

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Mestrado em Geografia
Área de Concentração: Análise Ambiental

CLAUDIA DE ALMEIDA SAMPAIO

**AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR
MEIO DE INDICADORES AMBIENTAIS BIOLÓGICOS E
PEDOLÓGICOS NA APE MUTUCA, NOVA LIMA.**

Belo Horizonte
Minas Gerais – Brasil
Maio / 2006

CLAUDIA DE ALMEIDA SAMPAIO

**AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MEIO
DE INDICADORES AMBIENTAIS BIOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS NA
APE MUTUCA, NOVA LIMA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais,
como parte das exigências do Curso de Mestrado em Geografia,
área de concentração em Análise Ambiental, para obtenção do
título de “Mestre”.

Orientadora

Profa. Cristiane Valéria de Oliveira

BELO HORIZONTE
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

AGRADECIMENTOS

Impossível registrar aqui o nome de todas as pessoas que tornaram possível esse trabalho, mas devo agradecer:

- ✓ Ao meu marido, pela compreensão, correções do texto e ajuda no campo.
- ✓ À Cristina Martins e Tatiana Corrêa, pela paciência e amizade, além das suas significativas sugestões, que em tanto contribuíram para aprimorar este trabalho.
- ✓ A COPASA, por permitir a utilização de sua propriedade para a realização desse estudo. Aos funcionários Sr. Paulo E. Guimarães Filho e Sra. Maria A. Souza, pela sua grande colaboração na escolha da área de estudo e pela disponibilidade e boa vontade em resolver os problemas burocráticos junto à companhia, respectivamente. E aos trabalhadores da APE Mutuca pela ajuda e pela água nos dias de calor intenso.
- ✓ À Nívia Melo, técnica do Laboratório de Solos e Geomorfologia - IGC/UFMG, pela ajuda no laboratório e à secretária da Pós-Graduação Maria Paula Berlando, pela amabilidade.
- ✓ Ao Sr. Ramon C. Alvarenga e Flávio A. Souza, pela autorização em utilizar as dependências e equipamentos da EMBRAPA e pela ajuda e ensinamento na realização da análise de solo, respectivamente.
- ✓ Ao prof. José P. Lemos Filho da Botânica, ICB/UFMG, pelo empréstimo do equipamento LAI-2000 Canopy Analyzer.
- ✓ À orientadora profa. Cristiane V. Oliveira, por aceitar a orientação de uma aluna de outra instituição. Pela competência, dedicação e profissionalismo com que realiza seu trabalho. Pelo espaço para que se possa aprender e crescer com as próprias iniciativas.
- ✓ Ao CNPq, pela concessão da bolsa de pesquisa durante todo o mestrado, possibilitando a realização do presente trabalho.

*“[...] Afagar a terra. Conhecer os desejos da terra.
Cio da terra, a propícia estação. E fecundar o chão.”*

O Cio da Terra - Chico Buarque de Holanda e Milton Nascimento, 1977

*“ Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à **coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo** (grifo meu) para as presentes e futuras gerações.”*

Constituição Federal, art. 225, 1988

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO LITERÁRIA	8
2.1 IMPACTOS ANTRÓPICOS E OCUPAÇÃO URBANA	8
2.2 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	10
2.3 DINÂMICA DA OCUPAÇÃO DO ESPAÇO PELAS POPULAÇÕES VEGETAIS	15
2.4 INDICADORES AMBIENTAIS	26
2.4.1 Pedoindicadores.....	29
2.4.2 Bioindicadores	37
3 ÁREA DE ESTUDO	45
3.1 IMPACTOS E PROJETOS NA APE MUTUCA.....	45
3.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	47
3.3 SOLO.....	49
3.4 VEGETAÇÃO.....	50
3.5 CLIMA	51
3.6 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	52
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
4.1 ANÁLISE DOS PEDOINDICADORES	56
4.2 ANÁLISE DOS BIOINDICADORES	57

4.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 OBSERVAÇÕES DE CAMPO.....	60
5.2 RESULTADOS LABORATORIAIS	73
5.2.1 Pedoindicadores.....	74
5.2.2 Bioindicadores	90
5.3 ANÁLISE FATORIAL BASEADA NO MÉTODO DO COMPONENTE PRINCIPAL.....	100
5.4 ANÁLISE DA FUNÇÃO DISCRIMINANTE CANÔNICA	101
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	119
I ANÁLISE DESCRITIVA DO SOFTWARE SPSS PARA TODOS OS INDICADORES SELECIONADOS.....	119
II ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL POR KOLMOGOROV-SMIRNOV - TESTE ONE-SAMPLE	121
III ANÁLISE FATORIAL BASEADA NO MÉTODO DO COMPONENTE PRINCIPAL	121
IV ANÁLISE DA FUNÇÃO DISCRIMINANTE CANÔNICA	123

ÍNDICE

FOTOS

FOTO 1: Fechamento da área Clareira em 1995.	47
FOTO 2: Perfil da Área de Estudo, localizado no barranco da subárea ZRII.	60
FOTO 3: Fotos da paisagem, localização e perfis das trincheiras localizada na Estrada – Ea e Eb.	62
FOTO 4: Fotos da paisagem, localização, perfil e detalhe da trincheira denominada MNa	64
FOTO 5: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada MNb ...	65
FOTO 6: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZRIa ...	66
FOTO 7: Fotos da paisagem, perfil e detalhe da rizosfera sinalizando um canal de pedofauna da trincheira denominada ZRIb.	67
FOTO 8: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZRIIa..	68
FOTO 9: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZRIIb..	69
FOTO 10: Materiais diversos encontrados na área de estudo.	72

FIGURAS

FIGURA 1: Diagrama das estratégias primárias e secundárias.	20
FIGURA 2: Dinâmica das populações vegetais.	24
FIGURA 3: Reajuste fenotípico foliar com mudança morfológica da folha.	25
FIGURA 4: Diagrama MOS.	33
FIGURA 5: Esquema de agregação da argila pela matéria orgânica.	35
FIGURA 6: Morfologia das plantas e sua interação com a radiação solar.	42
FIGURA 7: Incidência, reflectância, transmitância e absorvância da radiação solar.	43
FIGURA 8: Localização da área de estudo.	48
FIGURA 9: Perfil topográfico da Serra do Cachimbo até o córrego Mutuca.	49
FIGURA 10: Divisão das subáreas e delineamento dos transectos.	55
FIGURA 11: Pontos Amostras do Índice de Área Foliar e Respiração Microbiana. .	58

TABELAS

TABELA 1: Possível existência de espécies, de acordo com as três estratégias primárias nos ambientes terrestres.	16
TABELA 2: Espécies nativas plantadas em 1995.	47
TABELA 3: Resumo da descrição morfológica do perfil do barranco.	61
TABELA 4: Caracterização dos Horizontes Superficiais das Trincheiras.	70

GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Crescimento Populacional até 2050.	9
GRÁFICO 2: População Residente de Belo Horizonte e Nova Lima	9
GRÁFICO 3: Histórico (1995 a 2005) da precipitação anual na APE Mutuca	51
GRÁFICO 4: Histórico da precipitação Média Mensal de 1995 a 2005.	52
GRÁFICO 5: Porcentagem de carbono orgânico e porcentagem de argila de 0 a 10 cm de profundidade para cada trincheira.....	70
GRÁFICO 6: Diagrama Triangular da Análise Granulométrica	74
GRÁFICO 7: Teores de areia, silte e argila das amostras de solo retiradas em diferentes profundidades das diferentes subáreas.....	75
GRÁFICO 8: Teor de argila entre Subáreas	76
GRÁFICO 9: Faixa de Acidez Média nas Profundidades e entre as Subáreas.....	76
GRÁFICO 10: pH médio entre Subáreas	78
GRÁFICO 11: Teor de Matéria Orgânica nas Profundidade e entre as Subáreas.....	79
GRÁFICO 12: Teor de matéria orgânica entre as Subáreas.....	80
GRÁFICO 13: Porcentagem de agregados estáveis em água em função da profundidade e subárea.	81
GRÁFICO 14: Porcentagem de estabilidade de agregados em função da época climática (A) e da ação do clima nas subáreas (B).....	82
GRÁFICO 15: Média geral da porcentagem de estabilidade de agregados por subárea.	83
GRÁFICO 16: Correlação entre a porcentagem de argila e pH para cada subárea. ..	84
GRÁFICO 17: Correlação entre a porcentagem de argila e a porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.	85
GRÁFICO 18: Correlação entre porcentagem de Argila e porcentagem de Estabilidade de Agregados para cada subárea.....	87
GRÁFICO 19: Correlação entre pH e porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.....	87
GRÁFICO 20: Correlação entre pH e porcentagem de estabilidade de agregados para cada subárea.....	88
GRÁFICO 21: Correlação entre porcentagem de estabilidade de agregados e porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.	89
GRÁFICO 22: IAF, Luz incidente e porcentagem de cobertura do solo por Subárea	91
GRÁFICO 23: Índice de Area Foliar (IAF), Luz Incidente (LI) e porcentagem de cobertura do solo (CS) observado para as diferentes subáreas.....	93
GRÁFICO 24: Média geral da Respiração Microbiana por subárea.	94
GRÁFICO 25: Correlação entre IAF e Luz Incidente para cada subárea.	95
GRÁFICO 26: Correlação entre IAF e porcentagem da cobertura do solo para cada subárea.	96
GRÁFICO 27: Correlação entre IAF e Respiração Microbiana para cada subárea. ..	97
GRÁFICO 28: Correlação entre porcentagem de cobertura do solo e respiração microbiana para cada subárea.	98
GRÁFICO 29: Correlação entre teor de Matéria Orgânica e Respiração Microbiana para cada subárea.	99
GRÁFICO 30: Componentes resultantes da análise fatorial e transformação varimax.	100
GRÁFICO 31: Diagrama de ordenação e detalhe de acordo com a função discriminante canônica.	102

LISTA DE ABREVIATURAS

%Arg	porcentagem de Argila
%EA	porcentagem de Estabilidade de Agregados
%MO	porcentagem de Matéria Orgânica
%CS	porcentagem de Cobertura do Solo
E	Estrada
IAF	Índice de Área Foliar
LI	Luz Incidente
MO	Matéria Orgânica
MN	Mata Nativa
RM	Respiração Microbiana
CS	Cobertura do Solo
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
ZRI	Subárea de Recuperação I, referente à borda da área
ZRII	Subárea de Recuperação II, referente ao centro da área

RESUMO

SAMPAIO, Cláudia de Almeida. **Avaliação da Recuperação de Área Degradada por meio de Indicadores Ambientais Biológicos e Pedológicos na APE Mutuca, Nova Lima.** Belo Horizonte: UFMG, 2006. 114p. (Dissertação - Mestrado em Geografia)¹

Na busca pela recuperação dos ambientes naturais é imperativo fazer pesquisas voltadas para a avaliação de indicadores ambientais, os quais devem demonstrar o grau de recuperação do solo e da flora. Esta dissertação objetivou avaliar algumas características pedológicas e biológicas como possíveis indicadores ambientais, que possibilitem reconhecer e avaliar o processo de recuperação de uma área degradada. A área de estudo localizada na APE Mutuca, Nova Lima-MG, foi dividida em 4 subáreas: perturbada (E, estrada), não perturbada (MN, mata nativa) e em recuperação. Esta última foi subdividida em Zona de Recuperação I (ZRI, correspondente à borda) e Zona de Recuperação II (ZRII, correspondente ao centro). Para a avaliação dos pedoindicadores foram analisadas porcentagem de argila, porcentagem de estabilidade dos agregados, pH e porcentagem de matéria orgânica. As amostras de solo foram coletadas na estação seca/2004 e chuvosa/2005. Como bioindicadores foram avaliados índice de área foliar, luz incidente, porcentagem de cobertura do solo e respiração microbiana, obtidos durante o ano de 2005 na estação chuvosa e seca. A análise estatística dos dados mostrou que a maioria dos indicadores são normais, exceto a porcentagem da argila e da estabilidade de agregados. Testes de Tukey e Kruskal-Wallis foram realizados em cada indicador para conhecer as similaridades entre as subáreas. Foram realizadas correlações de Spearman entre os pedoindicadores e todas demonstraram que outros fatores externos influenciam as interações entre dois quaisquer indicadores pedológicos. Para os bioindicadores foram analisadas as correlações de Pearson, onde índice de área foliar, luz incidente e cobertura do solo mostraram que as interrelações existentes entre eles são diretas, enquanto que a correlação destes com a respiração microbiana demonstram a influência de outros fatores externos. A análise fatorial segundo o método de componente principal apresenta a interrelação espacial dos indicadores entre si, demonstrando que a maior concentração de matéria orgânica leva a uma maior respiração microbiana, e, aparentemente, a luz incidente influencia negativamente os processos microbianos. A influência do índice de área foliar é oposta à porcentagem de cobertura do solo. E, aparentemente, o pH e a porcentagem de estabilidade de agregados indicam que quando maior a acidez do solo, menor será a estabilidade dos agregados, enquanto que a porcentagem de argila é independente de qualquer outro indicador. A análise da função discriminante canônica evidencia que as quatro subáreas diferem entre si, onde as características ambientais da ZRI situam-se na interface entre a MN e a ZRII, e são completamente diferentes da E. Somado a isso, a porcentagem de argila e da estabilidade de agregados representam os indicadores que possuem pouco poder de avaliação. Conclui-se que os pedoindicadores selecionados informaram, adequadamente, o grau de qualidade do solo, os bioindicadores demonstraram que a restauração do componente biótico está sendo alcançada e, de modo conjunto, demonstraram ser bons indicadores ambientais, com exceção da porcentagem de argila e da estabilidade de agregados. Os processos de recuperação e de sucessão estão ocorrendo da MN em direção a ZRII. Por fim, ressalta-se que, os projetos de recuperação de áreas degradadas devem ser avaliados periodicamente, a fim de garantir que os processos de recuperação sejam atingidos, no menor tempo possível.

¹ Orientador: Cristiane Valéria de Oliveira – IGC/UFMG.

ABSTRACT

SAMPAIO, Claudia de Almeida. **Evaluation of the Recovery of Degraded Area through Biological and Pedologic Environmental Indicators in APE Mutuca, Nova Lima.** Belo Horizonte: UFMG, 2006. 114p. (Dissertation - Master's degree in Geography)²

When searching for the recovering of the natural environment is inevitable making research turned to the evaluation of the environmental indicators which must show the recovery degree of the soil and flora. The aim of this dissertation was evaluating some pedologic and biological characteristics as possible environmental indicators that can recognize and evaluate the recovery process of a degraded area. The area which was researched is located in APE, Mutuca, Nova Lima-MG and was divided in 4 subareas: disturbed (E, road), non-disturbed, (MN, native forest) and in recovering. This last was subdivided in Recovery Zone I (RZI, which is equivalent to the border) and Recovery Zone II (RZII, equivalent to the center). In the evaluation of the pedoindicators were analysed clay percentage, aggregate stability percentage, pH and organic material percentage. The soil samples were collected in the dry season/2004 and the rainy season/2005. As bioindicators, leaf area index, incident light, soil covering percentage and microbial respiration were evaluated, got during the rainy and the dry seasons/2005. The statistic analysis of the data showed that most of the indicators are normal, except for the clay and the aggregate stability percentage. Turkey and Krustal-Wallis tests were experimented in each indicator to know the similarities of the subareas. Spearman correlation was established between the pedoindicators and all of them showed that other external factors interfere in the interaction between any two pedologic indicators. To the bioindicators Pearson correlation was analysed in which leaf area index, incident light and soil covering showed that the existing interrelationship among them are direct, while their correlation between the microbial respiration demonstrate the influence of other external factors. The factor analysis according to the main component method presents the spatial interrelation of the indicators among themselves, showing that the biggest concentration of organic material take to a bigger microbial respiration, and, apparently, the incident light interferes negatively the microbial processes. The influence of the leaf area index is the opposite of the covering soil percentage. Moreover, the pH and the aggregate stability percentage suggest that the greater the soil sourness, the lower will be the aggregate stability, while the clay percentage is independent of any other indicator. The canonical discriminant function analysis proves that the four subareas are different where the RZI environment characteristics are between the MN and the RZII, and are completely different from the E. In addition to this the clay and the aggregate stability percentages represent the indicators that have a little evaluation power. To conclude the selected pedoindicators informed, properly, the quality degree of the soil, the bioindicators demonstrated that the restoration of the biotic component is being achieved, in a united way, they demonstrated to be good environmental indicators, except for the clay and the aggregate stability percentages. The recovery and succession processes occur from MN in direction to the RZII. Finally, we remark that the projects on the recovery of degraded areas should always be evaluated, in order to guarantee that the recovery processes would be achieved in the lowest period of time.

