelho em menores proporções, ocupando as formas onduladas do relevo (PESSOTTI, 1998 *in* CASTELLI, 2014). Desta forma os solos das áreas em estudo apresentam-se com textura média de 5% de argila, 3% de silte e 92% de areia (CASTELLI, 2014).

A maior parte da área da Fazenda Santa Terezinha está sob domínio de solos com baixos teores de nutrientes essenciais, considerando-se o aspecto químico e as exigências nutricionais do eucalipto, apontando a necessidade de adubação nas diversas fases do ciclo silvicultural (MOSCA, 2003).

A vegetação em Bofete ocorre em uma condição ecotonal, onde a matriz é floresta Estacional Semidecidual com ocorrência de elementos de floresta Ombrófila Densa e Mista e Cerrado Senso Lato (ALBUQUERQUE & RODRIGUES, 2000).

A maioria dos fragmentos de vegetação nativa que possuem nascentes e cursos d'água na fazenda Santa Terezinha estão interligados, sendo um bom indicador de qualidade para estes ambientes circunvizinhos pela silvicultura de eucalipto. Estes fragmentos interligados através de corredores ecológicos são de extrema importância para a manutenção da diversidade biológica na microbacia (MOSCA, 2003).

4.2. Histórico de uso das áreas de estudo.

As áreas em estudo podem ser caracterizadas historicamente e de uma forma geral como áreas voltadas à silvicultura de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). As plantações foram sempre destinadas majoritariamente à indústria madeireira (chapas processadas), sendo desenvolvidas atividades silviculturais desde a década de 70. Porém, as áreas anteriormente eram áreas predominantemente voltadas para a cafeicultura.

Dois dos três sites onde foram aplicadas as técnicas de recuperação de área degradada (RAD) receberam os últimos manejos silviculturais tradicionais (preparos de solo, plantios, adubações, controle de pragas, desbastes e colheita) na década de 90, ou seja, fazem em média 20 anos que estas áreas não sofrem intervenções de cunho silvicultural (comunicação pessoal¹). Apenas o stand denominado “Eucalipto abandonado” foi plantado no ano de 2001, porém cessaram-se os manejos silviculturais juntamente com a implantação das técnicas de RAD nos outros stands (Figura 4.2). As técnicas de RAD foram implementadas em junho de 2006 com o intuito de aumentar as áreas de florestas naturais da fazenda objetivando a obtenção da certificação internacional FSC (*Forest Stewardship Council* – www.fsc.org) (CASTELLI et al., 2015).

¹ Informação obtida através de contato pessoal com o funcionário da Empresa Eucatex responsável pela área de P&D, Administrador Marcos Sandro Felipe.

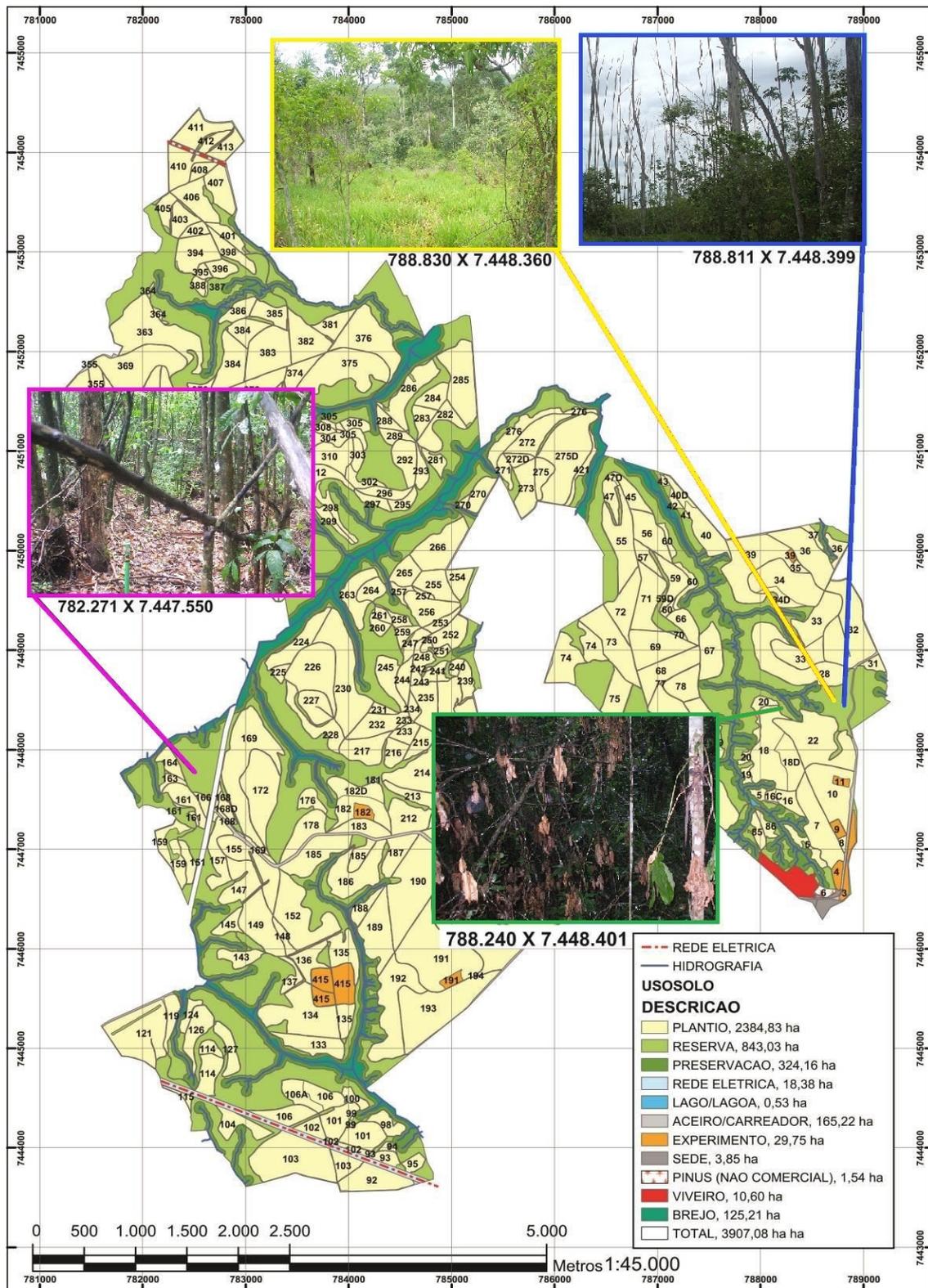


Figura 4.2. Mapa da área da Fazenda Santa Terezinha. Destaca-se a localização dos stands. Em amarelo (superior esquerda) apresenta-se a imagem com o stand T. Em azul (superior direita) stand P. Em rosa (inferior esquerda) stand E. Em verde (inferior direita) o stand R. **Fonte:** Eucatex (2011) adaptado de Castelli (2014) (inserção de fotos do autor).

Para isto foi separado aproximadamente 1 hectare de área dentro de cada site para que fossem implementadas as técnicas de recuperação de áreas degradadas. A espécie de Eucalipto que foi cultivada nestes sites é conhecida popularmente por Eucalipto de cheiro ou Eucalipto cheiroso (*Corymbia citriodora* (Hill & Johnson)) a qual atualmente não é mais apropriada e indicada como espécie ideal para processos ou mesmo para produção de polpa celulósica e vem sendo paulatinamente substituída por outras espécies e clones.

Ainda segundo informações pessoais obtidas junto ao técnico da empresa, na época, o preparo de solo das áreas foi realizado de forma mecanizada. Utilizou-se calcário dolomítico (PRNT 81% - 91%) para a calagem superficial; para a subsolagem fertilizante enriquecido em Fósforo (P) (N-P-K 06-30-06 + 0,6% Cu + 0,9% Zn) e complementado com Cobre (Cu) e Zinco (Zn). As duas adubações pós-plantio foram realizadas de forma semi-mecanizada, priorizando fertilização enriquecida em Nitrogênio (N) e Potássio (K) (N-P-K 20-00-20 + 5% S + 0,3% B) complementado com Enxofre (S) e Boro (B).

Posteriormente a terceira adubação de cobertura foi feita de forma manual também, priorizando N e K (N-P-K 14-00-28 + 4% S + 0,5% B) também complementado com S e B. A quarta e última adubação também priorizando N e K (N-P-K 15-05-15 + 5% S + 0,3% B + 0,7% Cu) complementada com S, B e Cu. Ainda para finalizar é feita nova calagem, chamada de calagem de monitoramento, também conduzida de forma mecanizada com calcário dolomítico (PRNT 81% - 91%).

O stand referência (R) (Figura 4.3) constitui um fragmento do Bioma Mata Atlântica Floresta Estacional Semidecidual que antigamente sofreu impactos e hoje se encontra em processo de regeneração natural, fazendo parte da reserva legal da fazenda e tem sido usado como área de conservação e educação ambiental. Desta forma, os dados de solos coletados nesta área foram utilizados para comparar a condição ambiental e performance dos solos nos outros três stands.



Figura 4.3. Fragmento florestal do stand R. **Fonte:** Valle, L. D. (Dez/2013).

O stand denominado Transposição (stand T) era normalmente ocupado pela silvicultura de eucalipto, porém antes da aplicação da técnica de RAD foi realizada a colheita dos eucaliptos localizados nesta área, deixando a área completamente limpa. Por ser uma das áreas mais antigas de plantio da empresa, a madeira desta área foi destinada a serraria por serem indivíduos mais velhos e de maior porte.

O stand T tem o nome de transposição devido à técnica de recuperação que foi aplicada no stand. A transposição de serapilheira, também conhecida como banco de sementes, a qual consiste em transpor o solo/serapilheira florestal de um fragmento ou mata próximo para a área em estudo. Esta técnica tem como principal função ser aporte para introdução de indivíduos colonizadores que estavam em estado latente em um fragmento florestal e concentração de MOS para uma área de interesse de restauração (CORBIN & HOLL, 2012).

Desta forma após o desbaste dos indivíduos de eucalipto, foram transportados e espalhados uniformemente na superfície do solo, 114 quilogramas de serapilheira seca

coletadas dos fragmentos florestais adjacentes. A transposição foi realizada durante o inverno, ou seja, na estação seca e então mais nenhuma intervenção foi realizada no site.



Figura 4.4. Área onde foi aplicada a técnica de transposição de serapilheira (stand T).
Fonte: Valle, L. D. (Dez/2013).

O stand denominado “Eucalipto abandonado” (stand E) (Figura 4.5) também era parte da área de cultivo de Eucaliptos na fazenda e foi abandonado com o intuito de fazer com que as árvores já adultas de eucalipto atuassem formando uma primeira colonização, esboçando um dossel florestal pioneiro, sombreando e permitindo a formação de sub-bosque com espécies nativas de colonização secundária consequentemente controlando a mato-competição principalmente através da propagação do capim braquiária (*Brachiaria decumbens*).

Neste stand, diferente das outras áreas, os eucaliptos foram plantados no ano de 2001, porém semelhante aos outros stands as atividades de manejo florestal cessaram em 2006 para que fossem implantadas as técnicas de RAD. Desta forma o sub-bosque que havia se desenvolvido neste stand e que porventura teria sido manejado para o melhor desenvolvimento da silvicultura foi mantido.



Figura 4.5. Área onde houve o abandono da silvicultura de eucalipto (stand E). **Fonte:** Valle, L. D. (Dez/2013).

Por fim o stand denominado poleiro (stand P) (Figura 4.6) também era parte da área de cultivo na fazenda, porém ali os indivíduos de eucalipto foram mortos em pé através de inoculação de herbicida. O objetivo desta ação de manejo é proporcionar locais de pouso para aves, morcegos e outros animais potencialmente dispersores de sementes que consequentemente trazem propágulos para a área em questão (BOANARES & AZEVEDO, 2014.). Neste stand as árvores de Eucalipto apresentam altura média de 18 metros dispostas em espaçamento de 6 m² por indivíduo (3 x 2 m).



Figura 4.6. Stand onde foi usada a técnica denominada poleiro (stand P). **Fonte:** Valle, L. D. (Dez/2013).

5. PROCEDIMENTOS

5.1. Coleta de amostras de solo para análise de fertilidade e demais informações em campo

A etapa de coleta de amostras de solo para efetuar todas as análises descritas posteriormente foi realizada de forma aleatória dentro dos respectivos tratamentos, priorizando onde tinha-se a certeza de que não era área sujeita a pisoteio (trilha, rua de terra), isto para preservar a porosidade original do solo.

Desta forma foram coletadas um total de 32 amostras, sendo 8 em cada stand. Detalhadamente, em cada stand foram coletadas 5 amostras em profundidade de 0-20 cm, e também outras 3 de 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm respectivamente, perfazendo um perfil 0-80 cm para cada stand, inclusive a referência.

As amostras superficiais foram coletadas com um anel volumétrico metálico para manter a condição indeformada (USDA, 2008). As amostras coletadas em profundidade foram coletadas utilizando-se um trado do tipo caneco.