² Advisor: Cristiane Valéria de Oliveira – IGC/UFMG.

1 INTRODUÇÃO

O século XXI inicia com uma grande problemática: a compatibilização entre desenvolvimento e preservação do meio ambiente. O discurso ambiental tem início em meados do século XX com a questão da sustentabilidade, sinalizando que está em jogo o futuro das próximas gerações. Não somente seu desenvolvimento material, mas, principalmente, sua sobrevivência. O delicado equilíbrio dos processos naturais³, reage às ações antrópicas, que aceleram, perturbam e provocam mudanças ainda desconhecidas pela ciência sobre estes processos. O conhecimento do papel da Natureza na sobrevivência humana é importantíssimo para o enfrentamento das problemáticas ambientais, as quais são questões do séc. XXI e de responsabilidade e solução mundial.

Ao redor do mundo, vários “problemas” ambientais estão cada vez mais presentes nos noticiários⁴. Observa-se o aumento de 0,7°C na temperatura da terra, aquecimento na porção norte tropical (Oceano Atlântico), derretimento de geleiras (Pólos), diminuição dos habitats de pinguins e ursos polares, invernos e verões “antecipados/atrasados”, enchentes (Ásia), verões extremos (Europa), furacões frequentes e violentos (América do Norte), gripe aviária (Europa e Ásia), e outros. No Brasil, observa-se seca extrema na Amazônia, enchentes no Sul e Sudeste, desmatamento desenfreado dos biomas Cerrado e Amazônia, febre aftosa no Mato Grosso, expansão da malária, epidemia de dengue no Acre e emissão de grande quantidade de carbono na atmosfera por queimadas.

Estes problemas, provavelmente, resultantes do desequilíbrio dos processos naturais e ecológicos do planeta, induzem uma visão mais biocêntrica à humanidade. A dialética entre o antropocentrismo e o biocentrismo tenta mostrar aos governantes a necessidade de diminuir o atual desenvolvimento antropocêntrico, com suas ações anti-naturais, já que, os processos naturais existentes no planeta têm seus próprios momentos e movimentos e não pedem licença para se manifestar. A visão aristotélica já mencionava que a natureza existe por si mesma e possui em si o princípio do seu movimento. Tais processos não existem em razão dos seres humanos, mas os humanos existem, dependem e vivem deles. É certo que o caminho que os processos naturais seguirem, afetarão diretamente a sobrevivência e a continuidade da humanidade. Atualmente, o que ocorre é a gradativa escassez dos recursos naturais essenciais

³ Entende-se como Processos Naturais todos os processos físicos-químicos-biológicos-climáticos que proporcionaram a vida no planeta do jeito que a conhecemos atualmente.

⁴ Informações retiradas de noticiários da Internet.

à vida humana e a alteração dos processos naturais em decorrência das atividades e explorações destes recursos. Por exemplo, a constante redução de seres clorofilados provocará, certamente, diminuição na fotossíntese, conseqüentemente baixos níveis de oxigênio e altos níveis de gás carbônico livre na atmosfera (efeito estufa) o que, somado à drástica redução na quantidade de água potável disponível por habitante, acabará por comprometer a capacidade de sobrevivência do homem. Um outro exemplo, também alarmante, é a contínua degradação do solo de qualidade que se destina à perpétua utilização da humanidade para se alimentar.

Quando a natureza é “ameaçada” com ações que perturbam os processos naturais, compromete-se o arranjo ou o equilíbrio climático-geográfico-ecológico destes processos, que foram produzidos através de um longo período de tempo no planeta e que favoreceram o desenvolvimento e a sobrevivência de diversos seres vivos. Portanto, o estresse ambiental leva a diminuição da resistência dos sistemas naturais. De acordo com a hipótese Gaia, a natureza equilibrada é a condição para a continuação da vida; onde o meio ambiente é um todo significativo que emerge de um diálogo constante entre a parte e o todo, e busca encontrar os princípios convergentes entre todos os processos naturais. Assim, o olhar biocêntrico transcende as disciplinas individuais, e encoraja-as a buscar uma visão e uma ação integrada umas com as outras e com todas as ciências.

A humanidade, nos últimos 100 anos, injetou um impressionante fluxo de energia no planeta afetando, conseqüentemente, o delicado equilíbrio natural. A expansão demográfica tem resultado em atividades que produzem alterações e degradações de ambientes florestais, exercendo constante pressão sobre o solo e as comunidades microbianas, vegetais e animais, alterando as condições climáticas, pedológicas e ecológicas, modificando as interações ecológicas e as inter-relações do sistema litosfera-rizosfera-biosfera.

O Brasil com seu território impressionante, tanto em dimensões, como em processos climáticos, biológicos e geomorfológicos, produziu ao longo do tempo uma megadiversidade tanto de espécies (genético) quanto de ecossistemas. Aqui se encontram todos os elementos estratégicos do próximo milênio: água doce, biodiversidade, biomassa, energia solar, energia eólica e outros tão relevantes quanto estes. Contudo, somente 8% de todo o território brasileiro está protegido na forma de Unidade de Conservação e em Minas Gerais apenas 3% do território do Estado. Essas porcentagens tão pequenas mostram-se, na prática, muito menores visto que grande parte dessas áreas não conseguiu atingir os objetivos para os quais foram criadas. Além disso, o total de área protegida por bioma é insuficiente para a conservação da biodiversidade (MMA, 2005a). Assim sendo, existe ainda uma grande área,

92% do território brasileiro e 97% do território de Minas Gerais, disponível para a degradação por mineradoras, agropecuaristas, desmatamentos, queimadas, urbanizações e outros agentes. Esse quadro é ainda mais grave quando se observa que, no mundo inteiro, somente 11,5% da superfície da Terra é objeto de alguma forma de proteção (IUCN & UNEP, 2003). Diante desse quadro, para minimizar as questões de impactos ambientais que afloram, faz-se necessário mudar o enfoque que, até então, tem norteadado a produção científica antropocêntrica para um novo enfoque biocêntrico. Há necessidade de elaborar pesquisas com o objetivo de conhecer os processos naturais para mantê-los intactos e não somente – como tem-se feito até agora – voltados, única e exclusivamente, em prol do interesse e desenvolvimento material humano. É necessário que as pesquisas de análise ambiental possuam, intrinsecamente, uma visão transdisciplinar⁵ com o objetivo de compreender o mundo numa visão múltipla. Muitas pesquisas têm mostrado que somente as análises das variáveis de interesse de uma única área de conhecimento podem levar a decisões equivocadas, sendo por isso, necessário, também levar em conta outros campos de estudo como relevo, geologia, solo, vegetação, fauna e recurso hídrico. A importância das pesquisas multidisciplinares está no fato de que buscam compreender os complexos processos naturais de forma integrada, levando em consideração tanto a interação entre eles quanto as consequências que daí advêm, pois prender-se a uma análise ambiental somente pelo ponto de vista pedológico ou biológico não é compatível com os processos e as interações existentes na natureza. É importante ver o cenário como um todo. Os aspectos biológicos, climatológicos, pedológicos, histórico de ocupação e de uso, que tiverem relevância, devem ser investigados para que se possa construir uma visão mais próxima do que, efetivamente, é a complexa estrutura ambiental.

Assim, para pensar em recuperação ambiental é imperativo o estabelecimento de pesquisas e metodologias voltadas para a avaliação dos efeitos das atividades humanas e o monitoramento do impacto sobre os recursos naturais para, posteriormente, buscar a restauração das áreas degradadas. A recuperação se baseia em promover alternativas de mitigação ou propor ações contrárias aos impactos decorrentes das atividades antrópicas. Para isso considera-se necessário que os processos de natureza biótica e pedológica retornem ao ponto de partida, quando não havia degradação, ou seja, que ocorra uma restauração ecológica. É necessário, então, compreender as perturbações do uso e manejo do solo sobre a

⁵ Transdisciplinar ou multidisciplinar, diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, na história das disciplinas, através das diferentes disciplinas e além das disciplinas e dos conhecimentos científicos.

qualidade físico-químico-biológica, independente se a ocupação anterior visava uma atividade ligada à agropecuária, à indústria ou à urbanização. A degradação é consequência da destruição desses recursos naturais, particularmente, das florestas e dos recursos hídricos, promovida por perturbações que resultaram num conjunto de problemas ambientais, que são intensos nas regiões economicamente mais desenvolvidas. Deste modo, o objetivo da restauração ecológica é o retorno da floresta existente anteriormente, isto é, do ambiente formado por organismos de altíssima complexidade, tanto na ocupação do espaço por cada uma das espécies, quanto pelas relações complementares inter- e intra-específicas entre eles. E para que isso ocorra os objetivos e ações devem ser pré-determinados no projeto de recuperação da área degradada.

Deste modo, e considerando a carência de estudos multidisciplinares sobre a dinâmica da recuperação ambiental, esta dissertação objetiva analisar algumas características pedológicas e biológicas que sirvam como indicadores ambientais, os quais possibilitem reconhecer o processo ou a fase de recuperação de uma área degradada, através dos atributos abióticos e bióticos. Além disso, tem como objetivos específicos: testar atributos que sirvam de avaliação do desempenho da recuperação e que conciliem saberes, de modo a gerar oportunidades que promovam o conhecimento dos processos naturais, assim como o tempo necessário para que ocorra a recuperação. Espera-se que esses indicadores revelem, ampliem e promovam a compreensão dos fenômenos de interação solo-planta, contribuindo para os futuros manejos dos ecossistemas, avaliação da recuperação e diversidade ecológica, fornecendo uma visão preditiva em escala espacial e temporal.

Este trabalho pretende, ainda, discutir algumas questões e testar hipóteses relevantes para o entendimento do processo de recuperação de uma área degradada. Como por exemplo, será que os bioindicadores e pedoindicadores poderão demonstrar as fases do processo de sucessão? Será que a análise, individual e conjunta, desses indicadores mostrará as diferenças entre as diversas áreas em recuperação? Quais deles serão os mais adequados para indicar o processo de sucessão?

A avaliação proposta neste estudo utilizará a comparação desses indicadores entre os diferentes *habitats*. Para isso foi escolhida uma área piloto representada por uma pequena região da mata ciliar do córrego do Mutuca, pertencente a APE Mutuca e ao Parque Rola Moça, no município de Nova Lima/MG. Essa área piloto está em processo de recuperação há 10 anos (1995-2005), sofreu diferenciadas perturbações, foi revegetada por espécies nativas e apresenta, atualmente, variada recuperação florística.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 IMPACTOS ANTRÓPICOS E OCUPAÇÃO URBANA

A humanidade desde o início, e mais acentuadamente a partir do momento em que se organiza em sociedade, explora os recursos naturais do planeta. Com isso modifica a superfície contendo a biosfera para atender às suas necessidades que se ampliam e modificam continuamente com o crescimento populacional. Esta constante e crescente exploração dos recursos naturais ocasiona intensas pressões e perturbações sobre os ecossistemas e o equilíbrio dos processos físicos-químicos-biológicos que os governa. Daí, a atual preocupação da interferência humana e seus impactos antrópicos, que ao longo da história das civilizações fornece alguns exemplos (Teixeira et al., 2000) como:

- a salinização dos solos pela intensa irrigação da agricultura na Mesopotâmia; ou
- a erosão e a escassez de água provocada pela má utilização do solo pelos Maia.

Em todas as civilizações, a ocupação dos solos sempre esteve relacionada ao processo produtivo agrícola. Porém, é a partir do séc. XIX que a intensidade da ocupação e de degradação se acentuou. No séc. XIX houve intenso desflorestamento de imensas áreas, e no séc. XX, a degradação foi provocada pelas monoculturas ofensivas, uso de produtos químicos diversos, mecanização pesada, continuação dos desmatamentos com acentuada exposição do solo, mineração, pecuária intensiva e imensos pólos urbanos com industrialização e acentuada densidade demográfica. E qualquer desses motivos resulta em pressão sobre os recursos naturais. A própria história de Minas Gerais traz em si, de forma exemplar, estes variados usos de solo.

Além disso, para o séc. XXI estima-se que a população mundial aumente em muitos milhões de seres a cada ano, segundo a Organização das Nações Unidas (*Population Reference Bureau*, 2006) apresentadas no gráfico 1. Isso irá provocar uma crescente ocupação dos espaços o que, por si, já é um fator degradante e que será acentuado pela implementação de complexos sistemas produtivos, de transporte e de abastecimento, exigindo ainda mais dos recursos minerais, pedológicos e florísticos.

Esta situação não é diferente em Minas Gerais ou em Belo Horizonte. Em 1829, o Vigário Pe. Francisco Arantes frente a paisagem de Belo Horizonte, na época Curral del-Rei, deslumbrava-se e incentivava sua ocupação (Carvalho, 1998) descrevendo-a,

“[...] A matriz de Nossa Senhora da Boa Viagem de Curral d’el-Rei está situada em campos amenos na extrema planície de uma serra, onde manão imensas fontes de crystalinas e saborosas águas; o clima da região é temperado, a atmospheria é salutífera; está circulada de pedras [...];

a natureza criou este lugar para uma formosa e linda cidade [...]” (p. 102).

Daquele momento até 1897, o distrito de Belo Horizonte cresceu e tornou-se a capital do Estado mineiro, passando então a atrair as atividades comerciais, industriais e culturais, as quais propiciaram um crescente aumento da densidade demográfica na região (Carvalho, 1998). Hoje, Belo Horizonte é considerada uma metrópole e a região apresenta um contínuo crescimento populacional, assim como todos os municípios vizinhos. Por exemplo, Nova Lima foi um importante complexo minerador de Minas Gerais com extração de minério de ferro e ouro. No período de 1991 à 2000 (gráfico 2), a região metropolitana de Belo Horizonte cresceu 2,34% ao ano, enquanto Nova Lima cresceu 1,15% (IBGE, 2005 a,b; CRISP, 2005; IPPUR, 2005). Desta maneira, reconhece-se que o crescimento demográfico promove maior ocupação dos espaços e crescente pressão sobre os recursos naturais existentes.

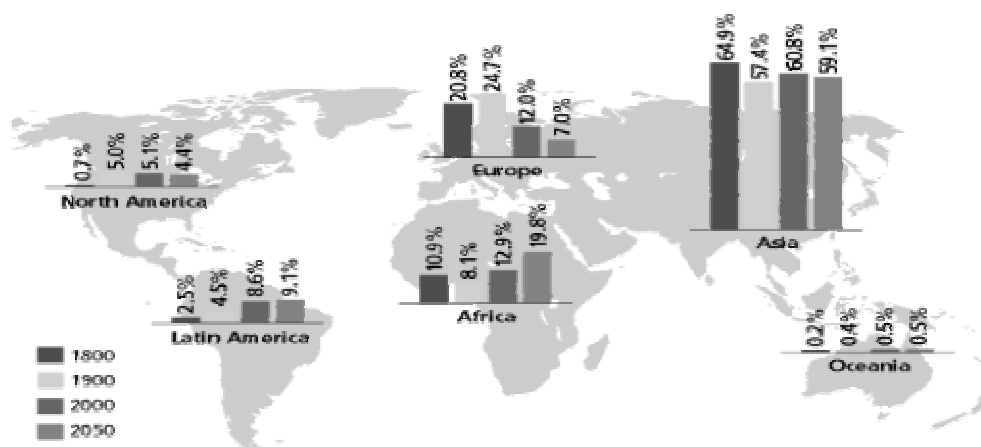


GRÁFICO 1: Crescimento Populacional até 2050.

Fonte: *Population Reference Bureau*, 2006

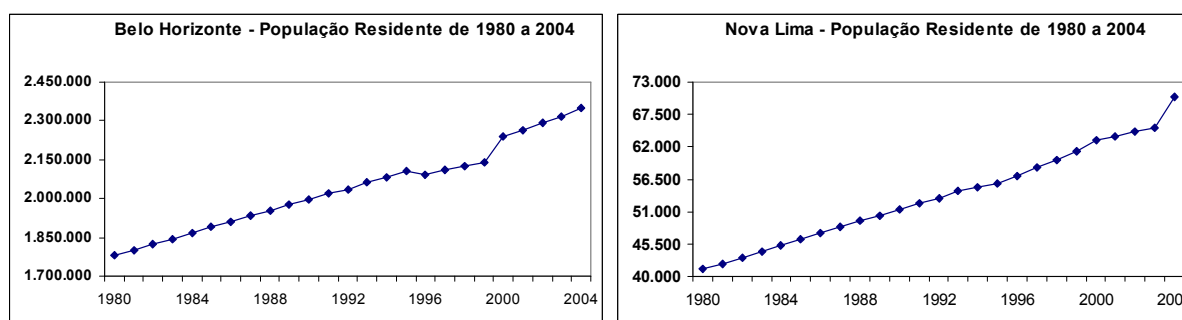


GRÁFICO 2: População Residente⁶ de Belo Horizonte e Nova Lima

Fonte: IBGE; 2005b

⁶ Os dados de 2001 a 2003 foram estimados de acordo com a taxa de crescimento anual de 1.15%.