5.2. Trabalhos realizados em laboratório.

5.2.1. Tratamento das amostras.

Após coletadas, as amostras foram embaladas com filmes plásticos, etiquetadas e transportadas ao laboratório do grupo de pesquisas denominado “Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas” (NATEL) da UNESP – Sorocaba. Todas as amostras foram submetidas ao processo de secagem em estufa a 60°C. Posteriormente estas foram então destorroadas e passadas em peneira de 2 mm. Então, uma parte da fração que passou pela peneira foi enviada para o Instituto Brasileiro de Análises Físicas, Químicas e Biológicas (IBRA - <http://www.ibra.com.br>) para análises químicas seguindo procedimentos metodológicos descritos em RAIJ et al. (2001).

As variáveis quantificadas neste laboratório foram: Matéria Orgânica, pH (SMP e CaCl₂), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio trocáveis (Mg), sódio (Na), alumínio (Al), íon hidrogênio (H), nível da atividade da argila (m%), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn)

(procedimentos descritos por van Raij et al., (1987) e Camargo et al., (1986), ambos citados por Ruggiero et al., 2002) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Variáveis e respectivas metodologias de extração dos atributos químicos.

Variável	Método	Unidade
Matéria Orgânica	Oxidação	g.dm^{-3}
pH	SMP	-
	CaCl_2	-
Fósforo (P)	Resina	mg.dm^{-3}
Potássio (K^+) - Trocável	Mehlich	mmolc.dm^{-3}
Cálcio (Ca^{2+}) - Trocável	Mehlich	mmolc.dm^{-3}
Magnésio (Mg^{2+}) - Trocável	Mehlich	mmolc.dm^{-3}
Sódio (Na^+)	Mehlich	mmolc.dm^{-3}
Alumínio (Al^{3+})	KCl	mmolc.dm^{-3}
Hidrogênio (H^+)	KCl	mmolc.dm^{-3}
Atividade da argila (m)	$= (100 \times \text{Al}^3) / t = (100 \times \text{Al}^3) / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+}$	%
Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$)	KCl	mmolc.dm^{-3}
Soma de Bases (SB)	$= \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$	mmolc.dm^{-3}
Capacidade de Troca de Cátions (CTC)	$= \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$	mmolc.dm^{-3}
Saturação de Bases (V)	$= \text{SB} / \text{CTC}$	%
Enxofre (S)	Fosfato de Cálcio $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	mg.dm^{-3}
Boro (B)	Água Quente	mg.dm^{-3}
Cobre (Cu)	DTPA	mg.dm^{-3}
Ferro (Fe)	DTPA	mg.dm^{-3}
Manganês (Mn)	DTPA	mg.dm^{-3}
Zinco (Zn)	DTPA	mg.dm^{-3}

Fonte: Raij et al. (2001).

A outra parte de cada amostra foi passada novamente em uma peneira, desta vez 0,35mm, e a fração que passou foi transportada ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA – USP, <http://www.cena.usp.br/pt/laboratório-dveco/ecologia-isotópica>) para análise dos teores de C e N feita por espectrometria de massa após queima da amostra em meio oxidante num equipamento analisador Carlo Erba 1110.

5.2.2. Determinação do conteúdo de C e N e da assinatura isotópica do C e do N em cada amostra.

No Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA – USP efetuou-se a quantificação do conteúdo de C e N, ambos em porcentagem, bem como da assinatura isotópica destes elementos. Além do conteúdo de C e de N na amostra, o analisador fornece o valor do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ diretamente, utilizando o algoritmo que corresponde à Equação (3.2).

Como o grau de pedregosidade no solo foi bastante baixo (desprezível em todas as amostras) não foi necessário efetuar correção conforme o grau de pedregosidade ocorrente no solo.

5.2.3. Determinação do estoque de C em cada área experimental.

Usando dados de densidade do solo e também de conteúdo de C, foi estimado o estoque de C em cada stand, através da seguinte equação:

$$\text{Est C} = D_s * C * t \quad (5.1)$$

Onde: Est C = estoque de C em Mega-gramas por hectare para a camada entre 0 e 20 cm de espessura do solo; D_s = densidade do solo (g/cm^3), C = conteúdo de C na amostra (g/kg), t = espessura do solo considerada = 20 cm.

Dados sobre densidade do solo foram obtidos de Barreto (2013), a qual analisou atributos físicos e propriedades mecânicas dos solos das mesmas áreas de estudo, sendo que as amostras foram coletadas na mesma época do presente trabalho.

Complementarmente, os valores de estoque de C para os stands “tratamentos” foram corrigidos conforme metodologia citada em Ellert e Bettany (1995) e Sobral et al. (2015) para permitir comparações.

5.2.4. Análise dos dados.

Uma vez de posse de todos os dados, estes foram organizados em planilhas digitais e submetidos à análise de estatística descritiva, análise inferencial e análise multivariada, além de geração de gráficos, quando pertinente. Os softwares utilizados nesta etapa do trabalho foram o Excel e o Bioestat (AYRES et al., 2007).

Especificamente, na análise multivariada foi aplicada a Análise Discriminante de Fisher. Esta é uma técnica de Análise Multivariada que determina a separação de grupos de indivíduos conforme os valores das variáveis que foram selecionadas. Na Análise Discriminante pode-se obter, entre outros produtos, um diagrama que identifica os grupos e permite a visualização das separações e aproximações grupais (AYRES et al., 2007).

6. RESULTADOS e DISCUSSÕES

6.1. Análise espacial dos atributos físico-químicos da superfície do solo.

Comparativamente, considerando as amostras obtidas na parte superficial do solo, cada tratamento apresentou diferentes valores quando comparado com o stand R e conforme a variável em questão. Alguns apresentaram valores similares ou até melhores e outros ainda longe de uma similaridade (Tabela 6.1).

As variáveis que compõem a soma de bases (SB) dos stands P, T e E, apresentaram valores mais altos que o stand R, talvez sendo ainda reflexo de adubações pretéritas. Ainda é possível observar no stand E (que recebeu adubações mais recentes no ano de 2001) um valor de SB ainda maior. Contudo, para a variável CTC, o stand R e o stand P apresentaram as maiores médias, influenciados pelo valor do alumínio trocável. Como resposta pode-se observar a saturação de bases (V%) que foi menor nos stands R e P indicando solos distróficos (V inferior a 50%).

O stand T apresentou valor médio de MOS superior ao do stand R. A marcante presença do capim braquiária é a causa que provavelmente melhor explica o fato, suportado também pelos dados de isótopos de C e N, discutidos a seguir.

Quanto à densidade do solo (Ds), as médias para todos os stands apresentaram-se muito próximas, não havendo assim influência em outras variáveis aqui discutidas. Porém são valores considerados médio a baixo, considerando-se que a Ds ideal para o desenvolvimento radicular das plantas que é de até $1,80 \text{ g.cm}^{-3}$ em solos arenosos.

Solos arenosos com valores de Ds acima de $1,80 \text{ g.cm}^{-3}$ restringem o crescimento radicular das plantas, podem ser um obstáculo e dificultar o sucesso da recuperação ecológica (USDA, 2008). Ainda que grande parte dos manejos silviculturais envolvam trânsito de maquinários pesados que podem alterar significativamente a Ds, todos os três tratamentos demonstraram potencial de recuperação para esta variável.

Os valores de pH (SMP) e pH (CaCl_2) mostraram-se através das médias com aproximadamente dois pontos de diferença entre stands semelhantes. Segundo Tomé Jr. (1997) a análise de acidez do solo entre os métodos pH em água e em cloreto de sódio podem apresentar diferenças de até 1 ponto em solos com acidez elevada. Os valores para todos os tratamentos corroboram com a literatura, apresentando diferenças muito

próximas a 1 ponto entre os dois métodos de análise. Além disto, observa-se que a metodologia SMP e CaCl_2 apresentam diferenças de 2 pontos.

Tabela 6.1. Média e coeficiente de variação (CV, em %) para os atributos físico-químicos do solo (camada 0 – 20 cm) nos quatro stands.

Tratamentos ⇒ Atributos ↓↓	Referência (R)		Abandono (E)		Transposição (T)		Poleiro (P)	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
Densidade do solo (g.cm^{-3})	1,23	10,7	1,24	8,9	1,20	19,1	1,23	18,6
Matéria Orgânica g.dm^{-3}	22,0	27,6	14,0	14,3	22,8	26,9	16,4	9,2
pH (SMP)	5,9	3,4	7,0	1,6	6,8	1,7	6,0	2,8
pH (CaCl_2)	3,9	3,8	4,9	5,5	5,0	4,6	4,1	3,0
pH (H_2O)*	4,4	**	5,9	**	6,2	**	5,0	**
P (Resina) mg.dm^{-3}	6,4	28,4	5,6	32,4	6,2	21,0	4,8	17,4
K-trocável mmolc.dm^{-3}	1,0	28,5	1,5	27,0	1,8	34,0	1,1	51,4
Ca - Trocável mmolc.dm^{-3}	4,8	30,9	11,2	32,4	10,2	28,1	5,4	24,8
Mg -Trocável mmolc.dm^{-3}	1,6	34,2	4,6	24,8	4,4	25,9	3,6	31,7
Na mmolc.dm^{-3}	0,1	63,9	0,1	91,3	0,0	223,6	0,1	0,0
Al^{3+} (KCl) mmolc.dm^{-3}	15,4	23,7	1,4	81,4	2,2	81,3	16,4	32,4
H mmolc.dm^{-3}	34,0	20,7	13,6	13,4	16,2	10,1	25,2	10,6
Saturação por ácidos (m) %	67,0	12,7	8,5	93,3	12,8	91,8	60,5	20,9
H + Al^{3+} mmolc.dm^{-3}	49,4	20,2	15,0	10,5	18,4	13,6	41,6	17,0
SB mmolc.dm^{-3}	7,6	30,4	17,4	27,8	16,4	23,6	10,2	23,8
CTC mmolc.dm^{-3}	57,0	19,6	32,4	15,3	34,8	7,3	51,8	11,3
Saturação de bases (V) %	13,4	24,0	53,0	14,2	46,8	19,6	20,4	30,5
S mg.dm^{-3}	20,0	46,9	22,4	26,9	21,2	25,7	20,2	20,8
B mg.dm^{-3}	0,4	70,6	0,5	49,5	0,3	18,6	0,6	43,6
Cu mg.dm^{-3}	0,6	20,4	0,3	26,1	0,6	13,5	1,2	14,6
Fe mg.dm^{-3}	241,6	39,6	26,2	21,0	35,8	20,1	53,6	18,1
Mn mg.dm^{-3}	37,8	52,4	34,1	23,8	28,7	19,5	31,1	13,0
Zn mg.dm^{-3}	1,2	18,9	0,9	22,1	0,9	16,1	0,6	16,7

* Dados extraídos de Barreto (2013), ** valores não disponibilizados.

Assim, segundo a classificação sugerida por Tomé Jr. (1997) (vide Tabela 3.1) para os valores do pH (CaCl_2) os stands R e P apresentaram-se com acidez muito alta e os stands E e T com acidez alta, mesmo sabendo-se que nos stands T, E e P ocorreram correções da acidez do solo através de calagem. Porém, a alteração destes valores pode ser explicada pela deposição da serapilheira produzida pela floresta, que em seu

processo de decomposição produz compostos orgânicos mais ácidos (LILIENFEIN et al., 2000).

A acidez do solo está diretamente relacionada com o Al^{3+} e logo também se relaciona com H^+ , m , $H^+ + Al^{3+}$, CTC e V. Isto pode ser notado em todos os stands, comparando-se os pH's da AR e o tratamento P que apresentam acidez mais elevada, ambos apresentam valores mais elevados dos respectivos atributos citados e conseqüentemente são solos distróficos (V% abaixo de 50). Seguindo as devidas proporções, isto também acontece com os stands E e T, sendo que o único stand classificado como solo eutrófico é o E (V= 53,0%).

A acidez do solo também influencia a disponibilidade de alguns nutrientes. Solos com pH muito baixos apresentam baixos teores de Ca, Mg e K, toxidez por alumínio trocável (Al^{3+}) e toxidez por Fe e Mn (RAIJ et al., 2001). Todas estas características podem ser notadas na Tabela 6.1. Por exemplo, os valores de Mn para todos os stands estão muito acima do padrão de disponibilidade nas classes de interpretação de análises de solo (considerado valor alto acima de 12 mg.dm^{-3}).

Outra característica marcante que pode ser atrelada a elevada acidez em todos os stands observadas na Tabela 6.1 é a deficiência de Fósforo (considerados baixos valores entre $6,1 - 12,0 \text{ mg.dm}^{-3}$), explicado pela facilidade de adsorção do fósforo aos íons Fe^{3+} e Al^{3+} (observa-se altas concentrações de Ferro e Alumínio nos stands R e P).

Além disto, ainda existe uma característica inerente aos solos da região. Estes solos em sua maioria são pobres em Fósforo (inorgânico) disponível às plantas, especialmente os Latossolos que apresentam elevados teores de óxidos de Fe e Al em sua constituição mineralógica (BIZUTI, 2011).