Diante dessa problemática, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) apreensiva com a degradação dos recursos hídricos, envolvidos na captação para Belo Horizonte e Nova Lima; e com o possível déficit de abastecimento de água com qualidade e potabilidade adequados; a partir da década de 80, implantou projetos ambientais para proteção dos cursos d'água, visando manter o estágio existente de preservação e recuperar aqueles impactados (COPASA, 2005). Além disso, foi de suma importância criarem áreas de preservação aos reservatórios hídricos da região metropolitana como por exemplo a APE Mutuca, do Fechos, Manancial Bálsamo, Manancial Barreiro e outros, que contiveram a expansão demográfica na área de captação.

2.2 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A importância da conservação, da recuperação e da manutenção da biodiversidade de uma área está no fato de que protegê-los resulta em variados benefícios aos seres humanos. A conservação dos recursos hídricos e florestais assegura a qualidade da água, evita a erosão do solo, o assoreamento dos rios, garante a beleza cênica, a qualidade do ar, e as oportunidades de educação ambiental e de recreação em contato com a natureza (MMA, 2005a). Mas talvez o efeito mais importante seja o de manter estáveis os grandes ciclos ambientais e gerais do planeta, tais como: o ciclo da água, dos nutrientes e do clima.

Na década de 80, a recuperação das áreas degradadas consistia, geralmente, em plantar mudas de espécies arbóreas perenes com o simples objetivo de melhorar a paisagem, minimizar o processo de erosão, estabilizar taludes ou re-introduzir espécies arbóreas e perenes (Rodrigues & Gandolfi, 2001). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 1990) define como recuperação o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo. Isso implica na obtenção de uma condição estável em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança, significando também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um solo e uma nova paisagem.

Atualmente, com o crescente conhecimento dos processos ecológicos dos ecossistemas, a recuperação pode ser vista como uma restauração ecológica, com o objetivo de não apenas revegetar, mas restaurar o ecossistema degradado, deixando-o próximo das características apresentadas originalmente. Com o conhecimento da dinâmica das formações naturais, a recuperação passou a assumir a reconstrução dos processos ecológicos e as complexas interações da comunidade, respeitando suas características intrínsecas, de forma a

garantir a perpetuação e a evolução da comunidade no espaço e no tempo. Muitos autores mencionam que os projetos de recuperação de área degradada podem e devem interagir, significativamente, com a teoria ecológica, produzindo informações para a compreensão de ecossistemas preservados ou degradados. Portanto trataria de temas como composição florística, estrutura de comunidades, dinâmica de clareiras, regeneração natural, parâmetros estruturais e genéticos de populações e outros. Nasce então o que alguns chamam de Restauração Ecológica, que passa a enfocar principalmente os processos ecológicos do ecossistema (Rodrigues & Gandolfi, 2001), assim como, recuperar a função do ecossistema e proteger e restaurar os solos e as águas (Kageyama & Gandara, 2001).

Somado a isso, o processo de recuperação ainda pode ser realizada por um processo natural (Rodrigues & Gandolfi, 2001) ou ocorrer com alteração intencional, isto é, intervenção humana (Kageyama & Gandara, 2001). Por exemplo, caso a recuperação ocorra sem nenhuma intervenção humana, simplesmente interrompendo a perturbação, o ecossistema se restabeleceria naturalmente por sucessão ecológica denominando-se de regeneração natural. Contudo, caso tenha intervenção humana, além de interromper a perturbação, são promovidas alterações intencionais que levariam a restauração ou reabilitação do ambiente. Eventualmente, existem pesquisadores que aceitam que a área seja ocupada por organismos exóticos, contudo devem preencher o mesmo nicho ecológico e terem características próximas aos originais. Assim como também existem os ambientalistas e outros pesquisadores que são resistentes em aceitar que em uma restauração se utilize outras espécies que não aquelas ali originalmente estabelecidas.

De acordo com Aronson et al. (1995), a recuperação, normalmente, tem um objetivo pretendido e definido, o qual somente será alcançado através de uma dada trajetória que se desenvolverá no projeto de recuperação, tentando conduzir o ecossistema de volta ao estado inicial. Deste modo, a recuperação pode ser feita através de diversas trajetórias que alcançarão diferentes níveis de estabilidade permanente ou até mesmo o estado original. Para tanto, depende da trajetória percorrida pela área durante a degradação e quais foram os resultados desta no ecossistema. Isto é, se ocorre uma leve ou mediana degradação, a trajetória da recuperação é exatamente inversa da degradação, também leve ou mediana. Todavia, se a degradação for muito profunda, com forte intervenção antrópica e os limites naturais foram ultrapassados, a trajetória da recuperação terá um maior gasto de energia (custo) e várias alternativas. Isso porque a degradação impede o retorno natural à condição original e, no fim, poderá levar o ambiente somente a um estado estável permanente, mas não ao estado pré-existente (Aronson et al., 1995).

A literatura sobre recuperação de áreas degradadas apresenta diferentes nomenclaturas como recuperação, restauração (ecológica, *sensu stricto*, *sensu lato*), regeneração, reabilitação, revegetação, recomposição e outros. Tais termos representam os objetivos finais pretendidos pelo projeto numa dada área degradada, os quais dependem das condições de degradação e do grau de intervenção que deve ser aplicada para obter os resultados desejados. Normalmente, o termo recuperar já engloba todos os demais termos e refere-se às intervenções propositais no ecossistema (Rodrigues & Gandolfi, 2001).

A restauração do ecossistema tem como objetivo encontrar formas econômicas para estabilizar de forma permanente as superfícies do solo, prevenir erosão, melhorar a aparência da paisagem e, se possível, recuperar o valor produtivo das terras. Ocorre através do restabelecimento da diversidade e composição da estrutura⁷ e função⁸ do ecossistema (Kageyama & Gandara, 2001). Ela é necessária para que os ecossistemas voltem a propiciar os mesmos serviços de antes de serem degradados, para tal deve-se restaurar a composição original de espécies e da estrutura através de um programa ativo de reintrodução de espécies nativas, contudo ocorre somente se houver interrompimento do agente degradador e a estrutura física do ecossistema, principalmente o solo, não esteja severamente alterada. Somado a isso, é necessário investir uma quantidade de energia comparável com aquela que a degradou e sua ocorrência é improvável quando existir um impedimento de natureza biológica como escassez de fonte de colonização, de banco de sementes ou de dispersores (Primack & Rodrigues, 2001).

A Restauração Ecológica, de acordo com Primack & Rodrigues (2001), consiste na restauração de ecossistemas degradados e de suas comunidades biológicas, enfocando o conhecimento ecológico, com o objetivo de copiar a estrutura, funcionamento, diversidade e dinâmica original do ecossistema que foi degradado, por meio da alteração intencional através de uso de fertilizantes, irrigação, revegetação, preparação do solo, disponibilidade de sementes e outros, amenizando no máximo os custos da operação. A idéia geral é restabelecer o ecossistema, recuperando as funções e estrutura pré-existentes, restaurando a composição original das espécies, dando-lhe um valor econômico, de preservação ou cênico. Levando em consideração a velocidade da restauração, custo, confiabilidade dos resultados e habilidade de sobrevivência da comunidade final.

⁷ Entende-se por Estrutura do ecossistema, suas espécies e as interações com o ambiente abiótico e biótico, ou seja, a estrutura da comunidade vegetal.

⁸ Entende-se por Função do ecossistema, o acúmulo de biomassa, solo, água e os processos nutricionais.

Rodrigues & Gandolfi (2001) referem a restauração “sensu stricto” como o retorno completo da área degradada às condições ambientais originais, englobando os aspectos abióticos e bióticos. Uma possibilidade na maioria das vezes extremamente remota, porque primeiro não se tem conhecimento da comunidade pré-existente no local degradado, sendo possível até que tenha ocorrido extinção de espécies durante a degradação. Segundo, as condições ambientais degradadas não permitem um retorno à condição exatamente idêntica à original, sendo possível somente em casos em que a degradação antrópica ocorreu em níveis muito superficiais. Já a restauração “sensu lato” se aplica a ecossistemas submetidos a uma perturbação pouco intensa (mediana) e que tenha preservado a capacidade de se recuperar dos efeitos negativos resultantes da degradação. Considera a resiliência da área em estudo. Neste caso a área degradada não retorna exatamente a condição original, mas a um estado estável alternativo ou intermediário.

Primack & Rodrigues (2001) e Rodrigues & Gandolfi (2001) atribuem à reabilitação o objetivo de recuperar pelo menos algumas das funções do ecossistema e algumas das espécies originais, sendo uma restauração parcial. Consideram o retorno do ecossistema degradado a um tipo de estado estável alternativo, ocorrendo somente através de forte intervenção antrópica, pois o estado atual da área degradada, sem aplicação de intervenção, se manteria numa condição de degradação irreversível.

De acordo com Kageyama & Gandara (2001), a regeneração natural ocorre quando a área degradada possui algum banco de sementes ou plântulas de espécies pioneiras; ou tem áreas com vegetação natural próximas, que podem funcionar como fonte de sementes de espécies não pioneiras por dispersão natural. A presença ou ausência destas duas situações irá determinar o grau de intervenção que a área necessita. A regeneração é muito comum em regiões com uma razoável cobertura florestal remanescente e, em alguns casos, poderá ser necessária a eliminação de algumas espécies invasoras muito agressivas, que poderão retardar ou impedir a sucessão, caso as mesmas não sejam controladas. Assim áreas pouco degradadas e abandonadas tendem a ser recolonizadas naturalmente, ainda que o resultado final desse processo espontâneo de sucessão possa ser uma paisagem algo diferente da original. Na verdade, nesta situação um dos problemas mais graves é que a escala de tempo para que esse processo ocorra espontaneamente, isto é, sem uma intervenção deliberada, é medida em dezenas ou mesmo centenas de anos. E os projetos de recomposição da cobertura vegetal têm como objetivo principal a revegetação da área degradada ou desmatada, com espécies nativas e, posteriormente, sua conservação.

Em todas estas situações, as áreas degradadas são consideradas terras improdutivas

com pouco ou nenhum valor econômico, social e ambiental, consequência do uso incorreto da paisagem e, fundamentalmente, dos solos por todo o mundo (Primack & Rodrigues, 2001; Rodrigues & Gandolfi, 2001). Balensiefer (1998) menciona que área degradada é aquela sem uso econômico por causa da perda da capacidade de produção, podendo ser qualquer extensão natural que sofreu intervenções ou perturbações, antrópicas ou naturais, provocando prejuízo na capacidade do ambiente de se recuperar naturalmente. Todavia como ocorre em vários habitats, uma área degradada também possui inúmeros fatores ecológicos que afetam e são afetados pelo processo de recuperação. Estes fatores são tantos quanto a magnitude das adaptações dos organismos em relação às mudanças ambientais. Por isso, com o propósito de revelar as várias estratégias básicas da adaptação biológica com o meio ambiente, pode-se utilizar certas características abióticas e bióticas, previamente, selecionadas para a avaliação.

Assim, a recuperação de uma área degradada deve ser planejada levando-se em conta que é necessário a concorrência de múltiplos saberes, isto é, que o sucesso de tal empreitada depende de um conjunto de ações multidisciplinares a serem executadas por diversas áreas do conhecimento e de forma interdisciplinar. Por isso, este caráter multidisciplinar deve ser considerado logo na fase dos estudos preliminares da elaboração dos projetos destinados à recuperação de áreas degradadas. Desta maneira, é extremamente importante, pelo menos, a confabulação entre as disciplinas de pedologia, botânica, microbiologia, geografia, geologia, agronomia, climatologia e zoologia. Um outro aspecto importante é que esses estudos devem ser elaborados e executados de forma sistemática e em longo prazo, visto que os fatores ambientais são mutáveis, cíclicos e não lineares. Uma desvantagem observada nas pesquisas de recuperação é que são demoradas e os resultados surgem lentamente. Além disso, a restauração da paisagem com intervenções prévias podem alterar positiva ou negativamente a dinâmica da ocupação dos espaços degradados. Por isso os modelos de restauração vêm ao encontro dos estudos ecológicos para tentar responder esta observação (Kageyama & Gandara, 2001).

Deste modo, inicialmente, o projeto deve reconhecer o que é área degradada. E para se caracterizar uma área como degradada é necessário conhecer os vários usos e manejos aos quais ela foi submetida ao longo do tempo, como agropecuária intensiva, manejo inadequado do solo, urbanismo, desmatamento, exploração intensiva da vegetação, mineração, industrialização e outros (Conceição et al., 2002). Para tal o conhecimento da pedogênese e das principais características físicas e químicas dos solos são essenciais informantes quando um solo encontra-se degradado e, provavelmente, quando está em fase de recuperação. Ainda falando da caracterização, os conhecimentos da regeneração da flora e da existência da

diversidade biótica informam quando os processos ecológicos existem. As diferentes fisionomias vegetais que atuam, direta e diferentemente, no solo através de seus sistemas radiculares e, indiretamente, através da entrada da biomassa na forma de serapilheira, demonstram a situação ótima ou não do ambiente (Pires-O'Brien & O'Brien, 1995).

2.3 DINÂMICA DA OCUPAÇÃO DO ESPAÇO PELAS POPULAÇÕES VEGETAIS

A noção geral, em ecologia, é de que um organismo se torna melhor adaptado ao seu ambiente, progressivamente, no curso da evolução, em um processo de melhoramento adaptativo. Na evolução das paisagens terrestres, a vegetação desempenha papel importante, principalmente, nos processos de intemperismo. Sem a vegetação, o equilíbrio biostático natural é comprometido e os processos erosivos são acelerados. Durante as eras geológicas, as formações florestais sofreram modificações cíclicas em sua distribuição no espaço e no tempo. Em épocas climáticas favoráveis respondiam com a expansão da flora e nos momentos desfavoráveis com a retração. Portanto, o ambiente da vegetação é variável no tempo e no espaço, levando a ocorrência da heterogeneidade temporal e espacial, e, conseqüentemente, essa dinâmica afeta a intemperização local (Bigarella et al., 1996). Então como muitos fatores abióticos afetam a atividade dos organismos, é evidente, que as condições ótimas para uma espécie sobreviver pode ocorrer apenas em certos momentos (estações do ano ou horas do dia). Quase todos os organismos são afetados pela regulação do tempo e do clima, por isso devem ser capazes de suportar a ocorrência de períodos desfavoráveis em seu habitat. As plantas devem se adaptar às flutuações cíclicas das condições ambientais (Larcher, 2003).

Representando esta dinâmica, Grime (2002) formulou um modelo baseado em três estratégias primárias de sobrevivência. O modelo é baseado na visão Darwiniana, na qual é possível a coexistência entre os organismos especializados na exploração dos recursos com os tolerantes às variações das características físicas e químicas do ambiente. Mesmo porque, esta coexistência seria a única estratégia de ocupação dos espaços possível entre os organismos que representam a biodiversidade existente, daí ocorrendo a partilha de todas as estruturas espaciais do ambiente entre todos os seres vivos. As estratégias primárias devem ter sido modeladas pelo mecanismo de seleção que opera em todos os habitats e que podem ser consideradas como regras de sobrevivência em resposta à restrição que os fatores externos impõem ao organismo, e à competição interespecífica e intraespecífica. No ambiente, os

diferentes organismos estão agrupados em um único nicho⁹ e acabam disputando os mesmos recursos (hídricos e minerais) por competição e sofrendo com os mesmos estresses climáticos. Então, além da competição, os fatores externos também limitam a densidade da vegetação, em qualquer ambiente. Esses fatores podem ser classificados em duas categorias: estresse e distúrbio. Os fatores estressantes consistem no fenômeno que restringe a produção fotossintética como a escassez de luz, de água, de nutrientes ou a temperatura abaixo do ótimo. Os fatores de distúrbio estão associados com a destruição parcial ou total da biomassa da planta. Nos diversos habitats da biosfera, a intensidade de ambos – estresse e distúrbio – são enormemente variados, levando a uma produtividade e uma destruição, consideravelmente variável, dentro dos ambientes. Deve ser observado, contudo, que a taxa de produção e destruição da biomassa mostra uma variação em pequena escala, operando localmente nos indivíduos e não no habitat. Daí, aparentemente, somente três estratégias resultantes para as plantas seriam possíveis ou viáveis nos ambientes terrestres (tabela 1).