A concentração de fósforo nos stands R e T que se apresentam mais elevadas estão diretamente relacionadas com a MOS que também foi mais elevada nos mesmos, pois cerca de 50% do fósforo total da maioria dos solos é representado em forma de compostos orgânicos, sendo, portanto, a MOS considerada uma potencial fonte de fósforo (ANDERSON, 1980 *apud* BIZUTI, 2011).

Os elementos P e N são essenciais durante o processo sucessional de uma floresta, o P principalmente nos estágios iniciais de sucessão, pois é necessário para o desenvolvimento radicular das plantas, sendo limitante nas etapas finais da sucessão secundária, contrariamente ocorrendo com o N (GOLLEY et al., 1978). Pelos modelos empregados nesta cronosequência, durante a sucessão há uma mudança no balanço dos nutrientes no ecossistema, à medida que a vegetação vai se desenvolvendo, a economia

de N é transferida para a economia de P nas fases finais da sucessão, sendo uma característica típica de uma floresta tropical madura (BIZUTTI, 2011).

O pH do solo é diretamente relacionado com a toxidez por alumínio (Al^{3+}) e este, de forma contrária, aos teores de Ca, Mg e K. Assim observado, os stands R e P são os que apresentam maiores concentrações de Al^{3+} (toxidez por alumínio) e consequentemente menores concentrações de Ca, Mg e K.

Quanto ao Ca, observa-se que o stand E apresenta a maior quantidade, reafirmando a questão de a calagem ter sido executada mais recente em comparação aos outros dois stands (T e P). Somado a isto, o valor do Mg obtido para o stand E também é o mais alto, pois o calcário dolomítico utilizado na correção de solo das áreas é rico em Mg. Acredita-se que estes atributos sejam importantes, pois influenciam diretamente no pH do solo, sendo que elevada acidez no solo afeta negativamente a disponibilidade de diversos atributos e elementos essenciais para o sucesso da colonização de novos indivíduos em áreas de restauração.

As florestas tropicais são pobres em termos de fertilidade do solo (VILLELA et al., 2006) (observado nos dados da Tabela 6.1), isto é compreensível quando analisamos somente o solo em si sem a participação da serapilheira e da MOS, que presta um serviço ecológico fundamental através da ciclagem e disponibilidade de nutrientes para a floresta e para a sucessão destes ambientes. Deste modo os processos sucessionais em florestas não são afetados pois são ambientes já adaptados a baixas quantidades de nutrientes e alta acidez por exemplo.

A manutenção da MOS faz um papel fundamental, sendo requisito essencial para que os solos desempenhem suas funções (BALIERO et al., 2008). Como corrobora a literatura, a quantidade de MOS do stand R proporciona a disponibilidade de nutrientes necessárias para que este ecossistema se auto-sustente. O stand T apresenta uma quantidade ainda maior de MOS, porém como já foi observado, a qualidade da MOS é diferente proveniente de gramíneas e ainda será discutido. O stand E apresenta a menor quantidade de MOS, o que pode ser resultado de um processo de decomposição mais agressivo e também consumos dos nutrientes pelos indivíduos vegetais que estão se estabelecendo nesta área.

Assim observado, em termos de análise dos atributos químicos e fertilidade do solo na faixa de 0 - 20 cm, comparando todos os tratamentos com o stand R, todos apresentam condições de recuperação, porém o que apresenta melhores condições de suporte para o sucesso da recuperação florestal é o stand E, sendo o único tratamento

com solo eutrófico (V acima de 50%), certamente resultante da correção de solo feita no plantio desta área em 2001, apresentando também maiores valores de Ca e Mg.

Esta informação vai de encontro com resultados obtidos em levantamento florístico realizado na mesma área, sendo que dentre os 4 stands a técnica de abandono dos eucaliptos foi a que apresentou maior diversidade de espécies e maior índice de similaridade com a área de referência (CASTELLI, 2015). Provavelmente o solo desta área forneceu melhores condições para o desenvolvimento e estabelecimento destes novos indivíduos, que também pode ser resultado dos inputs nutricionais advindos do manejo de solo voltado à silvicultura.

6.2. Atributos químicos do solo no estrato 0 – 80 cm.

O stand E apresenta menor teor de MOS em todo o perfil do solo, ao contrário do stand T. Comparativamente, este último apresenta, na faixa superficial (0 – 20 cm), maiores valores e ainda apresenta um aumento expressivo ($\sim 10 \text{ g.dm}^{-3}$) entre as profundidades de 30 – 40 cm e se aproxima dos demais stands aos 80 cm de profundidade (Figura 6.1). Os valores para o stand R na faixa superficial se aproximam ($\sim 1 \text{ g.dm}^{-3}$) do stand T. Esta diferença pode ser explicada pela grande quantidade de gramíneas (principalmente *Brachiaria* sp.) que se desenvolveram neste stand, porém modificando a qualidade da MOS neste stand, como será explicada no item 6.3.

O pH pelo método SMP mostrou-se de ácido a neutro. O stand R foi o que se apresentou com pH mais ácido, principalmente na maior profundidade. O pH em CaCl_2 apresentou-se com acidez muito alta (vide Tabela 3.2) em todo o perfil do solo para os stands R e P. Os stands E e T até os 40 cm de profundidade apresentam acidez alta e em seguida até os 80 cm de profundidade o stand E apresenta acidez muito alta e o stand T até os 80 cm apresenta-se com acidez alta.

Verificou-se grande declínio da concentração de Fósforo (P) da faixa superficial para os primeiros 20 cm de solo. O stand R, mesmo que em pequena quantidade apresenta-se com maiores concentrações de P na faixa superficial do que os demais tratamentos, por exemplo, Eucalipto que já veio a receber adubação antes de intervenção.

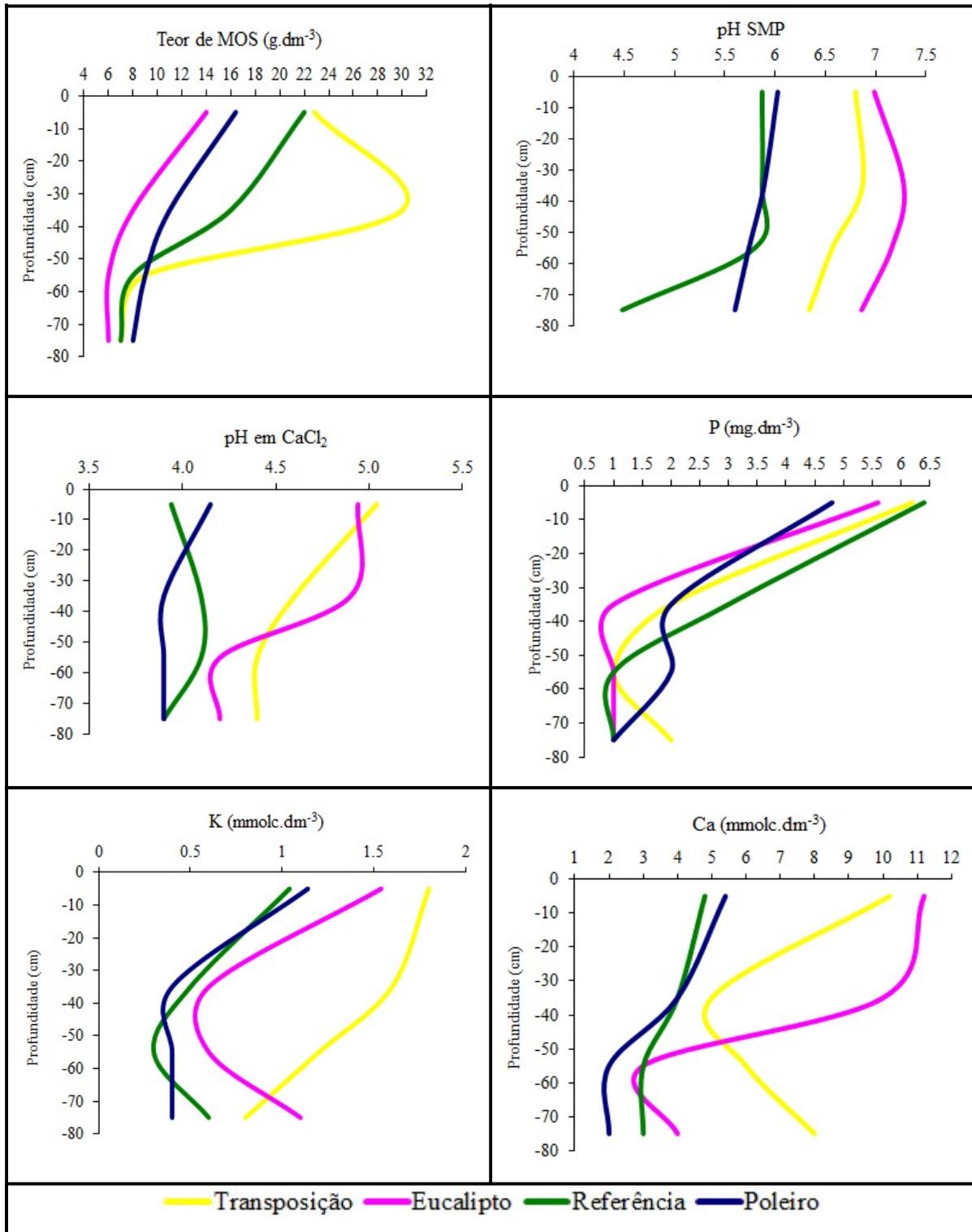


Figura 6.1. Representação gráfica das análises de Teor de matéria orgânica do solo (MOS), pH pelo método SMP, pH em CaCl_2 , Fósforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca), para os stands T, E, R, P.

Em estudo comparativo sobre a dinâmica das frações de P no solo entre diversas fitofisnomias de florestas, a autora (BIZUTI, 2011) demonstrou que o P é importante para a conservação de ecossistemas florestais através de sua ciclagem presente na serapilheira, porém essencial para a recuperação de áreas degradadas, indicando que na recuperação da fertilidade do solo este macronutriente deve ser priorizado.

Ainda sobre a performance do fósforo, comparando-se os 3 stands de tratamento com o stand R, é possível observar que a MOS realmente desempenha papel fundamental para a manutenção deste macronutriente, pois no stand R observam-se maiores concentrações até os 40 cm de profundidade do solo, sendo que em superfície é o stand que melhor se apresenta dentro de uma faixa “baixa ideal” do atributo ($\sim 6,5 \text{ mg.dm}^{-3}$) (considerado valor baixo de $6,1 - 12,0 \text{ mg.dm}^{-3}$). Outra consideração importante é que mesmo o stand T apresentando uma quantidade considerável de MOS em profundidade 20 – 40 cm a concentração de fósforo neste stand foi menor.

Quando uma área degradada é submetida a um processo de recuperação, na sua trajetória de modificação do ambiente ora degradado, o requerimento nutricional das espécies é maior no início da sucessão ecológica, bem como também a produção de serapilheira pelas espécies pioneiras, as quais iniciam a sucessão (ODUM & BARRET, 2008; BENVENUTI-FERREIRA et al., 2009).

O potássio (K) na superfície do solo (0 – 20 cm) apresentou-se com maiores concentrações nos stands T, E, P e R respectivamente, isto provavelmente pode ser resultado da dependência deste elemento por plantas de ciclo C_3 (BOUTTON & YAMASAKI, 1996), sendo que o K é um elemento essencial no crescimento lateral de indivíduos florestais e para a abertura estomática das folhas. Assim, o stand T quando houve a transição da floresta de Eucaliptos para o desenvolvimento das plantas C_4 passou de uma condição de consumo para estoque de K.

Os stands E, T, P e R apresentaram valores pH em ordem crescente, sendo explicado agora pela concentração de Ca, que é maior nos já citados respectivamente, ou seja, diretamente proporcionais.

Em sequência às análises é possível verificar continuidade na interação entre Ca e Mg, pH e Acidez potencial, sendo nítido os desenhos das curvas principalmente para o stand R (nas Figuras 6.1 e 6.2).

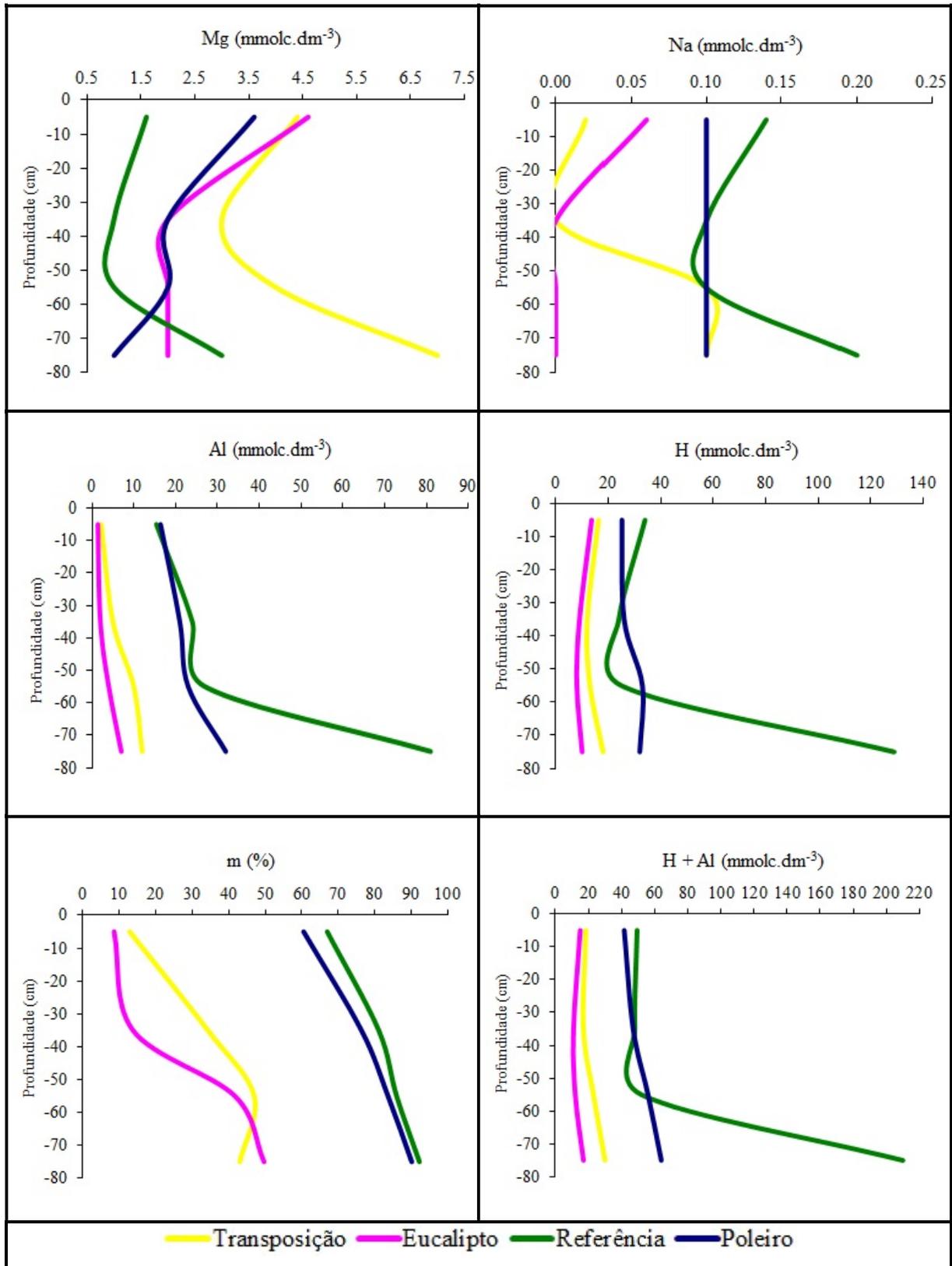


Figura 6.2. Representação gráfica das análises de Magnésio (Mg), Sódio (Na), Alumínio (Al), Hidrogênio (H), Porcentagem de saturação por Alumínio ou Nível de Atividade da Argila (m%) e Acidez potencial (H + Al) para os stands T, E, R e P.

O Magnésio (Mg) e o Sódio (Na) quando em alta concentração no solo, podem ser tóxicos para algumas culturas. Solos com altas concentrações desses sais, nomeados como salinos, limitam a produtividade das plantas através de estresse osmótico e desequilíbrios nutricionais (KOPITTKKE, 2012). Porém conforme observado, todos os stands apresentam acidez classificadas como muito alta ou alta, consequentemente apresentando concentrações baixas para estes sais. Os valores de Sódio (Na) apresentam-se baixos em todos os tratamentos, o que também pode ser explicado pelo pH ácido, pois solos salinos apresentam-se com pH alcalino (TAVARES FILHO, 2010).

Conforme já era esperado em resposta ao manejo de correção de solo através de calagem com calcário dolomítico (maior concentração de Mg), juntamente com subsolagem, os stands E, T e P apresentam maiores concentrações de Mg em toda a superfície 0 – 20 cm em comparação com o stand R. Também é possível observar que o stand T em profundidade apresenta a maior concentração de Mg, que pode ser explicado pelo alcance do sistema radicular das plantas, ou seja, as gramíneas nesta área não conseguem consumir e retornar ao solo através de ciclagem o Mg depositado nesta profundidade.

Verifica-se semelhança no design das curvas das análises de Al, H e H + Al, comprovando também a relação que têm com o pH do solo. Desta forma pode-se também explicar as curvas de Porcentagem de saturação por Al (m%), sendo nítida a maior concentração deste elemento nos respectivos tratamentos: eucalipto, transposição, poleiro e mata.

A Figura 6.3 inicialmente apresenta os valores de Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Porcentagem de Saturação por Bases (V%) por estarem diretamente relacionadas. Posteriormente, nos gráficos da Figura 6.3 são apresentadas as concentrações de Enxofre (S), Boro (B) e Cobre (Cu).

Uchoa (2013) cita alguns trabalhos que dizem que o Enxofre (S) pode ou não estar diretamente relacionado com a MOS, sendo que alguns trabalhos evidenciaram ligação com pontes de Ca, Al e Fe; e outros evidenciaram relação negativa com a adsorção de SO_4^{2-} pelos colóides orgânicos. O Boro (B) é um dos micronutrientes que se apresenta com maior deficiência nos solos brasileiros, principalmente os solos do Cerrado, sendo a silvicultura de eucalipto muito dependente deste micronutriente no desenvolvimento apical da fase jovem (MATTIELLO, 2009).

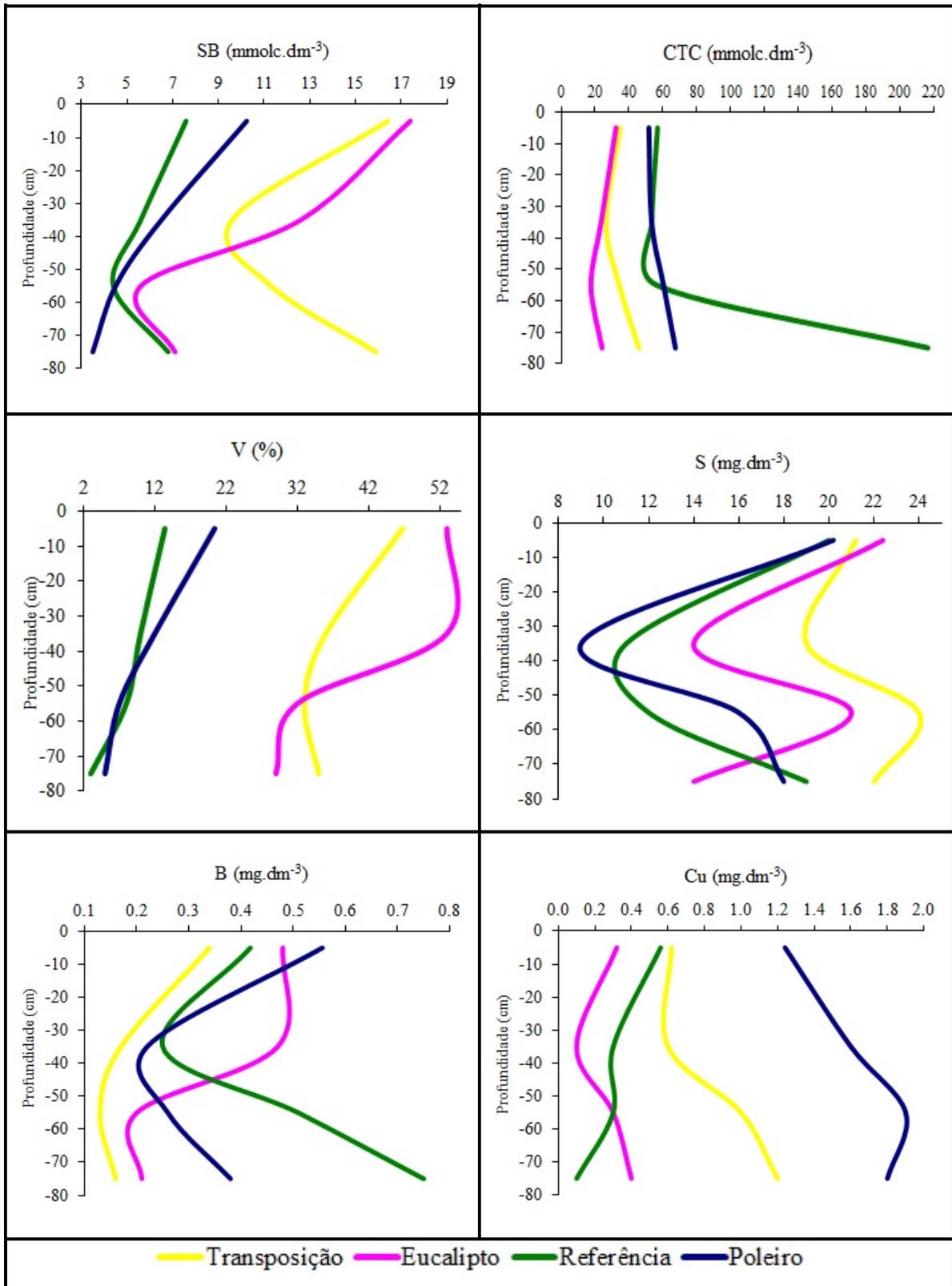


Figura 6.3. Representação gráfica das análises de Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Porcentagem de Saturação por Bases (V%), Enxofre (S), Boro (B) e Cobre (Cu) stands T, E, R e P.

Voltado à silvicultura, o Cobre (Cu) quando em deficiência nutricional, é um micronutriente que tem causado danos físicos às plantações de eucalipto, sendo que as árvores apresentam galhos alongados e frágeis que se quebram com facilidade causando deformação da copa (RODRIGUES, 2010). Por outro lado, o S apresenta altas concentrações em todos os stands (principalmente na faixa superficial (0 – 20 cm)) indicando forte positiva relação com a MOS. Além disto, também apresenta relação com Ca e principalmente com o Fe que também apresentou altas concentrações em todos os tratamentos (vide Figura 6.4). Desta forma o S também pode estar relacionado com o pH do solo, pois observando os valores das curvas, as concentrações são proporcionais para os stands P, R, E e T (vide Figura 6.1).

O B para os tratamentos T e E em superfície, apresentaram concentrações muito próximas do stand R mesmo sabendo-se que o tratamento E recebeu “recentes” adubações com este elemento. Sabe-se que o B tem relação direta com a MOS, portanto deve ser levado em consideração que o stand R apresentou comportamento atípico nas profundidades (60 – 80 cm) apresentando maiores concentrações de B mesmo com menores quantidades de MOS. O Cu apresentou-se com altas concentrações no stand P. Isto pode estar relacionado com a alta deposição de folhas e galhos numa certa época a qual foi motivada devido à morte dos indivíduos de eucalipto. O stand T apresentou-se de média a alta para as maiores profundidades e os stands E e R os valores apresentaram-se baixos.

Como resultado das adubações realizadas na silvicultura de eucalipto em comparação com o stand R verifica-se que para SB, todos os stands apresentaram maiores concentrações de cátions trocáveis da superfície do solo até os 50 cm de profundidade, em contrapartida mostrando-se com maior CTC principalmente nas maiores profundidades, o que é justificado pela relação que a MOS tem com a CTC; normalmente a quantidade de MOS tende a aumentar a CTC.

O V% que é o índice mais indicado na interpretação para correção de solos apresenta-se muito baixo para os stands R e P, indicando solos com altas concentrações de Al e extremamente ácidos, os stands T e E apresentaram-se com porcentagens classificadas como média a boa, principalmente no horizonte superficial do solo, sendo que o único tratamento que se apresenta como solo eutrófico é o E (V% acima de 50).

A Figura 6.4 apresenta os gráficos com as análises de Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) totais nos solos dos diferentes tratamentos, bem como a porcentagem de Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na CTC.