TABELA 1: Possível existência de espécies, de acordo com as três estratégias primárias nos ambientes terrestres

Intensidade do Distúrbio	Intensidade do Estresse	
	Baixo	Alto
Baixo	C (competidores)	S (tolerantes ao estresse)
Alto	R (ruderais)	Estratégia não viável.
Produtividade	Alta	Baixa

Fonte: Grime, 2002, p. 8

As estratégias C, S e R representam os extremos das especializações evolutivas e são representadas por espécies competidoras (C), tolerantes ao estresse (S) e tolerantes aos distúrbios ambientais (ruderais, R). A estratégia não viável seria as condições ambientais onde nenhum organismo tolera, continuamente, a baixa fonte de suprimento com uma frequente destruição. Daí, existe um ambiente insustentável à vida da vegetação, onde a alta intensidade do estresse leva a uma baixíssima produção, a qual somada a uma alta taxa de destruição termina por eliminar completamente a vegetação do local (Grime, 2002).

Com respeito aos competidores, estes são espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas

⁹ Nicho é a descrição quantitativa das exigências de uma espécie em dado local e as delimitações entre estas espécies.

perenes que, rapidamente, monopolizam o habitat produtivo com seu crescimento ligeiro, e assim, consolidam-se no local e ocupam, ativamente, o solo através de seus brotos e raízes. As características genéticas que favorecem a plasticidade fenológica e fenotípica dos competidores permitem uma alta taxa de aquisição dos recursos para a produção e para o crescimento da planta. A vantagem aparente dos competidores é a sua alta flexibilidade e o potencial de responder rapidamente às mudanças na distribuição dos recursos dentro do ambiente. Deste modo, a seleção natural parece favorecer as plantas que são mais bem equipadas para capturar o excedente dos recursos (acima e abaixo do solo) e para maximizar a produção da biomassa. Além disso, essas espécies possuem potencial para produzir uma densa cobertura de folhagem e uma grande área superficial de raízes, durante o período do ano quando as condições são mais favoráveis para a alta produtividade; e a capacidade de um rápido ajuste morfogenético, tanto na partilha dos produtos da fotossíntese entre raiz e broto, como na distribuição individual das folhas e raízes, envolvendo uma alta taxa de reinvestimento da captura dos recursos para o crescimento e para a respiração (Grime, 2002).

Para Ricklefs (1996), em muitos casos, a competição interespecífica tem sido considerada como responsável pela distribuição espacial dos organismos, enquanto que, para Larcher (2003) a resposta evolutiva das adaptações dos organismos às diferentes condições ambientais, é o responsável, daí durante a evolução, os organismos se adaptaram a um nicho particular. Além disso, Grime (2002) menciona que existem outros fatores inibitórios como a predação e o parasitismo, e que a competição surge apenas quando o número de indivíduos exaure a capacidade do habitat.

A competição se torna vigorosa entre as plantas que tentam conquistar, simultaneamente, um habitat recém-formado. As que chegam primeiro e apresentam alta reprodução e crescimento acelerado ocupam quase inteiramente o espaço, de maneira que os retardatários são barrados ou excluídos. Como as plantas não são capazes de selecionar um habitat ótimo, a distribuição das plantas vasculares constitui, amplamente, o resultado de marcada competição interespecífica, isto é, espécies melhor adaptadas ao ambiente sobrepujam outras menos adaptadas (Ricklefs, 1996). De modo gradual, ocorre um processo cíclico onde as espécies dominantes vão sendo trocadas por outras espécies mais adaptadas às mudanças em processo. Contudo, uma comunidade artificial de plantas, por exemplo gramíneas, que foi protegida da pressão da competição logo que introduzida no ambiente, quando adulta não necessita mais de proteção, sendo bastante competitiva e estável no momento que se torna estabelecida e, conseqüentemente, resiste à pressão da comunidade nativa (Souto & Aronovich, 1992). E, possivelmente, mantém-se por muitas décadas, antes

que, vagarosamente, ceda o lugar à vegetação natural. Por isso, tais gramíneas podem viver indefinidamente e excluir ou prejudicar a vegetação natural (Grime, 2002).

Com respeito aos tolerantes ao estresse, que podem ser líquens, herbáceas, arbustos ou árvores perenes, geralmente, apresentam expansão vegetativa como estratégia regenerativa, contudo sua produção da biomassa está sujeita a variedade das restrições ambientais. Isso decorre do fato de que os ambientes estressantes apresentam séria restrição a produção, pois o estresse é o fator limitante externo que decresce a taxa de produção da biomassa no todo ou em parte da vegetação. Os mais frequentes fatores são a carência ou o excesso no suprimento de radiação solar, de água e de nutrientes – cumulativa ou isoladamente. No decorrer do ano, vários fatores estressantes podem operar intermitentemente no mesmo habitat. As espécies de plantas, e até genótipos diferentes de uma mesma espécie, podem diferir na susceptibilidade das formas particulares de estresse e, em consequência, cada uma exerce um diferente efeito na composição da comunidade vegetal. Além disso, certos fatores estressantes podem ser originados da própria planta ou podem ser intensificados por ela. Os tipos mais importantes de plantas induzidas pelo estresse são aquelas que surgem do sombreamento e da depleção dos níveis dos nutrientes do solo seguido por sua acumulação na biomassa da planta. O estresse pode ocorrer em ambientes produtivos ou não produtivos, perturbados ou não (Grime, 2002). Por exemplo, as plantas C4 são restritas às regiões onde a radiação solar é muito intensa e apresentam alta produtividade, como por exemplo, as ervas daninhas tropicais que são agressivas, produtivas e largamente espalhadas (herbáceas pioneiras). As plantas C4 superam as C3, porque essas últimas, fisiologicamente, fazem fotorrespiração. Processo esse onde as plantas deixam de produzir consideráveis quantidades de biomassa por problemas na evapotranspiração, principalmente, durante o dia. Isso ocorre porque durante a fotorrespiração as plantas C3 diminuem a obtenção de energia. E as plantas C4 não têm este problema, mas necessitam de maior quantidade de energia luminosa para sua fotossíntese. Também, o crescimento das plantas é bastante afetado pela quantidade de luz recebida pelo fitocromo (hormônio regulador da fotomorfogênese). Somado a isso, plantas sob falta de água ou condições de escassez de minerais, geralmente, elaboram um sistema de raízes maiores e usualmente profundas (Larcher, 2003).

Assim como ocorre no estresse também nos distúrbios o impacto na vegetação muda de acordo com sua intensidade. O distúrbio é o mecanismo que limita a biomassa causando sua parcial ou total destruição. Podem ser causados por fenômenos ecológicos e climáticos (herbívoria, parasitismo, agentes patógenos, erosão severa, inundação, desertificação, geadas) ou por impactos antrópicos (incêndio, desmatamento, pastagem, locomoção, pisoteio,

aragem). Os efeitos da herbívoros, patógenos e parasitismo tendem a ser restritos e individuais, enquanto que os fenômenos climáticos podem afetar a vegetação local ou até todo um ecossistema.

As ruderais ou tolerantes aos distúrbios, que podem ser plantas anuais, bienais ou perenes de vida curta, têm como especialização a adaptação para explorar os ambientes, intermitentemente, favoráveis a um crescimento rápido. Possuem capacidade para altas taxas de produção de biomassa, o que aparentemente facilita a rápida realização e finalização do ciclo de vida e maximiza a produção de sementes. Em muitas ruderais, a floração começa nos primeiros estágios do desenvolvimento e o processo de amadurecimento da semente pode ser extremamente rápido. Em relação a resposta ao estresse ambiental, as ruderais podem surgir tanto em ambiente com escassez de água quanto de minerais, independente se o estresse ambiental é devido a depleção dos recursos pelas plantas vizinhas ou se é devido a um ambiente naturalmente desfavorável (Grime, 2002).

Deste modo, em ambientes relativamente não perturbados, a perda da biomassa vegetal é um processo mais ou menos contínuo associado com a taxa, comparativamente, baixa da predação com a senescência e a decomposição da serapilheira (Odum, 1985). Nos ambientes em que a vegetação foi morta, mas a biomassa permanece *in situ*, ocorre dois processos de destruição. Inicialmente, há uma rápida perda dos solutos, seguida por uma fase bastante longa em que os resíduos da estrutura da planta são decompostos. Em ambientes potencialmente produtivos, baixas intensidades de distúrbios funcionam como um modificador da competição favorecendo as espécies que tendem a manter sua habilidade competitiva em evitar o prejuízo do distúrbio ou que se recuperam rápido dos seus efeitos. Em ambientes expostos repetidamente a distúrbios severos é observado que os competidores são excluídos e poucas estratégias diferentes das plantas ruderais prevalecem. Em ambientes com repetidos distúrbios ocorre uma alta taxa de mortalidade da vegetação, sendo, portanto, esperado que a seleção natural favoreça colonizadores que produzam e amadureçam, rapidamente, suas sementes. Ao contrário, na ausência de distúrbios, as plantas ruderais têm vida curta sendo a maioria anual, e a produção de semente é seguida imediatamente pela morte dos pais (Grime, 2002).

No entanto, como Grime (2002) menciona anteriormente, as estratégias primárias (C, S, R) são características da alta especialização das plantas e o que ocorre na natureza é um fator se interrelacionando com os outros, daí, surgem as plantas com as estratégias secundárias. As estratégias secundárias são as diversas formas de combinação e associação entre as plantas competitivas, tolerantes ao estresse e tolerantes aos distúrbios, representando

a variação da importância relativa destas características como determinantes da comunidade vegetal. Estas combinações são os resultados ambientais com variadas intensidades e intermediações entre a competição, o estresse e o distúrbio. São propostos quatro principais tipos de estratégias secundárias, a saber:

- C-R: plantas adaptadas as circunstâncias na qual há um baixo impacto de estresse; e a competição é restringida a uma intensidade moderada de distúrbio;
- S-R: plantas adaptadas a habitats facilmente perturbados e improdutivos;
- C-S: plantas adaptadas às condições relativamente não perturbadas, que experimentam intensidades moderadas de estresse; e
- C-S-R: plantas adaptadas aos habitats onde o nível de competição é restringido pelas intensidades moderadas de estresse e distúrbio.

A figura 1 é um modelo das diversas combinações entre as plantas competitivas, tolerantes ao estresse e tolerantes ao distúrbio e ilustra as circunstâncias (localização espacial) em que as estratégias primárias e os vários tipos de estratégias secundárias podem ocorrer. Os vértices do triângulo representam as estratégias primárias, consistindo de ambientes, exclusivamente, formados pela vegetação especializada, enquanto que as demais áreas do triângulo correspondem as diversas circunstâncias de coexistência que são possíveis entre C, S e R na natureza.

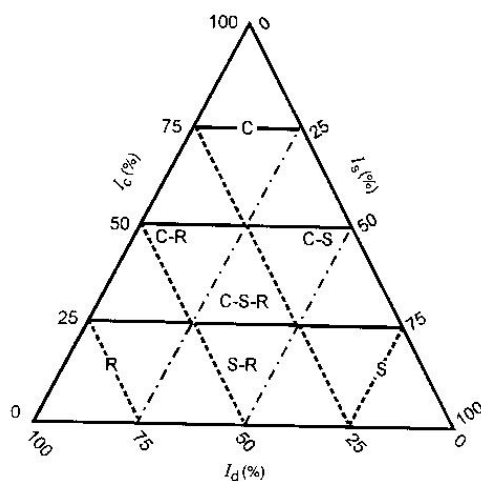


FIGURA 1: Diagrama das estratégias primárias e secundárias.

I_c – importância relativa da competição; I_s - importância relativa do estresse; I_d - importância relativa do distúrbio; C – espécies competitivas; S - espécies tolerantes ao estresse; R – espécies ruderais ou tolerantes ao distúrbio. Fonte: Grime, 2002, p. 117

Estas estratégias propõem uma faixa de circunstâncias onde a vegetação pode ou não existir e persistir, sugerindo que os fenômenos ambientais ditam os intercâmbios entre C, S e R, e assim, estreitam as respostas evolutivas das plantas para uma limitada faixa de caminhos

alternativos e possíveis. Por causa disso, as plantas na evolução, em termos de adaptação às condições ambientais, foram modificando suas formas de vida¹⁰, a arquitetura do crescimento do tronco e das raízes e a distribuição das folhas. Desta maneira, é observado que inúmeros tipos de formas de vida podem coexistir em um mesmo habitat. Por exemplo, espécies com folhas periféricas que sobrevivem melhor sob luz fraca e podem brotar na sombra densa do solo da floresta são espécies que apresentam estratégia secundária C-S. Já as plantas com áreas de maior atividade fotossintética, possuem folhas capazes de crescer mais rapidamente e, assim, podem mais rapidamente conquistar novos locais disponíveis são espécies que podem ter estratégias C-R (Grime, 2002).

O intercâmbio seria, então, um dilema evolutivo da espécie, onde as mudanças genéticas conferem um aumento na aptidão de sobrevivência em uma certa circunstância, mas, inevitavelmente, determina o sacrifício da aptidão para outras circunstâncias. O desenvolvimento da poliploidia (multiplicação do conjunto de cromossomos) entre as plantas é uma forte ferramenta na adaptação das condições ambientais, pois a superabundância de informação genética parece favorecer a sobrevivência destas (Futuyma, 1992). Os mais importantes intercâmbios envolvem as atividades centrais de captura de nutrientes, crescimento, reprodução, defesa e armazenamento. As características ecológicas e as estratégias ditarão as propriedades gerenciadoras da adaptabilidade das espécies, e cada organismo terá um limite de adaptação ao ambiente, pois se adaptam às condições biogeoquímicas do mesmo de modo distinto. Desta maneira, usualmente, as comunidades vegetais demonstram semelhanças fisiológicas, pois vivem sob condições ambientais idênticas ou semelhantes que são os nichos ecológicos (Larcher, 2003).

Deste modo, muitos estudos voltados para a avaliação da regeneração natural enfatizam a estrutura da comunidade florística, verificando a sobrevivência e o crescimento dos indivíduos, sob diferentes condições de luminosidade, umidade, temperatura, acidez e ciclagem de nutrientes, no interior da floresta ou em áreas abertas (Bigarella et al., 1996). A existência de determinadas espécies vegetais nos nichos está associada às mudanças ambientais, que podem ser cíclicas ou sucessionais.

Nas mudanças cíclicas, as espécies com estratégias semelhantes retraem e expandem seu território em diversos e curtos intervalos de tempo - anual ou bienal, enquanto que, nas sucessionais, ocorre uma alteração progressiva na composição e estrutura das espécies

¹⁰ As formas de vida, normalmente, são ditadas pelo tamanho do organismo e referem-se ao broto e às gemas de crescimento.

florísticas, as quais vão englobando as mudanças cíclicas que ocorrem no ambiente. As mudanças sucessionais, usualmente, afetam tanto a composição das espécies quanto as formas de vida presentes no ecossistema. O avanço distinto das espécies vai alterando, gradualmente, a estrutura horizontal e vertical do ambiente. A este avanço denomina-se processo de sucessão, o qual é o mais importante e desejado nas áreas degradadas em fase de restauração (Spurr & Barnes, 1980; Pires-O'Brien & O'Brien, 1995).

A ocorrência do processo de sucessão, por exemplo, em habitat inóspito (geralmente sem solo e sem vegetação) se dá através de uma primeira colonização de seres vivos, principalmente por fungos, líquens, briófitas e plantas inferiores. Este processo é denominado de Sucessão Primária. No caso de habitats degradados pelo homem ou perturbados por catástrofes naturais, ocorre uma recolonização pelos seres vivos, sendo denominada de Sucessão Secundária. A sucessão secundária ocorre após distúrbios, natural ou não, no ambiente, como por exemplo, incêndio, terremotos, furacão, inundação, agropecuária intensiva ou desmatamento. Contudo, nestes casos, o processo não se inicia da “estaca zero” como na sucessão primária, porque a vegetação, anteriormente existente, deixa seus efeitos no ambiente, isto é, existe um solo, um banco de sementes e alguma serapilheira ou cinzas, que no processo serão transformados em nutrientes, mesmo que o ambiente ainda esteja perturbado (Grime, 2002).

Além disso, o êxito da sucessão secundária depende diretamente da resiliência ambiental, ou seja, da capacidade do ecossistema retornar a seu estado de equilíbrio dinâmico, após sofrer alteração ou perturbação. Portanto a resiliência é o potencial de regeneração, ou melhor dizendo, é a medida da capacidade de um ecossistema absorver tensões ambientais sem mudar seu estado ecológico, perceptivelmente, para um estado diferente (Zedler & Cooper, 1980). Contudo o grau de perturbação não pode ultrapassar o limite da elasticidade (ou flexibilidade) ambiental, por isso que a intensidade e a longevidade das perturbações vão, de certo modo, determinar a resiliência, porque demonstram a persistência dos processos internos do sistema mesmo com perturbações (Holling, 1973). Deste modo, a resiliência somada a flexibilidade do ecossistema frente às mudanças ambientais, e sua aptidão de se adaptar a essas perturbações, irão determinar a saúde ou qualidade do ecossistema e a rapidez com que o ambiente irá se recuperar (Aronson et al., 1995).

Desta maneira, confia-se que o processo de sucessão conduza de fato à sucessão vegetal, conforme a resiliência do ecossistema; e a sucessão secundária terá como seqüência de recolonização a gradual representação de plantas anuais e bienais, e, posteriormente, herbáceas, arbustos e árvores perenes, bem como uma dispersão mais efetiva de algumas

plantas sobre outras. A hipótese de Grime (2002) é que mais espécies entram no processo mais tarde e todas elas apresentam diferentes taxas de colonização e crescimento, sugerindo um modelo de inibição e tolerância na dinâmica da vegetação, que é representado por seu modelo C-S-R.

A estratégia (primária e secundária) das espécies, provavelmente, é o fator de maior peso no processo de sucessão, sendo um mecanismo relacionado com a variedade morfológica, fisiológica e genética entre os diversos organismos. Por exemplo, os indivíduos tolerantes ao estresse nutricional são comuns em circunstâncias em que existe absoluta deficiência de nutriente e baixa biomassa local, ou são encontrados nos ecossistemas que apresentam média a alta biomassa viva, porém o grande estoque de nutrientes é demasiadamente reciclado e escassamente disponível, portanto o habitat é improdutivo¹¹. A sucessão secundária pode ocorrer tanto em ambientes produtivos como em improdutivos, a principal diferença do processo entre estes ambientes será o tempo necessário para apresentarem características de um ambiente equilibrado e maduro, isto é, ambiente oligotrófico apresentando uma heterogeneidade vertical e horizontal da flora e alta diversidade de seres vivos (Ricklefs, 1996).

Adicionando a isso, o processo de sucessão secundária pode ser explicado em 3 fases: inicial, intermediária e final. Na fase inicial da sucessão (figura 2, S1), o processo é dominado pelas espécies tolerantes a distúrbio e competitivas, existindo pouca ou nenhuma tolerante ao estresse. A densidade das ruderais (tolerantes a distúrbio) estará relacionada com o grau de perturbação ocorrido no local. Existirão indivíduos de lento e rápido desenvolvimento, e muitos serão tolerantes a sol pleno e ao distúrbio ocorrido. Caso ocorra a existência de algumas plântulas de sucessão tardia e que apresentam uma longa fase juvenil, estas estarão sujeitas a supressão pelas ruderais, pois estes quando se estabelecem (com alta taxa de crescimento, rápida produção de biomassa, alta capacidade de dispersão) têm efeitos negativos sobre as mudas e plântulas de muitas espécies lenhosas (Grime, 2002). Portanto, pode-se dizer que, a recolonização se dá, inicialmente, por uma vegetação constituída, na maioria, de herbáceas anuais e bienais, com poucas espécies perenes competidoras.

Na fase intermediária (figura 2, S2), nota-se uma tendência das herbáceas perenes, arbustos e árvores dominarem. As circunstâncias ambientais estarão apresentando moderada influência de estresse, de distúrbio e de competição, favorecendo a existência de vegetação com as estratégias secundárias. Apresentarão forma de crescimento com ramificação dos

¹¹ Neste caso entende-se por Ambiente Improdutivo, aquele que apresenta baixo teor de nutrientes minerais.

brotos e propagação lateral da cobertura foliar, podendo assim, competir por luz com as primeiras colonizadoras. As herbáceas colonizadoras, gradualmente, perdem seu vigor e a população é reduzida e substituída por outras plantas, por exemplo, tolerantes à sombra (Grime, 2002). Isto ocorre porque cada espécie florística, demonstra comportamento diferenciado quando submetida às diferentes variações de sombreamento, resultando em espécies tolerantes ao estresse do sombreamento (carência de luz). Deste modo, algumas espécies lenhosas, presentes na fase S2 e S3, costumam apresentar brotos tolerantes a sombra e rápido reajuste fenotípico foliar (figura 3). Este reajuste foliar envolve mudanças morfológicas e fisiológicas das células da folha para adaptar-se à sombra e ao sol, e assim manter-se no ambiente (Larcher, 2003).

Contudo, nem todas as espécies da fase S2 são tolerantes ao sombreamento intenso que vai sendo, gradualmente, promovido pelo crescimento dos indivíduos arbóreos. Assim com o passar do tempo, as árvores existentes antes como plântulas, alcançam a maturidade e formam áreas maiores de sombreamento que, ao mesmo tempo, reduzem o vigor de muitos arbustos e herbáceas não tolerantes a este estresse, levando-as a sucumbir à sombra, com posterior vigor das espécies tolerantes a variada graduação de luminosidade. Normalmente, as árvores tolerantes à sombra apresentam baixa taxa de crescimento e meia-vida relativamente longa, e podem, portanto estarem presentes desde a fase inicial da sucessão e não serem perceptíveis no primeiro estágio (Grime, 2002).

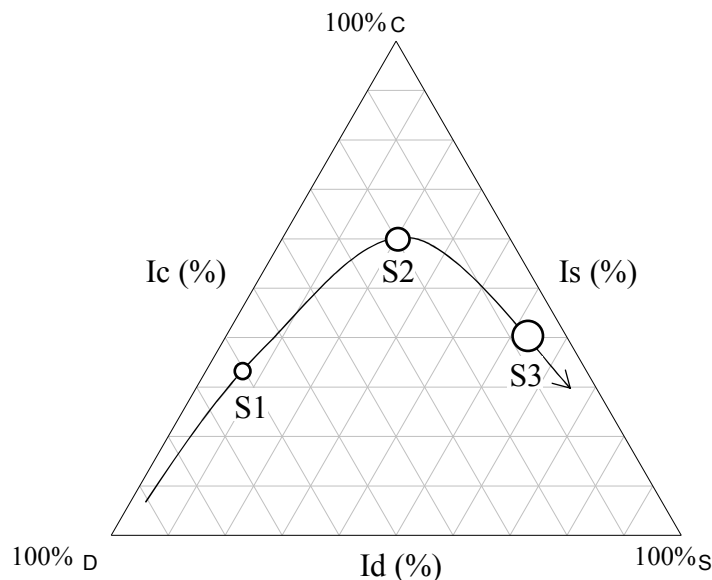


FIGURA 2: Dinâmica das populações vegetais.

C – competidores; S – tolerantes ao estresse nutricional; D – tolerantes a distúrbios

Fonte: Grime, 2002, p. 248

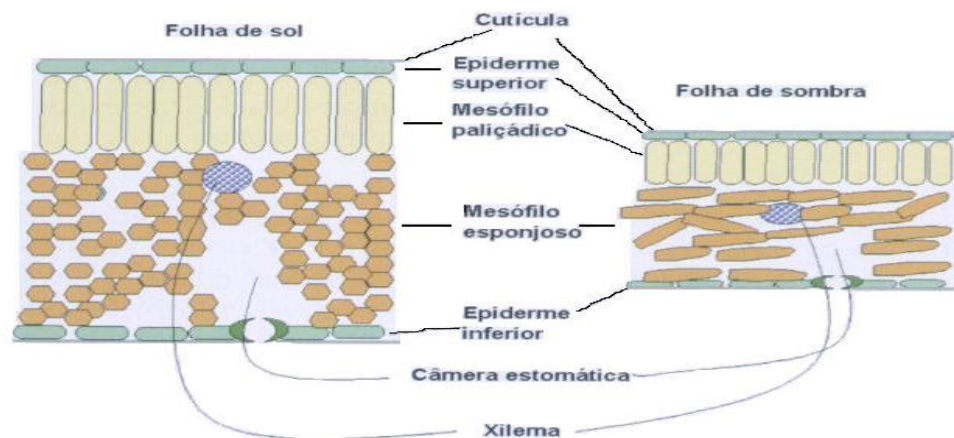


FIGURA 3: Reajuste fenotípico foliar com mudança morfológica da folha.
 Fonte: Moreira, 2004, p. 93

Na fase tardia da sucessão (figura 2, S3), provavelmente, predominam as espécies perenes tolerantes ao estresse tanto de luminosidade quanto nutricional e de umidade. Muitas também serão competidoras, portanto serão árvores competidoras tolerantes ao estresse. Estas são denominadas como árvores clímax, atingindo grandes tamanhos e dominando a floresta. É esperado que nesse estágio predomine a escassez de nutrientes minerais pela alta produtividade de biomassa viva. Ao longo desta fase deve ocorrer a redução da competição pela estratificação das raízes através das profundidades alcançadas no solo e pela alelopatia; da resposta radicular aos diferentes pHs do solo; e do estresse do sombreamento pela produção de folhas, morfofisiologicamente, adaptadas à captura dos gradientes de luminosidade. Somado a isso, as espécies ruderais não existirão, pois considera-se que este ambiente já não sofra tantas perturbações ou que apresente ainda os efeitos do distúrbio. Para Odum (1985), o mecanismo de retenção e recaptura dos nutrientes minerais, provavelmente, é o fator decisivo e seletivo em uma floresta clímax. Pode até existir uma alta produção de nutrientes na forma de serapilheira, contudo estes são seqüestrados rapidamente pela biomassa viva e conservados no sistema fechado e, bastante eficiente, da ciclagem de nutrientes.

Além disso, com o desenvolvimento e amadurecimento da floresta, ocorre uma imposição de limitações de carbono e energia durante a fase de estabelecimento, resultado do sombreamento do dossel contínuo e denso, que por sua vez atua diminuindo a taxa de produção fotossintética. A camada de serapilheira no solo não deve ser impedimento para a maioria das sementes das árvores nativas, as quais devem ser capazes de germinar debaixo dessa camada e crescer através dela. Se a decomposição da camada de serapilheira ocorrer tão lentamente que a camada fique muito densa, a floresta não pode se regenerar. É o que pode

ocorrer nos climas com sazonalidade bem demarcada com o período da estiagem maior que o da precipitação. Por outro lado, se a camada for muito fina devido à rápida decomposição, outras plantas formarão uma densa vegetação rasteira e evitarão a germinação das sementes das árvores, bloqueando o crescimento das plântulas, fato possível de ocorrer nos climas tropicais úmidos. Também, em consequência da ação do clima, a vegetação promove um microclima local, que influencia a produção de húmus, a temperatura e a umidade do solo, que por sua vez influi sobre a estrutura do solo e na germinação de novos indivíduos terminando por “condicionar” todo o ecossistema (Pires-O’Brien & O’Brien, 1995).

Então, de modo geral, o processo de sucessão é um fenômeno complexo envolvendo graduais e progressivas mudanças no solo, no microclima, nas espécies florísticas e faunísticas, na ciclagem dos recursos minerais e nos processos ecológicos (estratégias de vida, competição, dominâncias, herbivoria e outros). Com esta visão do processo sucessional, pode-se então dizer que o solo é um recurso básico que suporta toda a vida no planeta, desde as mais simples formas como os microrganismos, passando pela enorme diversidade da flora e da fauna, até chegar a vida humana. Se o solo perde sua qualidade, torna-se menos produtivo tanto na visão conservacionista quanto na visão agrícola. Apesar de muitos pesquisadores considerarem que o solo possui a capacidade de se renovar, com o aumento populacional e os usos inadequados exigiu-se mais do que este pode suportar, colocando em dúvida a sua capacidade de manter o mesmo padrão de qualidade para o futuro. Algumas pesquisas já demonstram uma contínua destruição do solo pelo uso e manejo incorreto, que vão além da resiliência, ou seja, da capacidade do solo em recuperar sua função (Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Outras pesquisas estão voltadas para análise de indicadores ambientais pedológicos que permitam avaliar o complexo processo de degradação ou recuperação dos ambientes naturais.

2.4 INDICADORES AMBIENTAIS

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2005) é considerado indicador ambiental as avaliações numéricas ou índices que reflitam a situação da qualidade do meio como ar, água e solo, assim como outros recursos naturais como a fauna e a flora. Para que possa ser considerado um indicador, este deve identificar os parâmetros que informem a qualidade ambiental ou o estado dos recursos naturais e possibilitar a fácil mensuração e interpretação dos resultados, informando a qualidade ambiental aos formuladores de políticas públicas e à sociedade em geral (MMA, 2005b). Deste modo, pode-se entender por

Indicadores Ambientais os atributos ou características, que indiquem numericamente o atual “modus operandi” do ambiente. Normalmente, são variáveis de pesquisa usadas para avaliar o desempenho dos processos ambientais, tentando identificar as tendências ao longo do tempo, quando monitoradas nas variadas metodologias de pesquisa. Os indicadores são estudados em diversas áreas de conhecimento como ecologia, agronomia, engenharia florestal e outros. Surgem com variadas nomenclaturas como: indicadores de qualidade do solo, indicadores de recuperação de áreas degradadas ou indicadores de produtividade. Geralmente, o foco de análise está voltado para o ambiente e suas características atuais. Além disso, devem possuir como principais predicados: objetividade e repetibilidade, quando avaliam a característica desejada e são repetidos em outras pesquisas; validade, por serem baseados em metodologia científica; sensibilidade, para reconhecerem as mudanças; e especificidade, por traduzirem fielmente o que está sendo avaliado (Islam & Weil, 2000; D’Andréa et al., 2002; Leonardo, 2003; Conceição et al., 2002; Conceição et al., 2005). Os indicadores mais utilizados referem-se à análise dos atributos físicos-químicos-biológicos do solo e à análise do processo ecológico, normalmente, através das características fisiológicas-morfológicas-ecológicas das plantas e animais.

De modo geral, os indicadores de recuperação de área degradada tendem a avaliar as condições ecopedológicas do ecossistema, envolvendo todos os compartimentos do sistema (por isso, também, podem ser considerados indicadores de qualidade de solo, pois avaliam a recuperação da função do solo). Sabe-se que parte da capacidade de recuperação de um determinado solo pode ser intrínseca à pedogênese, ou seja, aos fatores de sua formação como os minerais e o relevo, contudo existem outros compartimentos como clima, matéria orgânica e processos ecológicos, que interferem na recuperação. Por exemplo, o material de origem imprime um limitado recurso mineral, o qual é bastante variado conforme a geologia local. Condicionado ao material geológico encontra-se um relevo, o qual sofre ações diretas do clima - que atua principalmente pela temperatura, precipitação e ventos - causando uma contínua intemperização dos minerais do material de origem (Andrade, 1998). O relevo, por sua vez, determina a intensidade da ação dos ventos, da água e da temperatura sobre o material, interferindo na passagem ou como barreira dos ventos, na drenagem natural, na umidade e na incidência da radiação solar. Por último, mas não menos importante, atuam os organismos, com maior ênfase para os microrganismos, os insetos e os vegetais, por sua densidade e ação direta e contínua sobre a litosfera (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Assim sendo, é importante estudar e analisar todos os atributos que indiquem o nível de qualidade ou degradação do solo, de modo mais amplo e multidisciplinar, relacionando os

aspectos biológicos, pedológicos, climatológicos e geomorfológicos, atributos que influenciam a pedogênese. Deve-se, também, considerar o histórico de uso do solo por causa do efeito que produz sobre os atributos sensíveis (por exemplo, os agregados) às mudanças promovidas durante o manejo, ao longo do tempo (EMBRAPA, 1983).

Atualmente, existe um conjunto de indicadores propostos em vários estudos para avaliar a recuperação de áreas degradadas e a sustentabilidade do manejo, e que podem ser divididos em bióticos (bioindicadores) e abióticos (pedoindicadores). De acordo com Martins (2001), enquanto os indicadores abióticos, geralmente, são avaliados sobre os atributos do solo (estabilidade dos agregados, textura, estrutura, entre outros), os bióticos podem ser avaliados em relação à vegetação (regeneração natural, banco e dispersão de sementes, dimensão radicular, produção de serapilheira, outros) e à pedofauna (formigas, térmitas, minhocas, outros).