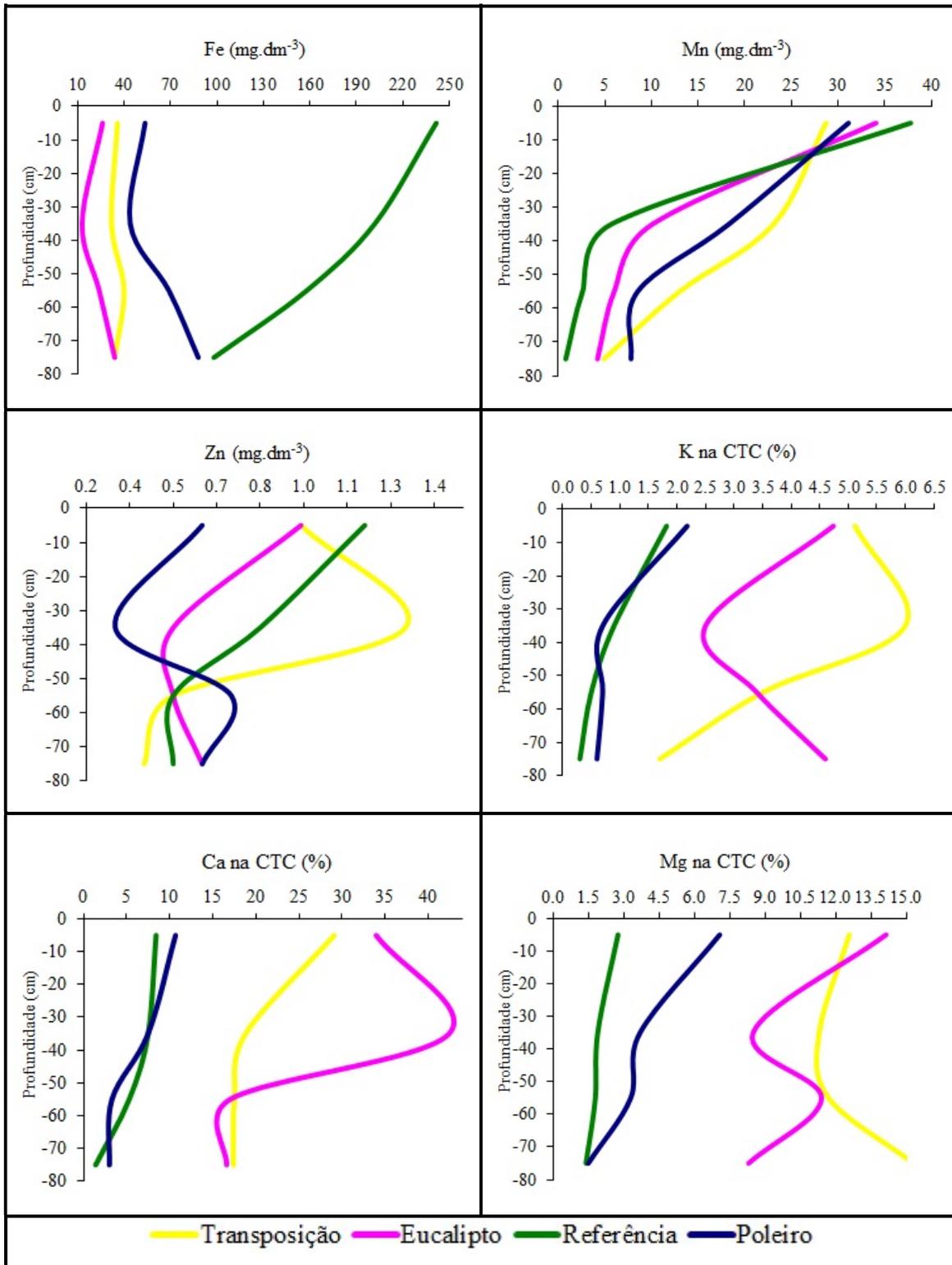


Figura 6.4. Representação gráfica das análises de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Potássio na CTC (K na CTC), Cálcio na CTC (Ca na CTC) e Magnésio na CTC (Mg na CTC) para stands T, E, R e P.

O Fe apresentou-se na faixa superficial em concentrações baixas nos stands E, T e P considerando-se as concentrações adequadas para a silvicultura de Eucalipto ($\sim 150 - 200 \text{ mg.dm}^{-3}$), sofrendo um leve declínio aos 30 cm de profundidade. O stand R apresentou-se como solo férreo, devido às altas concentrações de Fe na faixa superficial ($\sim 250 \text{ mg.dm}^{-3}$). Estas concentrações de Fe no stand R não influenciam o sucesso do ecossistema florestal pelo fato do sistema estar adaptado a estas condições.

As concentrações de Mn nos solos dos diferentes stands apresentaram-se com padrão semelhante, com valores de concentração entre ~ 30 a 40 mg.dm^{-3} , as maiores concentrações obtidas estiveram na faixa superficial, respectivamente nos stands R, E, P e T. Todos os stands apresentam grande empobrecimento na concentração de Mn conforme o aumento da profundidade, observa-se que entre 60 – 80 cm de profundidade encontram-se entre ~ 0 a 10 mg.dm^{-3} .

Verificou-se para Zn, baixas concentrações em todos os tratamentos, sendo que na faixa superficial, em ordem crescente, os stands P, E, T e R apresentaram entre $\sim 0,7$ a $1,3 \text{ mg.dm}^{-3}$. As porcentagens de K, Ca e Mg na CTC estão relacionadas com o pH do solo, pois para os três elementos os stands R e P apresentaram menores valores. Destaque deve ser dado aos stands T e E, pois, para estes três atributos, estes dois stands apresentaram percentuais bem mais elevados em relação aos demais.

A Figura 6.5 apresenta os gráficos com as análises de Alumínio na CTC (Al na CTC), Hidrogênio na CTC (H na CTC), Sódio na CTC (Na na CTC), relação Cálcio e Magnésio (Ca/Mg), relação Cálcio e Potássio (Ca/K) e relação Magnésio e Potássio (Mg/K). Como já observado a influência dos elementos químicos no pH do solo, o Al e o H são os mais importantes neste quesito e a porcentagem de ambos se apresenta muito elevada principalmente nos stands R e P, comprovando mais uma vez a elevada acidez do solo nestes stands.

As porcentagens de Sódio nos solos dos quatro stands apresentaram-se muito baixa, sendo outro fator relacionado ao pH do solo como já informado nas concentrações de Na, apresentadas na Figura 6.2.

A relação das saturações de base (Ca/Mg/K) dentro dos intervalos normalmente encontrados no solo, a parte química, física e biológica da fertilidade do solo, de um modo geral não é influenciada pelas proporções de Ca, Mg, K e não é a melhor forma de se analisar um solo (KOPITKE, 2007). Verificou-se que a Relação Ca/Mg se apresenta ideal (entre 3 e 4) na faixa superficial do solo apenas para o stand R e aos 20 cm para R e E.

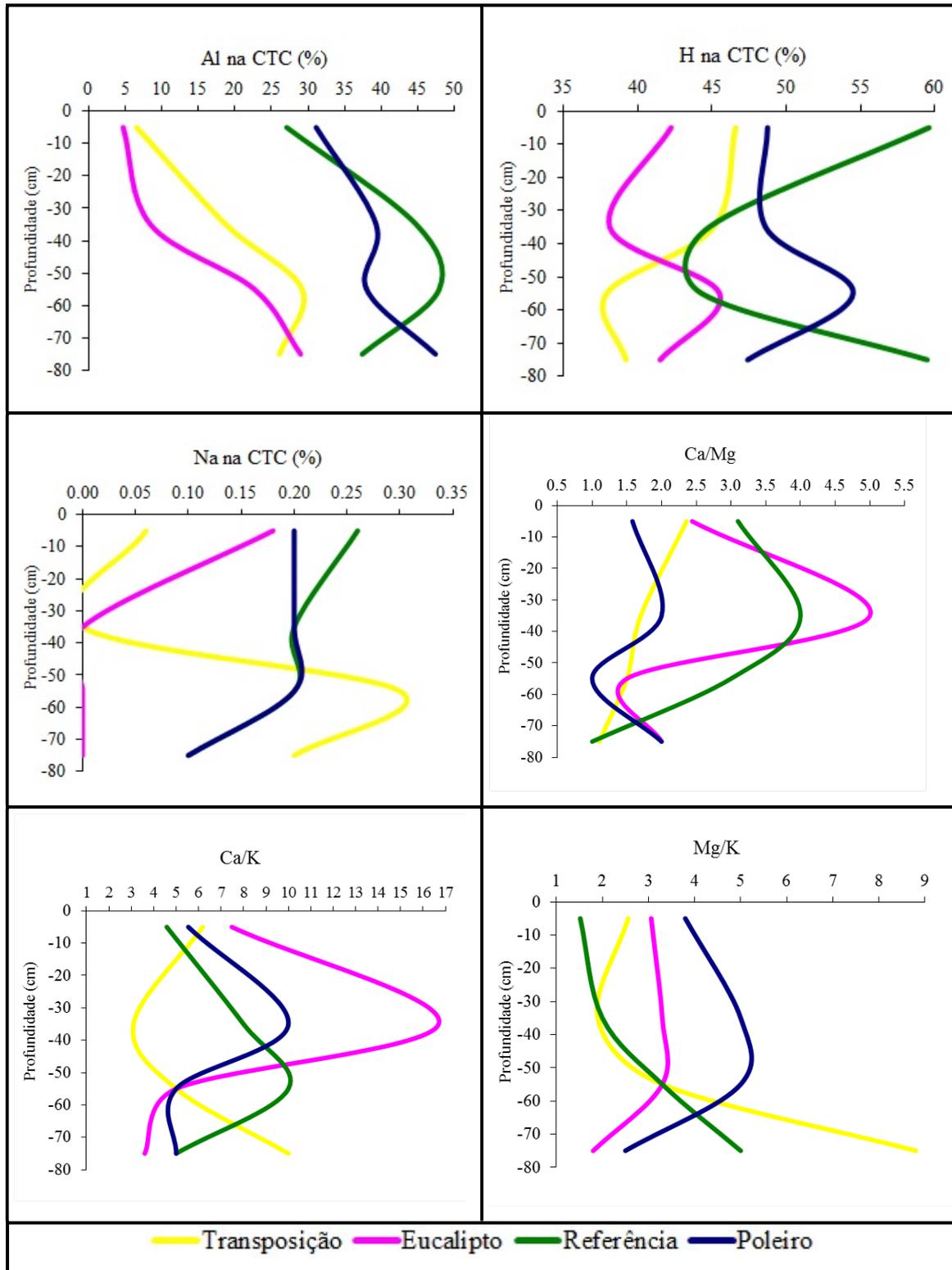


Figura 6.5. Representação gráfica das análises de Alumínio na CTC (Al na CTC), Hidrogênio na CTC (H na CTC), Sódio na CTC (Na na CTC), Relação Cálcio e Magnésio (Ca/Mg), Relação Cálcio e Potássio (Ca/K) e Relação Magnésio e Potássio (Mg/K) para os stands T, E, R e P.

A relação Ca/K apresentou-se média na faixa superficial apenas para no stand E e baixa para os stands R, T e P. Aos 30 cm de profundidade o stand E apresentou-se adequado e R e P apresentaram-se com uma relação Ca/K média. Aos 50 cm de profundidade apenas no stand R encontra-se com relação Ca/K média e aos 80 cm apenas o stand T encontra-se com relação Ca/K média.

Verificou-se que para a relação Mg/K o stand R na faixa superficial encontra-se baixa e conforme o aumento da profundidade do solo torna-se media. Os stands E e P apresentam-se com relação Mg/K media em todo o perfil do solo, e o stand T apresenta-se aos 80 cm com Mg/K adequada.

6.3. Dinâmica do C e do N.

6.3.1. Estatística descritiva com todos os dados

A Tabela 6.2 mostra à estatística descritiva para toda a base de dados em apenas um conjunto, preparada com o objetivo de mostrar como é a amplitude dos dados vistos num único bloco. Mesmo considerando todos os valores, verifica-se que o coeficiente de variação (CV) do atributo $\delta^{13}\text{C}$ foi baixo. Por sua vez, as concentrações de C e de N foram as que apresentaram maiores valores para o CV. Fatalmente a variação na concentração de C afetou a variabilidade dos valores do estoque de C, uma vez que a concentração de C constitui um elemento na equação de estimativa do estoque de C. Comparativamente, Monteiro et al. (2014) investigando a qualidade de solos ocupados por pastagem e vegetação nativa em Iperó (SP), encontraram tendências similares de variação aos atributos aqui analisados.

Tabela 6.2. Estatística descritiva para os dados de C e N para a camada superficial considerando a base de dados dos quatro tratamentos juntos.

Estatística	Mínimo	Máximo	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Média	CV %
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	5,55	9,19	6,71	7,40	7,77	7,27	15,1
N (%)	0,02	0,13	0,04	0,05	0,07	0,06	46,9
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-27,09	-19,22	-24,88	-23,31	-20,79	-23,12	9,1
C (%)	0,19	1,48	0,53	0,71	0,80	0,73	50,4
Est C (t.ha ⁻¹)	4,8	36,4	13,2	17,4	19,6	17,9	43,0
C/N	10,8	13,6	11,3	12,2	12,6	12,1	11,0

6.3.2. Análise comparativa entre os stands

Os teores de C orgânico total (COT), valores de $\delta^{15}\text{N}$ (^{15}N), concentração de N (%N), valores de $\delta^{13}\text{C}$ (^{13}C), e Relação C/N ao longo dos perfis coletados (0 - 80 cm) nos quatro stands são apresentados na Figura 6.6 e os valores médios e respectivos coeficientes de variação na Tabela 6.3.