Islam & Weil (2000) agruparam alguns indicadores em efêmeros, permanentes e intermediários. Os indicadores efêmeros são, normalmente, os atributos que se modificam com o uso e manejo do solo e que ocorrem em curto prazo de tempo, como por exemplo, a umidade, a densidade, a porosidade (estrutura e agregação), o pH e a quantidade de nutrientes. Os permanentes estão relacionados com a pedogênese como a profundidade, horizontes e camadas restritivas, textura e a mineralogia; e os intermediários têm papel importante e crítico nas funções ecológicas do ecossistema, portanto, os de maior importância na avaliação da qualidade do solo, sendo estes a atividade microbiana e o carbono orgânico ativo e total.

Estudos recentes mostram que a agregação do solo e a distribuição radicular da vegetação também podem tornar-se úteis indicadores, tanto da qualidade do solo, como de sua recuperação, quando analisadas em áreas degradadas. Isto sugere que, os indicadores da qualidade do solo, tanto abióticos como bióticos, poderão ser muito úteis em programas de monitoramento de áreas degradadas e de recuperação, ou em planos de manejo voltados à conservação (D'Andréa et al., 2002; Muzzilli, 2002; Wendling et al., 2005; Bastos et al., 2005).

Para Conceição & Amado (2004) e Cercal & Oliveira (2005), a qualidade do solo pode ser avaliada através das principais características físicas, químicas e biológicas que cada tipo de solo apresenta naturalmente, isto é, sem impactos antrópicos, pois algumas propriedades do solo podem ser monitoradas e, assim, possibilitam a composição de indicadores pedológicos que avaliem a qualidade ou a recuperação do mesmo. Deste modo, os parâmetros mais apropriados, para fazer uma avaliação, devem abranger as variáveis físicas como a erosão, a textura, a densidade de partículas e do solo, a umidade gravimétrica e a

estrutura; e as variáveis químicas como os macro e micronutrientes, os metais pesados, o carbono orgânico e a matéria orgânica. Completando a avaliação, também devem ser avaliadas algumas variáveis biológicas como a porcentagem de cobertura do solo, o peso seco e a composição química da serapilheira, a distribuição de raízes no perfil, a avaliação da população e biomassa microbiana e a caracterização da mesofauna.

D'Andréa et al. (2002) mencionam, nos seus estudos edáficos, que alguns atributos físicos do solo podem ser possíveis indicadores de qualidade, como por exemplo, a estabilidade dos agregados. Beutler et al. (2001) mencionam que o estado de agregação do solo é sensível ao manejo em uma escala de tempo, permitindo assim o acompanhamento de suas alterações e suas conseqüências na qualidade/degradação. Além disso, o estado de agregação indica mudanças no tamanho e na estabilidade dos agregados. D'Andréa et al. (2002) observam que a estabilidade dos agregados pertence a um conjunto de dados propostos para o monitoramento da qualidade do solo, que inclui um índice conceitual de qualidade relacionado com a resistência do solo à degradação. Alvarenga et al. (1986), Andreola et al. (2000), Bastos et al. (2005) e Wendling et al. (2005) consideram, também, que os estudos voltados para a cobertura vegetal e material orgânico também são importantes, visto que avaliam os efeitos da cobertura viva e morta na agregação.

2.4.1 Pedoindicadores

O principal substrato terrestre, onde ocorrem inúmeras reações químicas, físicas e biológicas, sob a influência rítmica do clima, é o Solo. É na litosfera, propriamente no solo, que ocorre a interface entre as várias esferas terrestres (atmosfera, hidrosfera e biosferarizosfera). Ele está integrado ao ecossistema e é originado por mecanismos complexos e interligados entre si. De modo geral, é um substrato composto de fragmentos e partículas decompostas da rocha consolidada subjacente, com íntima interação com a precipitação, a radiação solar e as plantas (efetivamente com seus sistemas radiculares). Apresenta características físicas e químicas próprias que afetam o desenvolvimento vegetal e toda e qualquer atividade biológica da pedofauna, constituída principalmente pelos microrganismos (bactérias, fungos), anelídeos e insetos (Larcher, 2003). Os fatores de sua formação como material de origem, clima e tempo promovem o surgimento do relevo e tipo de solo, que é diretamente muito influenciado pelos organismos, que interferem na pedogênese local.

O solo, de certa maneira, é um recurso finito e não renovável, pois o material de

origem, o relevo e os organismos se diferenciam com o transcorrer da pedogênese. As características atuais do solo são a resultante entre o intemperismo (taxa de pedogênese) e a erosão (retirada de material). O intemperismo é o resultado das complexas interações dos cinco principais fatores de formação, enquanto a erosão é a retirada da camada superficial ou subsuperficial do sistema local. O primeiro é provocado por mecanismos físicos (adição, translocação, perda do material; efeito do vento, da água e da temperatura sobre a rocha promovendo sua ruptura) e mecanismos químicos (hidrólise, oxiredução, carbonatação, acidificação e outros que promovem a transformação ou decomposição do material de origem). Estes mecanismos formarão os perfis pedológicos com seus horizontes, diferenciados pela composição da massa orgânica e mineral existente (Krauskopf, 1972; Bornemisza, 1982; Bigarella et al., 1996).

Grande porção do território brasileiro apresenta clima tropical com intensa precipitação e elevadas temperaturas, as quais produzem, conseqüentemente, um processo intenso de intemperismo, que acabam formando solos mais evoluídos e mais ácidos. Nestas regiões, os mecanismos químicos são mais acentuados do que os físicos, principalmente pela grande quantidade de radiação solar (temperatura) e precipitação. Estes, em conjunto com as atividades biológicas, serão os responsáveis pelas mudanças que ocorrem no pH, na CTC, na concentração relativa de Al e Fe, dentre outros, que por sua vez influenciam e formam as propriedades do solo como cor, textura, estrutura, estabilidade de agregados, densidade aparente, porosidade e profundidade do solum. Por exemplo, a cor é dada pela proporção dos agentes pigmentantes como a matéria orgânica e os óxidos de Fe presentes no solo. Enquanto a matéria orgânica dá uma coloração marrom ou preta escuro; as cores de cinza, amarelo ou vermelho são dependentes da forma química do Fe. A cor, além de informar indiretamente a quantidade dos agentes pigmentantes, também informa sobre a drenagem e a aeração, pois esta varia com a umidade (por exemplo, solos acinzentados) (Andrade, 1998; Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Por causa do complexo processo de intemperismo é que as propriedades e características químicas do solo podem servir como indicadores de qualidade e de degradação do solo. Para o diagnóstico, este trabalho considerou mais relevante, as propriedades: textura e estrutura. Para tal, como pedoindicadores foram averiguadas características do solo que se relacionam com estas propriedades como: a argila, o pH, a porcentagem de matéria orgânica e a porcentagem de agregados estáveis.

2.4.1.1 Indicador – Argila

A textura é a quantificação (em percentagem) dos diferentes tamanhos de partículas que constituem o material mineral do solo. Refere-se, principalmente, à proporção relativa das frações argila (<0,002 mm), silte (0,002-0,05 mm) e areia (0,05-2 mm), as quais determinarão a classe textural do solo. A textura é importante por sua influência sobre a porosidade, a capacidade de aeração, taxa de infiltração d'água, difusão de nutrientes, e outros atributos (Baver et al., 1973; Alvarenga, 1998). Ela é analisada através da granulometria de cada um dos horizontes ou camadas e enquanto alguns horizontes possuem dominância de partículas minerais, outros podem possuir matéria orgânica. Assim, normalmente, é na camada superficial (horizontes Hístico ou A) que ocorre acúmulo de matéria orgânica, promovendo a coloração escura destas camadas; e na camada subsuperficial (horizontes E, B e C) predominam as partículas minerais. Esta camada pode apresentar coloração esbranquiçada ou variar de amarelo a vermelho. Geralmente, a coloração é devido à forma química do ferro existente, e em função do menor teor de matéria orgânica, de modo geral, é mais clara que o horizonte A (Andrade, 1998).

Os solos com diferentes composições organo-minerais apresentam uma variação no poder tamponante¹², porque cada partícula mineral possui uma determinada característica química, que interagirá, diferencialmente, com a matéria orgânica presente no sistema, resultando em diferentes pHs. Por exemplo, enquanto que a areia não possui carga elétrica, a argila tem carga negativa (argilas 1:1) ou positiva (óxidos de Fe e Al), sendo o principal substrato na reação química do solo e atuando diretamente no pH (Tibau, 1984; Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Já a ação da matéria orgânica é devolver as bases permutáveis (cátions e ânions) retiradas do solo para o desenvolvimento da planta, podendo então tornar o solo “básico” (menos ácido). Assim, o pH é a resposta da interação da argila com a matéria orgânica e depende da quantidade de cátions adsortidos nas partículas de argila. Por isso que, às vezes, é a argila que explica o pH e outras vezes é a matéria orgânica (Krauskopf, 1972).

2.4.1.2 Indicador - pH

A acidificação dos solos é um processo químico que ocorre naturalmente na litosfera, característico da reação do solo e parte integrante do envelhecimento edáfico natural. As

¹² Entende-se por Poder Tamponante o estado de equilíbrio ácido-base do sistema solução-solo, resultante do pH, do teor e característica da matéria orgânica, e do tipo e quantidade de minerais da fração argila.

reações químicas são do tipo ácido-base que ocorrem na solução do solo, englobando tanto a acidificação quanto a alcalinidade. Conforme o grau relativo de acidificação apresentado, os solos podem ser ácidos, neutros ou alcalinos. O pH é o resultado da quantidade da fração argila e de matéria orgânica somado ao estado de lixiviação (saída de cátions) ou da salinidade no solo. A acidez é comum em regiões com precipitações suficientemente elevadas, as quais lixiviam grandes quantidades de bases permutáveis (cátions) das camadas superficiais dos solos, afetando diretamente a produtividade da vegetação (Krauskopf, 1972; Larcher, 2003).

O mecanismo de controle do pH, assim como o mecanismo da capacidade de troca catiônica (CTC), ocorre na interface sólido-solução do solo, onde os cátions são encontrados e substituídos. A porção sólida é constituída pelas partículas, principalmente, da fração argila e matéria orgânica por apresentar carga negativa, e a porção solução é constituída por água, ácidos orgânicos e íons (cátions e ânions). Quando os íons H ou Al adsorvidos são dissociados das partículas provocam uma diminuição no pH pelo aumento da concentração dos íons H⁺ na forma livre, tornando, assim, os solos mais ácidos. A interface sólido-solução dos solos apresenta um equilíbrio dinâmico, entre os íons adsorvidos e os da solução, denominado força de tamponamento. Quanto maior for a saturação do H adsorvido, maior será a capacidade tamponante do solo, ou seja, a concentração de íons H⁺ livres na solução pode aumentar de acordo com a liberação destes das partículas, mantendo assim o pH ácido constante (Baver et al., 1973; Bornemisza, 1982; Prata et al., 1996). Esse é um processo que influencia as propriedades biológicas e físicas do solo, pois assim como, a formação dos minerais é afetada pelo pH do solo, a nutrição e o crescimento das plantas, também o são (Andrade, 1998).

Além disso, algumas reações químicas e bioquímicas ocorrem somente em um específico valor de pH como, por exemplo, a taxa de decomposição da matéria orgânica. A decomposição produz diferentes húmus, que podem agir como efeito tamponante impedindo a queda extrema do pH. Assim, o pH tem efeito direto sobre a atividade microbiana e influencia o tipo de húmus existente (radicais carboxílicos e fenólicos), provocando processamentos diferenciados da matéria orgânica e atuando, indiretamente, sobre a concentração dos nutrientes minerais disponíveis para a vegetação (Dixon & Weed, 1989; Alvarenga, 1998).

2.4.1.3 Indicador - Matéria Orgânica

Húmus é considerada toda e qualquer substância orgânica presente no solo, que seja originada de um organismo, esteja seca e que tenha sido processada quimicamente por algum organismo vivo. Esse nome associado à matéria orgânica, também denominada Matéria Orgânica do Solo, designa todos os materiais e substâncias vivas e mortas do solo que contêm compostos de carbono. Pode apresentar-se como restos de plantas (raízes, troncos, galhos, folhas e frutos), microrganismos e excreções animais (figura 4).

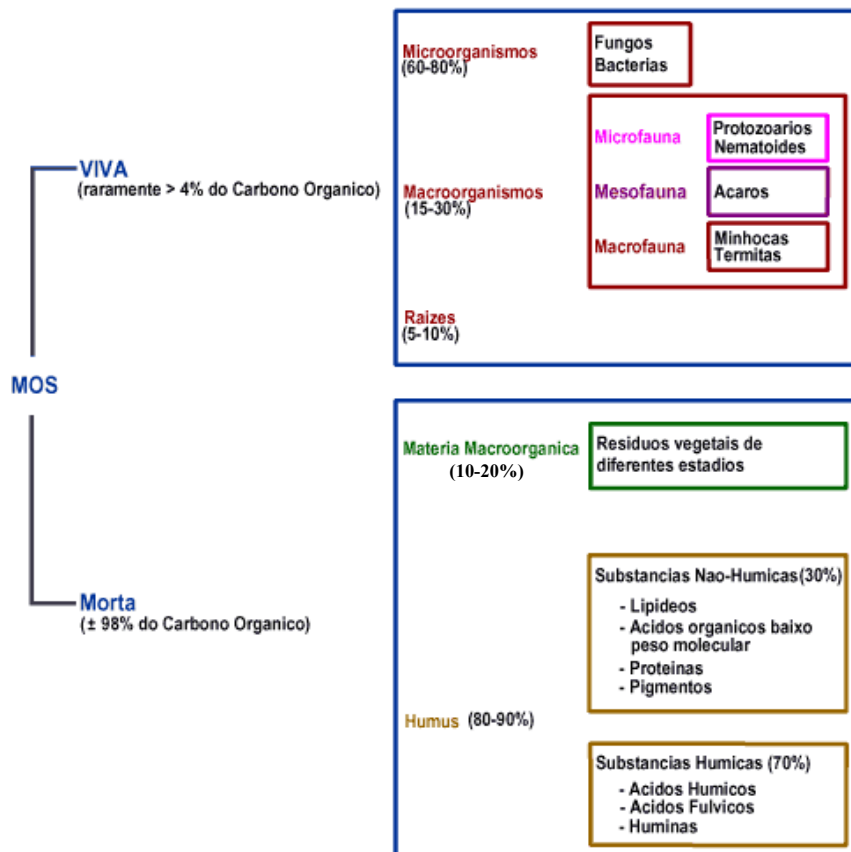


FIGURA 4: Diagrama mostrando a distribuição da matéria orgânica do solo.

Fonte: Embrapa, 2004

A matéria orgânica tem papel fundamental na manutenção da flora e da pedofauna (micro e meso, principalmente) através da ciclagem de nutrientes. Ao se decompor, ela libera os nutrientes minerais, tornando-se um dos principais fatores na determinação da produtividade (pela nutrição da vegetação) e da bioestrutura do solo (Conceição et al., 2005).

Nos solos tropicais e sub-tropicais ocorre uma rápida decomposição da matéria orgânica, principalmente, pela alta temperatura e alta precipitação, promovendo a baixa concentração da forma humificada. Além disso, nessas regiões a matéria orgânica é o principal fornecedor de minerais às plantas, pois os solos são mais evoluídos e geralmente

distróficos (Parton et al., 1989; Vargas & Hungria, 1997).

De acordo com Primavesi (1987), a matéria orgânica possui 58% de Carbono - na forma de serapilheira - produtos intermediários e substâncias húmicas. A serapilheira é parcialmente decomposta nos processos bióticos de formigas, cupins, minhocas e outros animais. Contudo, é pela decomposição microbiana que se separa os produtos intermediários (ou Húmus de Consumo) das substâncias húmicas (ou Húmus de Reserva). Conceitualmente, o húmus de Consumo é de fácil decomposição por apresentar uma estrutura química simples como amidos, proteínas, hemicelulose e celulose. E o húmus de Reserva é composto por molécula orgânica de difícil decomposição como a lignina, que apresenta uma estrutura química complexa e acaba se acumulando no solo. A produção do húmus é influenciada por alguns fatores como o clima, o pH, a vegetação, a existência de microrganismos específicos, de alguns elementos minerais e do manejo do solo.

O clima, praticamente, dará o ritmo aos processos bioquímicos dos microrganismos, pois a precipitação e a temperatura influenciam o ambiente, alterando a aeração e o pH do solo, podendo oferecer um ambiente ótimo para as reações bioquímicas (Andreola et al., 2000). O pH por sua vez influencia na formação diferencial dos ácidos orgânicos. Em pH abaixo de 5,6 forma-se, particularmente, os ácidos fúlvicos que não são bons para a floculação; e em pH entre 5,6 a 6,8 forma-se, predominantemente, os ácidos húmicos, bons para a floculação; enquanto que, em pH básico forma-se os ácidos fúlvicos originados da completa decomposição dos ácidos húmicos (Primavesi, 1987). De acordo com Tibau (1984), isto ocorre porque o húmus comporta-se como envoltório das partículas de argila, enquanto que os ácidos húmicos regulam as combinações com os cátions presentes no solo. O húmus, além de ser um agente tamponante, também, possui maior poder sortivo do que a argila no processo da troca de bases, a qual é mais acentuada quando com os cátions Ca, Mg, NH₄ e K.