O C (gráfico COT) ocorreu em maiores quantidades na camada superficial do solo, havendo redução conforme o aumento da profundidade em todos os tratamentos, o que é explicado por um padrão de decaimento natural do C no solo (JOBÁGY & JACKSON, 2000). Nos stands R e T as concentrações são maiores, o que pode ser explicado pela ciclagem de nutrientes. Para o stand R a produção de serapilheira é expressivamente maior (CASTELLI, 2014). Para o stand T o aporte de C advindo com a técnica utilizada (transposição de serapilheira) permitiu a colonização da área por plantas de ciclo C_4 . Pode-se observar também que parte do C no stand T acumulou-se na faixa de 30 cm de profundidade, sendo outro reflexo da técnica utilizada neste tratamento.

Tabela 6.3. Valores dos atributos qualitativos e quantitativos nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Transposição (T)		Eucalipto (E)		Referência (R)		Poleiro (P)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	7,76	12,1	8,61	9,0	6,63	11,0	8,11	16,0
N (%)	0,05	17,9	0,03	38,0	0,07	50,4	0,06	22,3
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-22,23	8,9	-25,27	4,8	-24,52	1,9	-21,04	5,2
COT (g.dm^{-3})	5,6	24,8	3,7	42,3	8,3	54,7	6,6	26,8
Estoque de C (mg.ha^{-1})*	15,9	14,7	10,9	23,7	25,9	12,1	18,8	17,8
C/N	12,2	11,1	11,3	8,2	11,4	12,7	10,7	8,0

* valores computados para a fração 0 – 20 cm de profundidade, pois dados de densidade do solo foram levantados somente para esta fração.

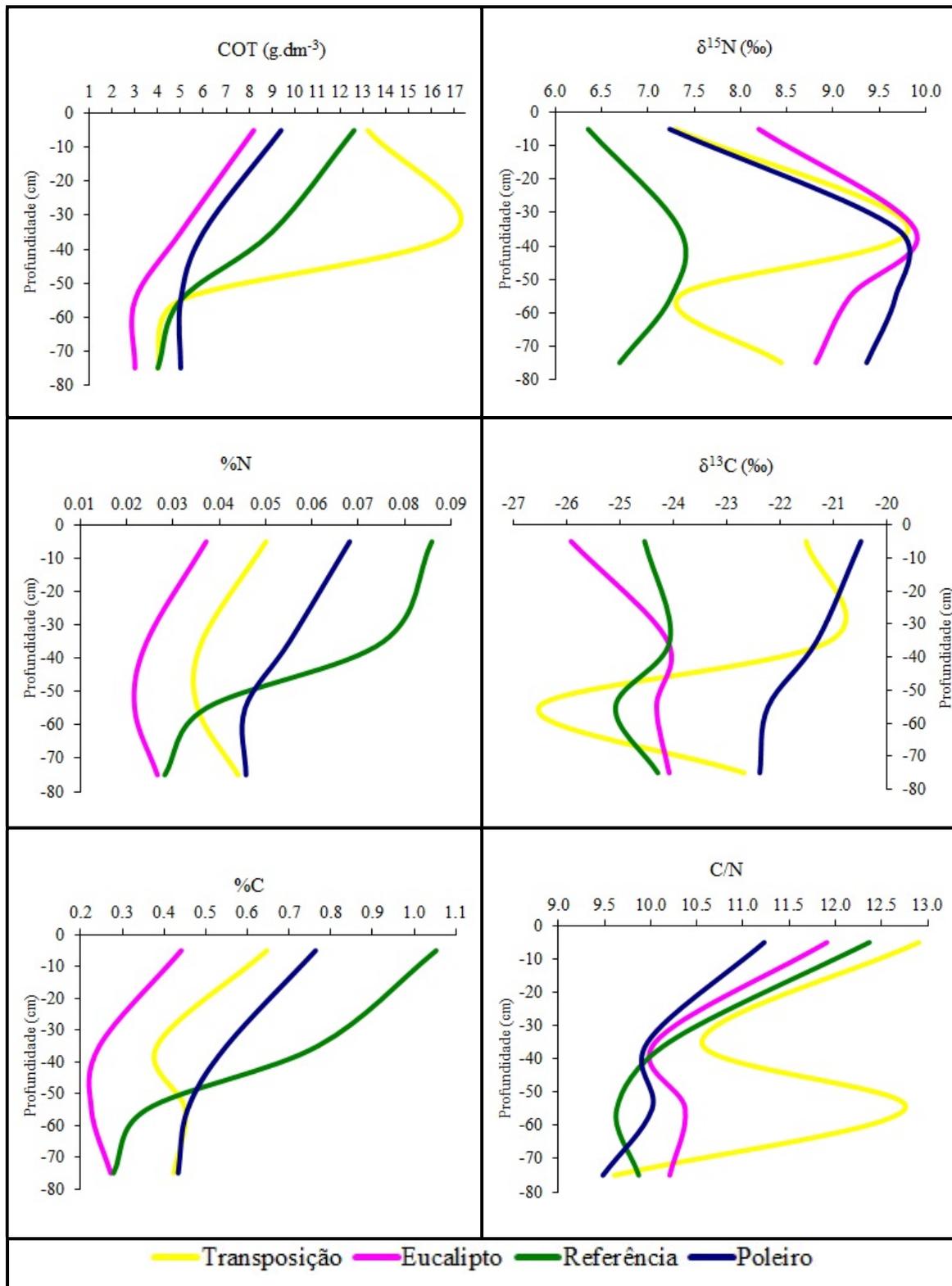


Figura 6.6. Representação gráfica das análises de Carbono Orgânico Total (COT, em g/dm^3), Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰), Concentração de N (em ‰), Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰), Concentração de C (em ‰) e Relação Carbono e Nitrogênio (C/N) para os stands T, E, R e P.

Os dados de estoque de C no solo (Tabela 6.3) mostram que os stands T e E estocam C numa quantidade bem menor que o stand R, enquanto que o stand P foi o mais próximo da referência. Ainda como esperado o stand R devido as suas características é o que apresenta maior valor médio (25,9 Mg.ha⁻¹) dentre todos os tratamentos. Ao que parece, mesmo o stand R ainda estoca uma quantidade reduzida de C no solo, pois comparativamente, Silva et al. (2009) estimaram para vegetação semidecidual em Sorocaba-SP valor de 55,6 Mg.ha⁻¹. Em Ibiúna-SP, também para floresta semidecidual (floresta montana, próximo à Serra de Paranapiacaba) Silva et al. (2015) estimaram 59,5 Mg.ha⁻¹. Em Bauru-SP, Sobral et al. (2015) estimaram, para floresta semidecidual e área de reflorestamento manejado (eucalipto), respectivamente, 96,5 Mg.ha⁻¹ e 87.2 Mg.ha⁻¹, todos os valores para a fração 0-20 cm de profundidade.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$, como esperado, foram menores em todo o perfil do solo no stand R. Quanto mais alto o valor, geralmente maior é a perda de fração orgânica e/ou inorgânica de N (VERVAET et al., 2002). Os tratamentos T, P e E apresentaram performance semelhante e valores muito próximos aos 40 cm de profundidade, o que é provavelmente resultado da intervenção da adubação química que havia antes da intervenção pelas técnicas de recuperação, sendo que por menor que seja a diferença, o stand E (recebeu adubações mais recentes) apresenta valores maiores, em profundidade e ainda maiores na superfície, comprovando a afirmação que ambientes mais antropizados apresentam valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$.

Ainda sobre o $\delta^{15}\text{N}$, o stand T apresentou aos 50 cm de profundidade valores próximos ao do stand R que pode indicar que a MOS nesta profundidade ainda reflete as condições do solo anteriores às adubações, assim como pode ser justificado pela relação C/N na mesma profundidade. É importante citar que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ obtidos em todos os stands foram positivos, indicando que os solos nestas áreas estão mais enriquecidos com o isótopo pesado (¹⁵N) que o padrão (ar atmosférico).

Os gráficos de %N e %C mostram um padrão de concentração para todos os stands, o que pode indicar que as entradas e saídas de concentração dos dois elementos são similares, ou seja, são derivados da decomposição da MOS. Desta forma as concentrações de N e C apresentaram maiores diferenças entre os stands E e R, sendo que o stand R apresenta aproximadamente duas vezes e meia mais.

A presença da vegetação é um fator preponderante na alocação do C, devido a padrões de deposição de material vegetal sobre o solo, natureza da comunidade microbiológica telúrica, volume de raízes (JOBÁGY & JACKSON, 2000). As análises feitas em solo predominantemente ocupados por plantas de ciclo fotossintético C₃ (florestas - “vegetais superiores” – “folhas largas”) apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -36‰ a -23‰, já os solos com plantas de ciclo C₄ (Poaceae – “gramíneas” - “folhas estreitas”) variam entre -18‰ e -10‰ (SILVA, 2012). Para a área do presente estudo, especificamente no stand R, Castelli et al. (2015) encontraram uma densidade de plantas muito mais alta que nos demais stands, sendo estas plantas de ciclo C₃.

Assim, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na camada superficial do solo foram menores para os stands R e E, confirmando a predominância de vegetação C₃ (conforme observado por Castelli et al., (2015)). O stand E ainda apresenta valores menores que o stand R, provavelmente por que a silvicultura de Eucalipto deve incorporar uma proporção ainda maior do isótopo mais leve ^{12}C e ainda existe a porção incorporada pela vegetação de sub-bosque com alta diversidade também observado por Castelli et al. (2015). Os tratamentos T e P apresentaram valores intermediários de ^{13}C , indicando a transição do tipo de vegetação C₃ para C₄.

O stand T apresentou os menores valores de ^{13}C dentre todos os tratamentos entre os 50 – 60 cm de profundidade, indicando uma concentração maior do isótopo mais leve. Esta é uma exemplar resposta para o uso da técnica de avaliação de isótopos, pois indica perfeitamente através do antigo ^{12}C marcado na MOS proveniente da vegetação C₃ de *Eucalyptus* sp.. Atualmente esta MOS “assinada” com o isótopo mais leve de C apresenta-se (mesmo em menores quantidades) nas porções mais fundas do solo (ver gráfico de COT, stand T ~50 – 60 cm), devido ao decaimento natural do C no solo ao longo do tempo. Assim, a curva do tratamento T em $\delta^{13}\text{C}$ indica a drástica transição do tipo de vegetação naquela área que ocorreu a partir do desbaste da floresta de *Eucalyptus* sp. (~ -27‰) para a rápida colonização da *Brachiaria* sp. (~ -21‰) que por sua vez imprime uma assinatura isotópica em locais onde o há alta concentração de MOS enriquecida em ^{13}C .

Este padrão pode ser observado também para o tratamento P, sendo que em profundidade a alteração da qualidade da MOS não foi tão marcante provavelmente por que os indivíduos de *Eucalyptus* sp. não foram removidos e sim apenas mortos em pé, ocasionando a queda de folhas e galhos naquela área, o que pode ter contribuído para uma “demarcação” mais lenta do isótopo mais leve (^{12}C) para o mais pesado (^{13}C) na

MOS. Porém atualmente esta área com Eucaliptos mortos encontra-se sem sombreamento algum que também proporcionou a fácil e rápida colonização por *Brachiaria* sp., como pode ser observado na curva de $\delta^{13}\text{C}$ para o stand P, indicando os menores valores encontrados ($\sim -20\text{‰}$).

A relação C/N apresentou-se com valores pouco diferentes na camada superior do solo (0 – 30 cm) para todos os tratamentos, sendo possível observar maior relação no stand T, R, E e P, respectivamente. Através da relação C/N, a qual é um indicador de qualidade da MOS (YAMAKURA & SAHUNALU, 1990) verifica-se que os stands R e T tiveram valores similares na superfície do solo, porém provavelmente por caminhos diferentes. Estas duas áreas mostraram os valores médios mais elevados dentre as quatro, mostrando que no solo ainda há material orgânico de decomposição mais difícil do que nas outras duas áreas. Contudo, no stand R ocorre principalmente deposição de material de decomposição lenta (galhos e troncos) e na área de banco de sementes, embora a deposição deste tipo de material seja diminuta, ocorre a produção e acúmulo de gramíneas, a qual possui folhas de natureza fibrosa e com constituição bioquímica de decomposição também lenta.

Embora no stand E ocorra alta densidade de plantas arbóreas (predominância de árvores de eucalipto) e a produção de material orgânico é similar ao stand R e até duas vezes mais do que nos outros dois stands, especialmente na época chuvosa (CASTELLI, 2014), o principal tipo de material parece ser folha ou miscelânea (flores e frutos), os quais são mais susceptíveis ao processo de decomposição e, portanto, com capacidade de imprimir no solo uma relação C/N de menor valor em relação ao stand R e ao stand T.

Outro fato que comprova isto são os dados de isótopos de C, os quais possuem valores diferentes entre os stands R e T e por sua vez, já mais similares entre os stands R e E. Isto se deve ao fato de que os stands R e E são majoritariamente constituídos por plantas cuja discriminação contra o isótopo pesado do C (^{13}C) é maior, ou seja, plantas C_3 (SMITH & EPSTEIN, 1971).