A vegetação por compor-se de percentagens variadas de elementos químicos e de compostos orgânicos (amido, proteínas, celulose, ligninas e outros), oferecerá ao sistema variadas quantidades e qualidades destes. Por exemplo, gramíneas são ricas em celulose e ligninas, enquanto que as leguminosas possuem em maior quantidade amidos, proteínas, nitrogênio e cálcio. Tais variações ocorrem, também de modo distinto, entre as partes da planta, isto é, a presença das substâncias será distinta entre folhas, frutos, caules e raízes. Consequentemente, são necessários microrganismos específicos que decomponham estas diferentes substâncias orgânicas e que possuam exigências nutritivas diferenciadas (Tibau, 1984; Vargas & Hungria, 1997).

Com a decomposição do húmus e sua diminuição nos solos, a capacidade de

floculação é perdida, pois as substâncias húmicas, usualmente, são agregadoras (Tisdall & Oades, 1982). De acordo com Primavesi (1987), em solos que tiveram perda de húmus significativo, com conseqüente queda da produtividade, é necessário a suspensão do seu uso por um período que pode variar de oito a vinte anos para que haja novamente a acumulação do húmus.

2.4.1.4 Indicador - Agregados e sua estabilidade

De acordo com Tibau (1984), a estrutura granular dos solos com alto teor de argila ou arenosos coesos dependem da atividade microbiana e da decomposição da matéria orgânica. Esta estrutura persiste por certo período de tempo devido à combinação dos agentes orgânicos aglutinantes com os colóides inorgânicos (argilas e óxidos de Fe e Al). Os microrganismos, geralmente, produzem na decomposição da matéria orgânica os ácidos fúlvicos, que são agentes poderosos de lixiviação, e os ácidos húmicos, que são agentes poderosos de agregação (Primavesi, 1987). Os ácidos fúlvicos, normalmente, são formados em climas mais frios ou acima de 1000m de altitude, em solos ácidos ou alagados ou anaeróbicos e cujas condições ambientais são inóspitas para a vida microbiana. Além disso, nas regiões tropicais ou subtropicais, o húmus pode se acumular nos solos muito ácidos, nas serras e nos mangues. Como sua estrutura é pequena podem entrar nos interstícios da rede cristalina das argilas e mobilizar os cátions Fe, Al, Ca e Mg, deixando-os livres para serem trocados. Contudo são também hidrossolúveis e muito móveis, percolando com facilidade no solo e retirando estes cátions do sistema. Os ácidos húmicos são produzidos pela continuação do processo oxidativo do ácido fúlvico em presença de Ca, K, P, N e micronutrientes, elementos essenciais no processo. Estes ácidos não são solúveis em água e possuem carga negativa, ligando-se aos cátions positivos adsorvidos nos colóides de argila, formando várias pontes de ligação e, conseqüentemente, a estrutura agregada dos solos (figura 5).

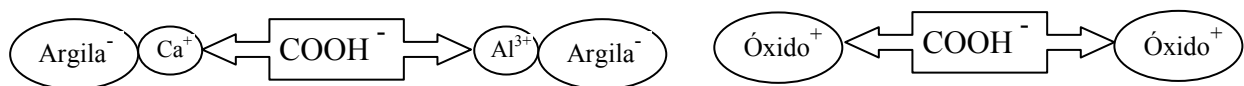


FIGURA 5: Esquema de agregação da argila pela matéria orgânica.
Adaptado de Primavesi, 1987, p. 116

Se o colóide de argila não estiver saturado por cátions, ocorre repulsão das cargas negativas entre o ácido húmico e a argila, que promove o efeito de dispersão das partículas, isto é, desagregação do solo. Por isso que os Latossolos das regiões tropicais e sub-tropicais

ricos em cátions como o Fe e Al possuem uma ótima agregação (Tisdall & Oades, 1982; Primavesi, 1987; Vargas & Hungria, 1997; Moreira & Siqueira, 2002).

Portanto, os agregados resultam do processo de floculação, que pode ser compreendido como a interação físico-químico-biológico das partículas minerais com a matéria orgânica, os produtos da decomposição e os microrganismos. Kemper & Rosenau, (1986) e Bastos et al. (2005) mencionam que para a permanente floculação do solo é necessária à contínua entrada de material vegetal decomponível para a cíclica produção de substâncias agregantes provenientes da decomposição. A floculação é de suma importância para a estrutura do solo. Se a tendência das partículas coloidais é permanecer dispersa, a argila fica em suspensão e pode ser transportada para as camadas subjacentes ou sair do sistema pela erosão. E a argila transportada para as camadas subsuperficiais pode provocar o entupimento dos poros do solo e, conseqüentemente, reduzir a entrada do ar, a passagem das raízes e a movimentação d'água. Portanto, caracterizar a estabilidade dos agregados quanto à resistência que eles oferecem à ruptura por agentes externos (hídrico ou mecânico) é importante para definir a qualidade da estrutura do solo. Além disso, a estrutura do solo é, também, modificada pelo clima, pela drenagem (ciclos de umedecimento e secagem) e pela atividade biológica e humana (Tisdall & Oades, 1982; Moreira & Siqueira, 2002; Bognola et al., 2005).

De acordo com Andreola et al. (2000), no processo de formação dos agregados, as raízes ao penetrarem no solo comprimem as partículas aproximando-as e, no processo de estabilização dos agregados maiores, existe o efeito dessas formando um emaranhado no solo em conjunto com o efeito das hifas dos fungos e compostos gomosos das bactérias que se associam com as raízes; e que, provavelmente, a ação do sistema radicular atua na formação dos agregados maiores em detrimento dos agregados menores.

Spurr & Barnes (1980) e Vargas & Hungria (1997) mencionam, também, que a diversidade florística, oriundas tanto de estratos arbóreos e arbustivos como graminóides, permite a existência de diferentes substâncias orgânicas depositadas na rizosfera como mucilagens e mucigel, favorecendo a atividade de microrganismos que podem contribuir com a produção de polissacarídeos extracelulares, promotores da melhoria na agregação. Moreira & Siqueira (2002) apresentam o exemplo das gramíneas, as quais têm grande influência na estabilidade dos agregados pela relação direta com as características do seu sistema radicular, resultando num efeito rizosférico elevado e bastante benéfico para a agregação do solo. Fato amplamente documentado no caso de gramíneas perenes, pois são consideradas as mais eficientes melhoradoras da estrutura do solo, uma vez que produzem cerca de 50% dos seus fotossintatos abaixo da superfície do solo, na subárea do sistema radicular.

2.4.2 Bioindicadores

A atividade biológica do solo é uma denominação genérica para a ação dos organismos vivos do solo, tanto animais quanto vegetais. Esses organismos têm forte influência na gênese e manutenção da organização dos constituintes do solo, principalmente nos horizontes superficiais. Todos eles atuam diretamente sobre a estrutura do solo, alterando ciclicamente a quantidade de húmus, a qualidade e quantidade da matéria orgânica, a porosidade e a aeração. As raízes das plantas, por exemplo, alteram o pH do solo ao seu redor e, ao morrer e se decompor, deixam canais. Formigas, cupins e minhocas manipulam, ingerem e excretam o material orgânico do solo formando o húmus, os microagregados e construindo os poros. A entrada de matéria orgânica na forma de biomassa seca (serapilheira) no sistema fica concentrada nos 20 cm superficiais do solo. E toda esta matéria é processada quimicamente, ou seja, é decomposta para a forma iônica (mineral), que por sua vez nutrirá as plantas (Drew, 1986; Cavelier & Peñuela, 1990; Xavier et al., 2002; EMBRAPA, 2004).

Além da atividade biológica, os ecossistemas são influenciados pelas mudanças climáticas e sua ação sobre a vegetação, como por exemplo, na seca ocorre uma maior perda da folhagem nas florestas decíduas ou semidecíduas. Segundo Leitão-Filho et al. (1993), a serapilheira nas florestas tropicais são produzidas continuamente no decorrer do ano e, diferenciadamente, conforme a sazonalidade, o tipo de vegetação e sua resposta às variações climáticas. O processo de entrada de serapilheira e sua decomposição são importantíssimos para a contínua ciclagem dos nutrientes e para a restauração da fertilidade do solo. De modo geral, a vegetação participa, interativamente, no ciclo de nutrientes, liberando a biomassa seca (serapilheira) e absorvendo os nutrientes do solo. A sazonalidade também influi diretamente no processo sucessional, pois o acúmulo da biomassa e o tempo de sua remoção afetam a estrutura florística e a substituição de espécies dominantes, bem como sua diversidade (Martins, 2001). Portanto os ecossistemas são influenciados pela mobilização (liberação ou armazenamento) dos nutrientes através da atividade biológica e da biomassa microbiana do solo, os quais por sua vez afetam a produtividade dos ecossistemas. Além de tornar os solos eutróficos ou distróficos, influem, diretamente, sobre o desenvolvimento da vegetação local, o que significa que o crescimento de uma determinada formação florística depende diretamente da ciclagem dos nutrientes minerais e da atividade biológica. A interação microrganismo-solo-vegetação deve estar em equilíbrio para que o ecossistema seja capaz de se desenvolver (Vargas & Hungria, 1997; Moreira & Siqueira, 2002). A matéria orgânica decompõe-se mais rapidamente do que é sintetizada nas regiões de climas quentes e úmidos. Deste modo, a camada de húmus que recobre o solo deve ser delgada, e é ligeiramente

processada (maior temperatura leva a maior decomposição, maior atividade microbiana e menor teor de matéria orgânica). Sob altas temperaturas a produtividade também não é muito alta porque ocorre perdas constantes pela respiração que promove um déficit no balanço entre a fotossíntese e a respiração.

Outro fator que influencia o ecossistema florestal é a dinâmica do dossel. A análise desta dinâmica permite perceber e conferir algumas alterações bióticas e abióticas no sub-bosque e no solo, pois mudanças no dossel resultam em modificações no microclima e na variedade florística do sub-bosque. Estas mudanças no dossel diminuem o sombreamento e aumentam a penetração da radiação solar (alterando a produtividade), a evapotranspiração das plantas, a evaporação do solo, a temperatura (do ar, das folhas e do solo) e a interceptação da precipitação, podendo ainda levar à redução da biodiversidade florística e à mudança na distribuição e abundância dos indivíduos (Galetti, 1982; EMBRAPA, 1986; Souto & Aronovich, 1992; Grime, 2002).

2.4.2.1 Indicador – Respiração Microbiana

A agregação do solo e a ciclagem dos nutrientes dependem, diretamente, dos microrganismos e da entrada quantitativa e qualitativa da matéria orgânica. Os microrganismos produzem compostos aglutinantes que promovem a estruturação do solo, como exemplo, os fungos emitem micélios que envolvem as partículas minerais e as bactérias exsudam substâncias gomosas (Tibau, 1984). Além disso, os microrganismos decompõem as substâncias orgânicas (como celulose, ácidos graxos e lignina) em componentes básicos como água, minerais e gás carbônico; a flora oferece variados compostos e metabólitos orgânicos. Esta ciclagem garante a continuidade da vida na rizosfera e ocorre na fase coloidal do solo com a presença dos colóides tanto de origem mineral (partículas de tamanho argila) como orgânica (húmus) (Feigl et al., 1996; Moreira & Siqueira, 2002).

Os nutrientes minerais não são somente importantes para a nutrição da vegetação, mas também para a nutrição microbiana. Conseqüentemente, a existência da matéria orgânica no solo é primordial para estes e encontra-se na forma de serapilheira (folhas, galhos, flores, raízes mortas), de dejetos (excrementos e restos corporais da fauna) e de metabólitos excretados pelas raízes (aminoácidos, açúcares, enzimas, hormônios e vários ácidos orgânicos). Os microrganismos, geralmente, constituem 0,05% do solo. Estão presentes em quantidades enormes, compensando seu tamanho microscópico pela densidade e rapidez de reprodução (Tibau, 1984; Vargas & Hungria, 1997; Moreira & Siqueira, 2002).

A velocidade de multiplicação, sobrevivência e adaptabilidade depende da espécie e das condições ambientais onde vivem. Ambientes com elevadas temperaturas (25 a 30° C), riqueza de minerais, relativa umidade, pH ótimo e boa concentração de matéria orgânica promovem uma rápida multiplicação. De acordo com Primavesi (1987), provavelmente, ocorreu uma adaptação da atividade enzimática dos microrganismos dos solos tropicais ao pH mais ácido destes solos. Em ambientes bem arejados, quentes e pouco úmidos, geralmente, a formação do húmus é baixa, contudo solos úmidos e com elevados teores de cálcio fornecem condições ótimas a essa formação.

Existem microrganismos específicos para decompor as variadas substâncias orgânicas. Isso ocorre porque existem variadas matérias orgânicas e cada espécie terá uma exigência nutritiva diferenciada. Por exemplo, no caso de galhos e troncos, que são constituídos por moléculas orgânicas de difícil decomposição como as ligninas, que ficam acumuladas no solo (consideradas húmus de reserva), a decomposição depende, especificamente, no primeiro estágio, de fungos e actinomicetos, e no segundo estágio, de bactérias em meio aeróbico e quente. Caso as bactérias faltem, a decomposição não será realizada até o final, provocando acumulação do húmus de reserva e ausência dos produtos intermediários (Moreira & Siqueira, 2002). De acordo com Vargas & Hungria (1997), nos solos tropicais e subtropicais existe abundância de bactérias aeróbicas em ambiente propício de clima quente e úmido, as quais intensificam a atividade e, portanto, a acumulação do húmus é praticamente impossível. A consequência desta especialização nutritiva é que os microrganismos também fornecerão produtos intermediários distintos, formarão húmus variado e afetarão a estrutura do solo de modo diverso.

Outra característica do processo de decomposição é sua realização somente na presença de diversos microrganismos, onde cada passo da decomposição necessita de outra enzima sintetizada por um outro microrganismo. As enzimas excretadas, por sua vez, influenciam fortemente a existência de outros microrganismos, as quais podem promover o sinergismo¹³, o antagonismo¹⁴ ou, ainda, ser indiferente ao outro. Portanto, a ciclagem de nutrientes, uma vez desencadeada, é mantida se o ambiente tiver diversidade microbiana. Conforme a substância nutritiva e a aeração do solo, são encontradas espécies distintas de microrganismos, as quais fornecerão produtos intermediários diferentes. Na falta dos vários microrganismos ou na presença de um ambiente desfavorável, o processo é interrompido ou

¹³ Atração com benefício mútuo.

¹⁴ Prejuízo do outro.

fica inacabado (Vargas & Hungria, 1997; Grime, 2002).

Outro fator importante para que ocorra o processo completo de decomposição é a presença de minerais como o cálcio, o fósforo, o potássio, o nitrogênio e outros micronutrientes, os quais entram no processo bioquímico dos ácidos fúlvicos para transformá-los em ácidos húmicos. Esses elementos são necessários, também, para a sobrevivência e continuação da atividade microbiana. Para que as enzimas catalisem é necessário que o ambiente esteja com temperatura, umidade e pH específico à sua atividade. Normalmente, a temperatura deve estar entre 25°C e 32°C e a umidade deve ser suficiente para manter o ambiente em solução sem perda de aeração. Além disso deve-se considerar ainda que a faixa de pH ótimo é muito estreita e interfere na velocidade da catálise. Portanto cada enzima atuará numa temperatura, umidade e pH ótimo, caso contrário, a decomposição será lenta, ineficaz ou incompleta. A alteração do pH modifica, diretamente, a composição e quantidade dos microrganismos, a atividade das enzimas e os processos geo- e bio-químicos da rizosfera (Moreira & Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, portanto, pelo ciclo dos nutrientes do solo. A diversidade dos microrganismos do solo influencia a decomposição e a estocagem do carbono e nutrientes minerais, sendo, portanto, responsável pelo fluxo de energia do ecossistema pedológico.

A alimentação dos microrganismos, normalmente, é realizada fora da célula, onde excretam as enzimas para digestão das partículas orgânicas e depois realizam a fagocitose das substâncias nutritivas. As enzimas, na fase coloidal do solo, promovem o processo bioquímico de oxi-redução da decomposição, contudo podem ser ativadas, desativadas ou retiradas de circulação, quando são absorvidas (húmus) ou adsorvidas (argila) pelos colóides. Portanto, é na fase coloidal que ocorre o equilíbrio bioquímico da decomposição e a reação geoquímica do solo, onde um processo interfere no outro e vice-versa.