6.4. Estatística multivariada.

A análise de discriminantes foi realizada com o auxílio do software Bioestat 5.3, onde por uma limitação da análise foram utilizadas 14 variáveis (pH (CaCl₂), P, K, Ca, Mg, Al³⁺, S.B., C.T.C, S, N, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, C e C/N), sendo as mesmas escolhidas por serem as de maior importância para este estudo. Considerados para esta análise a média de cada variável, considerando as cinco amostras da fração superficial (0 – 20 cm).

Desta forma é possível observar a distribuição dos dados por grupo (Figura 6.7), sendo que não há uma sobreposição de pontos em nenhuma região do gráfico, o que poderia indicar algum tipo de similaridade entre os tratamentos.

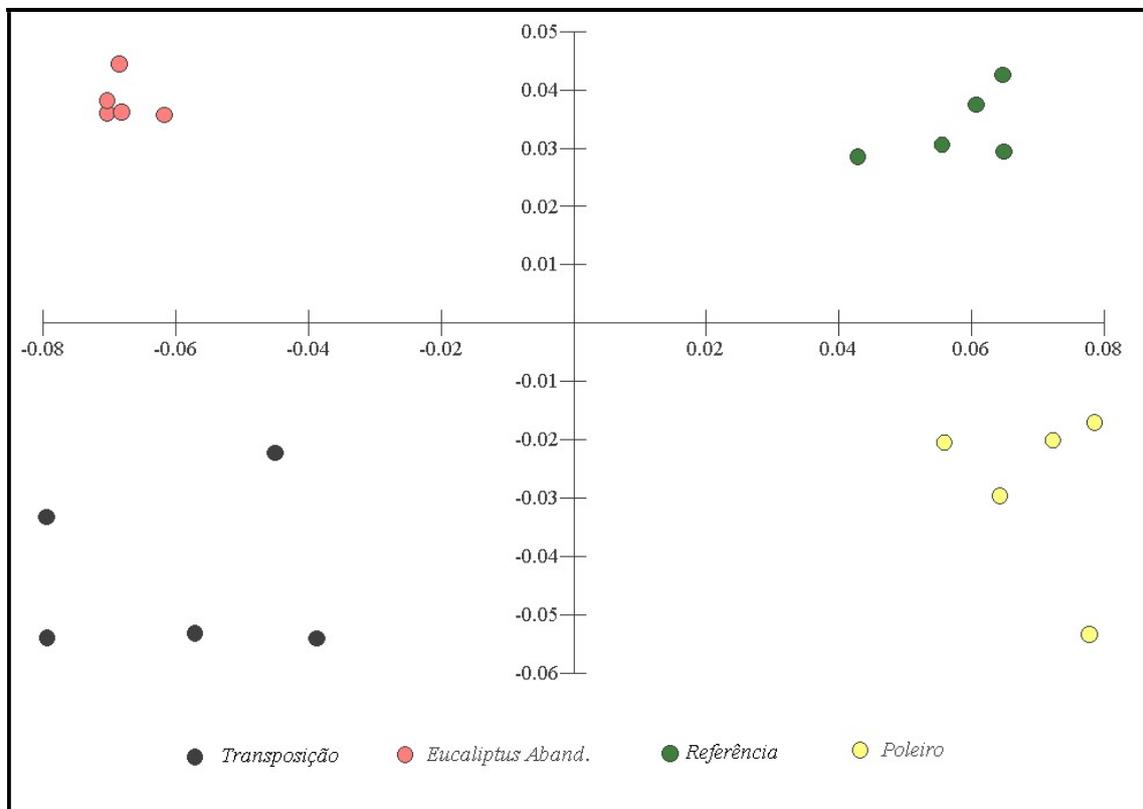


Figura 6.7. Diagrama resultante da análise de discriminante de Fisher.

Os resultados desta análise são úteis para mostrar que, embora seja em alguns momentos difícil distinguir com clareza as diferenças de valores entre os stands conforme o atributo, numa análise conjunta de vários atributos os resultados desta

análise indicam que os solos dos stands estão tendo tendências de desenvolvimento diferenciadas entre si.

Isto é devido às condições ecológicas diferenciadas existentes entre os stands, ocasionadas por histórico diferenciado de adubação e, após a cessação dos trabalhos de manejo, instalação de indivíduos de diferentes espécies vegetais e microclima diferenciado.

Contudo, caso não ocorra nenhum agente de alteração expressiva no local (por exemplo, remoção de árvores ou incêndios) ainda não está claro se os stands estão tendo uma trajetória de ficarem com solos de características ainda mais distintas entre si (fato que ocasionaria um distanciamento ainda maior entre os pontos no gráfico da figura), ou se a trajetória está ocorrendo de maneira que os solos fiquem praticamente idênticos em termos químicos (fato que ocasionaria uma aproximação entre todos os pontos, formando uma única nuvem de pontos no gráfico da figura). Outros estudos futuros serão necessários para confirmar qual é a real trajetória.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

As intervenções feitas em cada stand induziram a diferentes trajetórias sucessionais em termos ecológicos e, por consequência, acarretou características físicas e químicas diferenciadas entre si no solo. Em termos qualitativos, o indicador que permitiu uma comparação clara e suportou esta conclusão foi a análise isotópica do C e do N, mostrando-se importante na avaliação da alteração da qualidade da MOS de ecossistemas em recuperação de áreas degradadas. Quantitativamente, todos os stands estocam menos Carbono comparado com estudos em ecossistemas semelhantes, principalmente o stand R, isto pode estar relacionado a este ecossistema florestal ainda estar em estágio secundário e estar caminhando para a sucessão final.

Conclui-se que a influência da vegetação tem sido uma diferença marcante em todos os tratamentos, sendo grande responsável pela alteração da qualidade da MOS, e esta por sua vez grande responsável pela alteração e principalmente manutenção de diversos atributos químicos do solo em todo o perfil 0 – 80 cm, como por exemplo o fósforo, o qual no stand R se manteve em níveis aceitáveis, e não apresentou a mesma condição no stand T.

Ainda sobre o Fósforo é importante lembrar que é um macronutriente determinante para o sucesso da recuperação de áreas degradadas e, em conjunto com o trabalho de Castelli et al. (2015), que indicou que o stand E apresentou maior diversidade de plantas, é possível concluir que as concentrações de fósforo, mesmo menores que o stand R, foram suficientes para o sucesso do estabelecimento de novos indivíduos de sub-bosque com grande diversidade de espécies.

A influência do pH nos stands também foi determinante para a performance de diversos atributos, principalmente indicando que o stand E é o único que se apresenta como solo eutrófico (V% acima de 50), possivelmente indicando influência de trabalhos pretéritos de manejo de solo (calagem de plantio e manutenção) realizados nesta área num passado recente.

Conclui-se ainda que se esses fatores são cruciais para o sucesso da recuperação de áreas degradadas, é possível afirmar a importância e até mesmo a necessidade de se conhecer as condições do solo antes de realizar qualquer tipo de intervenção ou implantar técnicas de recuperação ecológica, pois estas análises podem indicar um divisor de águas para certos tipos de técnicas de recuperação de áreas degradadas.

Seguindo esta linha de pensamento, para todos os stands e principalmente para o stand E (devido ao seu atual avanço nas condições de recuperação), é encorajado neste estudo que os responsáveis executem calagem manual na área, para que se possa manter o pH do solo principalmente na faixa superficial (0 – 20 cm) com os atuais níveis (~5,0 a 6,0) para permitir um crescimento mais acelerado da vegetação de interesse. Também é encorajada a execução de adubação manual a lanço com adubo enriquecido em fósforo para auxiliar o sucesso da recuperação da área.

Ambas as intervenções devem ser feitas apenas uma vez com calcário dolomítico em concentração de 800 kg.ha⁻¹ e adubação fosfatada em concentração de 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ de preferência com Superfosfato Simples, sendo que esta alta concentração de P₂O₅ certamente se tornará prontamente disponível ao sistema radicular das plantas ali presentes e auxiliará no desenvolvimento das futuras plantas que porventura colonizarão estas áreas. Os cálculos para obtenção destes valores foram baseados nas recomendações de adubação para florestas nas condições de solo da região em estudo como recomendado no Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1996).

Desta forma é importante a realização de análises de solos anuais ou no mínimo a análise da acidez através do pH e o acompanhamento através de observação do desenvolvimento dos indivíduos de sub-bosque da área, isto indicaria ao menos se haveria necessidade de novas intervenções como por exemplo uma nova calagem no stand.

Estas duas intervenções deverão auxiliar na correção da acidez do solo e no desenvolvimento radicular das plantas, apresentando elevada utilidade para o ecossistema, com fácil acesso e baixo custo de execução. Desta forma, é importante reforçar que se faça o acompanhamento destas intervenções e novos levantamentos de dados com análises de solo e fitossociológicas para obtenção dos resultados das mesmas.

Uma questão levantada na justificativa deste trabalho foi a escassez de estudos nesta linha de pesquisa, estudos que possam avaliar as condições de solos florestais submetidos a processos de recuperação de áreas degradadas, portanto, este trabalho vem contribuir e encorajar o desenvolvimento de mais estudos nesta linha de pesquisa, pois já é claro que os solos são base para o começo do desenvolvimento sucessional de um ecossistema florestal, assim necessita de condições mínimas básicas para o estabelecimento da comunidade florestal pioneira e secundária.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, G. B.; RODRIGUES, R. R. (2000) A vegetação do Morro de Araçoiaba, Floresta Nacional de Ipanema, Iperó (SP). **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 145-159.
- AMBROSE, S. H.; DENIRO, M. J. (1986) Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. **Nature**, 319, 321-324.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.A. (2007) **Bioestat – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. ONG Mamirauá – Universidade Federal do Pará, Belém, PA.
- BAKUS, C., & COLE, J. (2015) **Effects of silviculture on soil and water quality in southwestern China**. Undergraduate Research Forum 20th. Academic Major: Environmental Science.
- BARRETO, M. G. (2013) **Indicadores de qualidade do solo para análise da eficiência de técnicas de recuperação e manejo florestal no município de Bofete/SP**. Relatório de Iniciação Tecnológica Departamento de Engenharia Ambiental - UNESP Sorocaba/SP.
- BENVENUTI-FERREIRA, G., COELHO, G. C., SCHIRMER, J., & LUCCHESI, O. A. (2009) Dendrometry and litterfall of neotropical pioneer and early secondary tree species. **Biota Neotropica**, 9(1), 0-0.
- BIZUTI, D. T. G. (2011) **Ciclagem do fósforo em floresta ombrófila densa dos núcleos de picinguaba e santa virgínia – SP**. Dissertação de Mestrado. CENA – USP. Piracicaba – SP.
- BOANARES, D. & AZEVEDO, C.S. 2014. The use of nucleation techniques to restore the environment: a bibliometric analysis. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, 12, 93-98.
- BODDEY, R. M. et al. (2006) Potential of C sequestration in soils of the Atlantic Rain Region of Brazil. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. 305-347.
- BOECKX, P., PAULINO, L., OYARZUN, C., CLEEMPUT, O., GODOY, R. (2005) Soil $\delta^{15}\text{N}$ patterns in old-growth forests of southern Chile as integrator for N-cycling. **Isotopes in Environmental and Health Studies**, 41, p. 249–259.
- BOUTTON, T. W., & YAMASAKI, S. I. (1996). **Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change**. Mass spectrometry of soils., 47-82.

- BUDZIKIEWICZ, H., & GRIGSBY, R. D. (2006) Mass spectrometry and isotopes: a century of research and discussion. **Mass spectrometry reviews**, 25(1), 146-157.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A. & VALADARES, J. M. (1986) **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. (IAC – Boletim Técnico, 6).
- CARTER, M. R. et al. (1997) Concepts of soil quality and their significance. **Developments in Soil Science**. 25, 1-19.
- CASTELLI, K. R. (2014) **Análise comparativa de técnicas de recuperação ambiental em áreas degradadas no município de Bofete – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Unesp, Faculdade de Engenharia de Bauru, 109 p.
- CASTELLI, K. R., BARRETO, M. G., FRANCESCONI, W., VALLE, L. D., MONDELLI, G., ABILIO, F. M., & DA SILVA, A. M. (2015). Analysis of effectiveness of three forest interventionist techniques and proposal of a new and integrated model of forest restoration. **Environmental Technology**, (just-published), 1-33.
- COMPTON, J. E., HOOKER, T. D., PERAKIS, S. S. (2007). Ecosystem N distribution and $\delta^{15}\text{N}$ during a century of forest regrowth after agricultural abandonment. **Ecosystems**, 10, 1197–1208.
- COOK, G. D. (2001) Effects of frequent fires and grazing on stable N isotope ratios of vegetation in northern Australia. **Austral Ecology**, 26 (6), 630-636.
- CORBIN, J.D. & HOLL, K.D. (2012) Applied nucleation as a forest restoration strategy. **Forest Ecology and Management**, 265, 37-46.
- CORRE, M. D., BRUMME, R., VELDKAMP, E., & BEESE, F. O. (2007) Changes in nitrogen cycling and retention processes in soils under spruce forests along a nitrogen enrichment gradient in Germany. **Global Change Biology**, 13(7), 1509-1527.
- DAILY, G. C., ALEXANDER S., EHRLICH P. R., GOULDER L., LUBCHENCO J., et al. (1997) Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. **Issues in Ecology**. 1(2), 1–18.
- DISE, N. B., & WRIGHT, R. F. (1995) Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. **Forest Ecology and Management**, 71(1), 153-161.

- DODONOV, P., SILVA, D.M., ROSATTI N.B. (2014) Understory vegetation gradient in a *Eucalyptus grandis* plantation between a savanna and a semideciduous forest. **New Zealand Journal of Forest Sciences**, 44. 1-16.
- EHLERINGER, J. R. E. A. (2002) Stable isotopes and carbon cycle processes in forests and grasslands. **Plant Biology**, 4(2), 181-189.
- ELLERT, B. H., BETTANY, J. R. (1995) Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, 75, 529-538.
- FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 40(1), 503-537.
- FERNANDEZ, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. (2007) ¹³C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-matogrossense. **Brazilian Enterprise for Agricultural Research -EMBRAPA**, v 74, (13).
- FOX, J. F.; PAPANICOLAOU, A. N. (2007) The use of carbon and nitrogen isotopes to study watershed erosion processes. **Journal of the American Water Resources Association**, 43(4), 1047-1064.
- GAINSBURY, A. M., & COLLI, G. R. (2014) Effects of abandoned Eucalyptus plantations on lizard communities in the Brazilian Cerrado. **Biodiversity and Conservation**, 23(13), 3155-3170.
- GALLOWAY, J. N. E. A. (2004) Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**. 70(2), 153-226.
- GASCH C., HUZURBAZAR. S., STAHL P. (2014) Measuring soil disturbance effects and assessing soil restoration success by examining distributions of soil properties. **Applied Soil Ecology**, 76, 102-111.
- GEORGE, S. J., KUMAR, B. M., & RAJIV, G. R. (1993) Nature of secondary succession in the abandoned Eucalyptus plantations of Neyyar (Kerala) in peninsular India. **Journal of Tropical Forest Science**, 5(3), 372-386.
- GREGORICH, E. G. et al. (1997) Biological attributes of soil quality. **Developments in Soil Science**, 25, 81-114.
- GOODALE, C. L., ABER, J. D., & MCDOWELL, W. H. (2000) The long-term effects of disturbance on organic and inorganic nitrogen export in the White Mountains, New Hampshire. **Ecosystems**, 3(5), 433-450.

- GOOLEY, F.B., MCGINNIS, J. T., CLEMENTS, R. G., CHILD, G. I., DUEVER, M. J. (1978) **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. EPU/EDUSP, 256 p.
- GUO, L. B. & GIFFORD, R. M. (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, 8, 345-360.
- HATTERSLEY, P. W. (1982) $\delta^{13}\text{C}$ values of C_4 types in grasses. **Functional Plant Biology**, 9(2), 139-154.
- HEIL, D. & SPOSITO, G. (1997) Chemical attributes and processes affecting soil quality. **Developments in Soil Science**. 25, 59-80.
- IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). (1981) **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, v.1, 126 p.
- JOBÁGY, E. G., & JACKSON, R. B. (2000) The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological applications**, 10(2), 423-436.
- JOHNSON, D. L.; KELLER, E. A.; ROCKWELL, T. K. (1990) Dynamic Pedogenesis: New Views on Some Key Soil Concepts, and a Model for Interpreting Quaternary Soils. **Quaternary Research**. 33(3), 306-319.
- JOSE, S., GILLESPIE, A. R., SEIFERT, J. R., & BIEHLE, D. J. (2000) Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: 2. Competition for water. **Agroforestry Systems**, 48(1), 41-59.
- KAMINSKI, J.; SILVA, L.S.; CERETTA, C.A. & RENHEIMER, D.S. (2007) Acidez e calagem em solos do sul do Brasil: Aspectos históricos e perspectivas futuras. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5, 307-332.
- KARLEN, D. L., DITZLER, C. A., ANDREWS, A. S. (2003) Soil quality: why and how? **Geoderma**, 114, 145-156.
- KOPITTKÉ, P. M. (2012) Interactions between Ca, Mg, Na and K: Alleviation of toxicity in saline solutions. **Plant and Soil**, 352(1-2), 353-362.
- KOPITTKÉ, P. M. & MENZIES, N. W. (2007) A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. **Soil Science Society of America Proceedings**. 71(2), 259-265.
- LAGE-PINTO, F., BERNINI, E., OLIVEIRA, J. G. D., & VITÓRIA, A. P. (2012) Photosynthetic analyses of two native Atlantic Forest species in regenerative

- understory of eucalyptus plantation. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 24(2), 95-106.
- LEWIS, D. B., CASTELLANO, M. J., & KAYE, J. P. (2014) Forest succession, soil carbon accumulation, and rapid nitrogen storage in poorly remineralized soil organic matter. **Ecology**, 95(10), 2687-2693.
- LI, P. et al. (2013) Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. **Soil & Tillage Research**. 116, 112-118.
- LI, Y. et al. (2005) Comparing soil organic carbon dynamics in plantation and secondary forest in wet tropics in Puerto Rico. **Global Change Biology**. 11(2), 239-248.
- LILIENFEIN, J. et al. (2000) Soil acidification in *Pinus caribaea* forests on Brazilian savanna Oxisols. **Forest Ecology and Management**, 128(1), 145-157.
- MAGNUSSON, W. E. E. A. (2001) Size and carbon acquisition in lizards from Amazonian savanna: evidence from isotope analysis. **Ecology**. 82(6), 1772-1780.
- MANETTA, G. I.; BENEDITO-CECÍLIO, E.; MARTINELLI, L. A. (2003) Carbon sources and trophic position of the main species of fishes from Baía river, Paraná river floodplain, Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**. 63(2), 283-290.
- MANLAY, R. J., FELLER, C., SWIFT, M. J. (2007) Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 119 (3-4), 217–233.
- MARTINELLI, L. A. E. A. (2003) Stable carbon isotopic composition of the wine and CO₂ bubbles of sparkling wines: detecting C₄ sugar addition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51(9), 2625-2631.
- MARTINELLI, L. A., OMETTO, J. P. H. B., FERRAZ, E. S., VICTORIA, R. L., CAMARGO, P. B., & MOREIRA, M. Z. (2009) **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo, Oficina de Textos.
- MATTIELLO, E. M., et al. (2009) Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 33(5), 1281-1290.
- MONTEIRO, T., ALVARES, C. A., STOTT, D. E. & da SILVA, A. M. (2014) Phytogeographic retrospective in ecotonal areas guided by soil attributes. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 1-12.
- MOSCA, A. A. O. (2003) **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do**

- manejo de florestas plantadas.** Piracicaba: ESALQ, Dissertação apresentada para obtenção de título de mestre em recursos florestais.
- ODUM, E. P., & BARRETT, G. W. (2008). **Fundamentos de ecologia.** 5ª Edição. Cernage Learning, São Paulo, SP, 612 p.
- OLIVEIRA, A. C. E. A. (2002) Isótopos estáveis e produção de bebidas: de onde vem o carbono que consumimos? **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** 22(3), 285-288.
- PALM, C. et al. (2007) Soils: A Contemporary Perspective. **The Annual Review of Environment and Resources,** New York. 32, 99-129.
- PETERSON, B. J.; FRY, B. (1987) Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual review of ecology and systematics.** 18, 293-320.
- POSADA, J. M., & SCHUUR, E. A. (2011) Relationships among precipitation regime, nutrient availability, and carbon turnover in tropical rain forests. **Oecologia,** 165(3), 783-795.
- PRIMAVESI, A. M. (1987) **Manejo Ecológico do Solo: A agricultura em regiões tropicais.** 9ª edição, Editora Nobel (São Paulo, SP), 549 p.
- QIAO, Y., MIAO, S., SILVA, L. C., & HORWATH, W. R. (2014) Understory species regulate litter decomposition and accumulation of C and N in forest soils: A long-term dual-isotope experiment. **Forest Ecology and Management,** 329, 318-327.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C (1996) **Boletim técnico 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC. 285p.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico.
- REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, R. D. (2010) Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola,** 67, 244-250.
- ROBINSON, D. (2001) ¹⁵N as an integrator of the nitrogen cycle. **Trends in Ecology & Evolution,** 16, 153-162.
- RODRIGUES, F. A. V. et al. (2010) Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo,** Viçosa, 34(6), 1923-1932.
- ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. (1996) Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP,** 10, 41-59.

- RUGGIERO, P. G. C., BATALHA, M. A., PIVELLO, V. R., & MEIRELLES, S. T. (2002) Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, 160(1), 1-16.
- SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. (2000) A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**. 138(1), 335-356.
- SILVA, A. M. (2012) **Efeito da mudança da cobertura da terra para fins de urbanização na quantidade e qualidade do C e do N da faixa superficial dos solos de uma microbacia em Sorocaba - SP**. Sorocaba: UNESP, Tese de Livre Docência.
- SILVA, A. M.; NOGUEIRA, D. P.; IKEMATSU, P.; SILVEIRA, F. M.; BOMBACK, M.; ALVES, S. H., PAULA F. P.; CAMARGO, P. B. (2009) Carbon stocks and Isotopic Composition of the Organic Matter in Soils Covered by Native Vegetation and Pasture in Sorocaba, SP, Brazil. **International Journal of Environmental Resources**. 3(3), 435-440.
- SILVA, A. M.; MANFRE, L. A.; URBAN, R. C.; SILVA, V. H. O.; MANZATTO, M. P., NORTON, L. D. (2015). Organic farm does not improve neither soil, or water quality in rural watersheds from southeastern Brazil. **Ecological Indicators**, 48, 132-146.
- SIQUEIRA, J. O. & FRANCO, A. A. (1988) **Biotechnologia do Solo: Fundamentos e Perspectivas**. Brasília: MEC - ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 236 p.
- SMITH, N. B.; EPSTEIN, S. (1971) Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. **Plant Physiology**. 47(3), 380-384.
- SOBRAL, A. C.; PEIXOTO, A. S. P.; NASCIMENTO, V. F.; RODGERS, J. C.; SILVA, A. M. (2015). Natural and anthropogenic influence on soil erosion in a rural watershed in the Brazilian Southeastern region. **Regional Environmental Change**. 15(4), 709-720.
- TAVARES FILHO, A. N. (2010) **Níveis da necessidade de gesso sobre as características físico-químicas e na correção de solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Ibimirim - PE**. 81 p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. Recife. 2010. Disponível em: <<http://www.pgea.ufrpe.br/downloads/dissertacoes/AntonioNovais.pdf>> Acesso em: 20 de Setembro de 2014.

- TEMPLER, T. H. et al. (2012) Sinks for nitrogen inputs in terrestrial ecosystems: a metaanalysis of ^{15}N tracer field studies. **Ecology**, 93, 1816–1829.
- TOMÉ Jr., J. B. (1997) **Manual para Interpretação de Análise de Solo**. Livraria e Editora Guaíba: Agropecuária.
- TOPP, G. C. et al. (1997) Physical attributes of soil quality. **Developments in Soil Science**. 25, 21-58.
- UCHOA, S. C. P.; VICTOR HUGO, A. V.; FREIRE, F. M. (2013) Doses de enxofre e tempo de incubação na dinâmica de formas de enxofre no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, 37(3), 678-687.
- USDA (United States Department of Agriculture) (2008) National Resources Conservation Service. **Soil Quality Indicators: Bulk Density**. Disponível em: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_019191.pdf
Acesso em: 16 de Junho de 2015.
- VERVAET, H., et al. (2002) Can $\delta^{15}\text{N}$ profiles in forest soils predict NO_3^- loss and net N mineralization rates? **Biology and Fertility of Soils**, 36, 143-150.
- VILLELA, D. M.; NASCIMENTO, M. T.; ARAGÃO, L. E. O.; DA GAMA, D. M. (2006) Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, 33(3), 506-516.
- ZOGG, G. P., ZAK, D. R., PREGITZER, K. S., & BURTON, A. J. (2000) Microbial immobilization and the retention of anthropogenic nitrate in a northern hardwood forest. **Ecology**, 81(7), 1858-1866.
- WIENHOLD, B. J.; VARVEL, G. E.; DORAN, J. W. (2005) Quality of soil. **Encyclopedia of soils in the environment**. 349-353.
- YAMAKURA, T., & SAHUNALU, P. (1990) Soil carbon/nitrogen ratio as a site quality index for some South-east Asian forests. **Journal of Tropical Ecology**, 6(3), 371-377.
- YANG, K.; SHI, W.; ZHU, J. J. (2013) The impact of secondary forests conversion into larch plantations on soil chemical and microbiological properties. **Plant and Soil**, 368. 535-546.