A atividade microbiana¹⁵ é fundamental na decomposição da matéria orgânica e na estruturação do solo. A microvida dos solos mobiliza, continuamente, o húmus presente e são os microrganismos, os responsáveis pela produção de substâncias agregantes originadas da decomposição da matéria orgânica. De modo geral, a ação microbiana propicia a diminuição quantitativa da matéria orgânica indecomposta e aumenta a estabilidade do solo com a liberação dos produtos intermediários. Também a intensificação da decomposição está

¹⁵ Entende-se por atividade microbiana todos os processos metabólicos provenientes da nutrição, defesa e manutenção celular, os quais utilizam O₂ e H₂O e liberam CO₂ e metabólitos.

relacionada com a maior ou menor atividade microbiana, que por sua vez depende de sua nutrição em um ambiente (microclima do solo) propício para que ocorram os processos bioquímicos (Moreira & Siqueira, 2002).

2.4.2.2 Indicadores – Luz Incidente, Índice de Área Foliar e porcentagem de Cobertura do Solo

O crescimento e desenvolvimento da comunidade florística estão relacionados, de modo geral, à temperatura, luminosidade e umidade. Então, organismos adaptados a níveis baixos de temperatura ou luminosidade não se desenvolvem adequadamente em ambientes com alta temperatura ou acentuada luminosidade. Estas adaptações ambientais são adquiridas ao custo de longos períodos de desenvolvimento da espécie. Daí surge a teoria da co-evolução, onde determinadas espécies de um determinado nicho abiótico sofreram conjuntamente, mudanças graduais, o que pode explicar a existência da flora e de microrganismos que sobrevivem nos solos ácidos dos trópicos. É preciso, ainda, considerar-se que a temperatura afeta todos os processos químicos e bioquímicos do ambiente, e flutua em larga amplitude durante o curso de um dia. Um exemplo de resposta evolutiva é o relógio fisiológico das plantas que responde às variações de temperatura e luminosidade, demonstrando adaptações de compensação (Larcher, 2003).

Existem pontos limítrofes para o desenvolvimento e crescimento, os quais as variações de temperatura ou luminosidade não podem ultrapassar, sob pena de colocar em risco a sobrevivência do organismo. Na natureza, o crescimento e o desenvolvimento, geralmente, ocorrem mais rapidamente sob temperatura e luminosidade flutuantes. A produtividade de muitas plantas é aumentada quando a temperatura flutua nas 24 h, pois tendem a evitar os gastos de energia com a evapotranspiração. Além disso, a temperatura quase sempre age em conjunto com o vento e a umidade (precipitação). A temperatura afeta os processos geoquímicos do solo e a decomposição da biomassa seca, mas não afeta diretamente a produtividade, que é resultante da fotossíntese (Galeti, 1982; Grime, 2002).

De acordo com Larcher (2003), a produtividade dentro de um habitat não é usualmente dependente da quantidade da luz, pois sempre existe luz em quantidade suficiente no ambiente terrestre, sendo, normalmente, ditada pela temperatura, umidade e concentração dos minerais. Já a sobrevivência das plantas do sub-bosque e das camadas próximas ao solo, que incluem herbáceas, arbustos, plântulas e árvores jovens estão diretamente relacionadas com a intensidade e espectro luminoso que chega ao solo. Além, é claro, da estratégia de vida

do organismo, por exemplo, as plantas de sol e de sombra que têm como diferença básica a quantidade de clorofila presente. Em habitat florestal, a sombra está praticamente sempre associada com umidade, proveniente da constância do microclima florestal. Assim, a estrutura, o crescimento e a sobrevivência das plantas na floresta são afetados pela dinâmica do dossel e sua capacidade de bloquear ou não a luminosidade.

A Figura 6 apresenta a atenuação da radiação solar pela cobertura vegetal (dossel) de vários tipos diferentes de vegetação. A maioria da radiação que chega até a cobertura vegetal é absorvida e dispersada no primeiro terço superior do estrato vertical, considerando que, nas coberturas vegetais com folhas estreitas e eretas, a luz penetrante é distribuída mais uniformemente dentro dos estratos da vegetação. Nos estratos inferiores e próximos ao solo, normalmente, a atenuação da radiação resulta em uma intensidade e espectro luminoso bastante diferente dos estratos superiores, afetando a fotossíntese da vegetação do sub-bosque (Moreira, 2004).

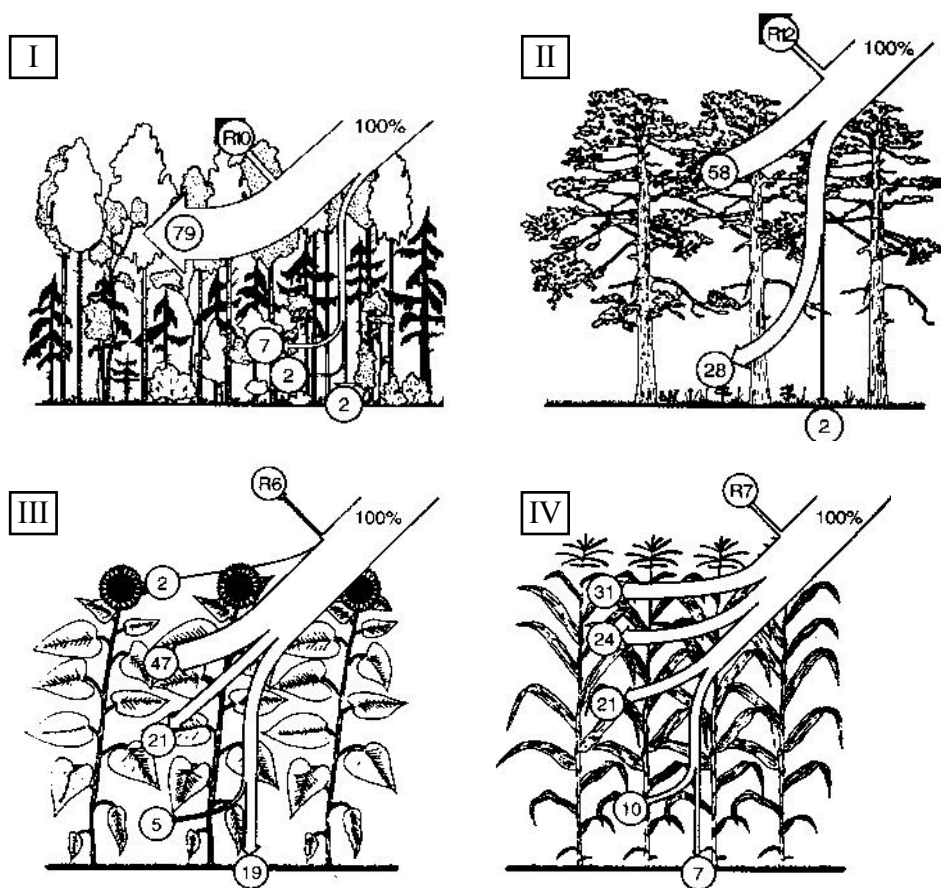


FIGURA 6: Morfologia das plantas e sua interação com a radiação solar. R – refletância do dossel; as setas indicam a absorvância no estrato vertical; I - floresta boreal de vidoeiro e abeto vermelho misturados; II - floresta de pinos esparsados; III - campo de girassol; IV - campo de milho. Fonte: Larcher, 2003, p. 36

Além disso, a cobertura vegetal (ou dossel) tem a tendência de ser uma barreira à entrada da radiação, e assim promover um microclima¹⁶ típico para cada ambiente florestal, pois a radiação solar fornece energia ao ar, ao solo e à vegetação, alterando a temperatura, a umidade e a luminosidade incidente nestas esferas. O microclima é o resultado da atenuação da radiação solar que gradualmente vai sendo refletido, absorvido e transmitido através do estrato vertical florístico (figura 7). Conseqüentemente, sob o dossel, o comportamento da temperatura, umidade e luminosidade está relacionado com as espécies existentes e com a estrutura da comunidade florística constituintes deste dossel. Além disso, o microclima varia ao longo do estrato vertical e horizontal da floresta, afetando o tipo, o crescimento e a estrutura das plantas ao longo destes estratos e vice-versa, ou seja, as plantas que vão surgindo e crescendo aumentam o bloqueio à luz nos estratos abaixo delas.



FIGURA 7: Incidência, reflectância, transmitância e absorvância da radiação solar.
Fonte: Moreira, 2004, p. 75

Cada espécie florística com suas características típicas, morfológicas e de crescimento, bloqueará a radiação e influenciará o microclima, diferentemente. Os estratos verticais florísticos e a serapilheira sobre o solo reduzirão os extremos de temperatura dentro da floresta, mantendo uma maior umidade na superfície do solo. Na falta de um dossel fechado, o microclima da floresta altera, dramaticamente ao longo do dia, seus níveis de umidade do solo (pela perda por evaporação e evapotranspiração da vegetação); de luminosidade e/ou sombreamento; da temperatura e da atividade microbiana (e assim a decomposição da biomassa seca) (Kolm, 2001).

O índice de área foliar (IAF) representa a densidade florística e da folhagem dos sucessivos estratos verticais (m^2 de área foliar por m^2 de área do solo). Além disso, pode mostrar a dinâmica do dossel sob o foco da luminosidade incidente ou do sombreamento dos ambientes florestais. Em florestas densas, o sub-bosque normalmente é mais ralo e a

¹⁶ Microclima refere-se ao clima em uma escala de indivíduo ou conjunto de indivíduos. Também pode ser denominado como ecoclima. (ACIESP, 1997)

porcentagem da cobertura do solo é menor, enquanto que em ambientes abertos sem dossel, a cobertura do solo tende a ser maior e ser constituído pelas espécies pioneiras que são tolerantes ao sol pleno (Souto & Aronovich, 1992; Paula & Lemos Filho 2001). Aparentemente, também existe uma relação positiva da intensidade de luminosidade incidente com uma maior taxa de crescimento das espécies. Grime (2002) menciona que existem respostas distintas às condições de sombreamento, à distribuição pluviométrica sasubáreal, à composição química e cobertura do solo para as diferentes gramíneas.

De acordo com Spurr & Barnes (1980) e Grime, (2002), as florestas decíduas e semidecíduas, que apresentam dosséis mais abertos, podem receber no solo 50 a 80% de luminosidade total, enquanto que nas florestas tropicais ombrófilas, com dosséis mais fechados, somente 0,25 a 2% de luminosidade, chegam ao solo. Desta maneira, pode-se mencionar que, o IAF também pode representar a produção de serapilheira que, por sua vez, é influenciada diretamente pelas mudanças sasubáreas. A serapilheira é resultado da perda da folhagem e as quantidades produzidas, no decorrer do ano, diferem e são dependentes do tipo de vegetação e de sua resposta às variações climáticas (Jacobs, 1988). Assim, os valores do IAF decrescem com a perda e crescem com a maior presença das folhas. Além disso, o IAF pode demonstrar a interceptação da chuva e o processo fisiológico envolvido com a evapotranspiração. No primeiro caso, analisa-se a eficiência do dossel em bloquear a precipitação direta sobre o solo, e no segundo caso, a mudança e orientação do ângulo da folha promovida pela intensidade e incidência da radiação solar durante o dia sobre a planta. A densidade da folhagem é medida através da área de cobertura da vegetação, que está relacionada com a estrutura morfológica das árvores e arbustos, individualmente. A quantidade da folhagem no dossel pode ser deduzida das medidas de quão rápido a radiação é atenuada quando passa através do dossel. Ao medir esta atenuação nos vários ângulos zenitais, a informação da orientação da folhagem pode ser também obtida (Paula & Lemos Filho, 2001; McWilliam et al., 1993). Então o que pode modificar o IAF é a existência da variação de luminosidade e sombreamento nas comunidades vegetais, devido ao deslocamento do sol, a nebulosidade, a movimentação eólica e o estresse fisiológico das folhas ao longo do dia. Mesmo a céu aberto, por exemplo em uma pastagem, a intensidade da luz está sujeita às variações contínuas desses (Kolm, 2001).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 IMPACTOS E PROJETOS NA APE MUTUCA

Entre as décadas de 30-50, o poder público de Belo Horizonte elaborou planos para gerenciar e estimular o adensamento da área central da cidade com projetos de verticalização do espaço. A cidade crescia em várias direções, enquanto que os serviços de infra-estrutura ficavam descompassados com a dinâmica urbana. Já em 1935, o plano de urbanização e o reforço ao abastecimento de água tornam-se problemáticos. A década de 40 seria marcada pela expansão e afirmação de BH como centro comercial, industrial e financeiro do estado. Enquanto isso, na infra-estrutura de saneamento constata-se uma crescente defasagem entre crescimento da população e a capacidade dos sistemas de abastecimento de água e esgoto sanitário. O maior problema, da então companhia de abastecimento de água, era conseguir os recursos financeiros necessários para a implementação de novas obras com a prefeitura, a qual dependia do interesse político dos prefeitos do momento. Somado a isso, começava-se a discutir a necessidade de tratamento das águas que abasteciam a cidade pela saúde municipal. Então estudos para ampliar a captação de água foram iniciados entre 1939-1951 e projetos das obras da captação e adução das barragens do Ribeirão da Mutuca e de Fechos foram elaborados, contudo o volume d'água calculado como suficiente para suprir a capital até 1960, novamente, mostrou estar descompassado do crescimento real da cidade. Além disso, demorou anos para inaugurarem as captações. Até 1943, os terrenos situados no córrego Mutuca e Morro Redondo eram da prefeitura e da companhia do Morro Velho, os quais ainda mostravam alta preservação da paisagem natural. Apesar de novas obras serem efetuadas em 1953, a falta d'água na cidade já se fazia sentir com intensidade, obrigando a construção do reservatório e estação de tratamento no Morro Redondo, que receberia as adutoras do Mutuca e do Fechos (Vianna, 1997; Fundação João Pinheiro, 1997).

Na década de 80, a região do córrego Mutuca era uma das poucas remanescentes da cobertura vegetal primitiva da Região Metropolitana de Belo Horizonte e estava sofrendo pressões dos bairros vizinhos densamente populosos, com a ocorrência, inclusive, de incêndios que destruíram considerável parte da cobertura vegetal (CETEC, 1993; CETEC, 1998). A COPASA percebendo a importância da área, por suas florestas de galeria e matas ciliares, na conservação e manutenção dos mananciais que abastecem a captação d'água para grande parte da população de Nova Lima e Belo Horizonte, assumiu sua proteção e gerenciamento. Em Julho de 1981 pelo Decreto nº 21.372 (Minas Gerais, 1981), o Governo

do Estado decretou que os terrenos situados na bacia hidrográfica do córrego Mutuca, a montante do reservatório da COPASA no município de Nova Lima, fossem enquadrados como áreas de proteção especial (APE), por ser considerada subárea primitiva, de acordo com o artigo 10, inciso II, do Decreto nº 21.724 de 23/Nov/1981. Atualmente, esses terrenos localizam-se, também, dentro do perímetro do Parque Rola Moça criado em 27/set/1994. Além disso, o decreto determinou que a área serviria para a proteção do manancial utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, ficando em consequência vedada nessa área, atividades de lazer, turismo e outras que interferissem com a biota local, limitando os projetos urbanos de loteamento ou de parcelamento de solo na região. A área permanece reservada à captação hídrica pela COPASA e a criação da APE conteve o crescimento urbano nas regiões dos importantes mananciais para a disponibilização dos recursos hídricos potáveis para a região metropolitana de Belo Horizonte.

Com a área sob a administração e a fiscalização da COPASA foi criado o Plano Diretor da APE, o qual elaborou o zoneamento da área e o desenvolvimento de programas de manejo, iniciando, a partir daí, projetos de levantamento dos solos e de vegetação (CETEC, 1993). Os projetos executados pelo CETEC (1993; 1998), inicialmente, tiveram como objetivos reconhecer as áreas degradadas, compreender a estrutura e a dinâmica da vegetação, elaborar um plano de manejo e desenvolver outros projetos para recompor as áreas degradadas da APE Mutuca. Tais projetos, indiretamente, contribuiriam para a manutenção da biodiversidade florística e o enriquecimento faunístico nestas formações ciliares. Em 1995, foi iniciado pela COPASA o projeto para a recomposição da cobertura vegetal de algumas áreas degradadas dentro da APE Mutuca como trabalho piloto de revegetação (Teixeira et al., 2002).

A área de estudo desta dissertação foi revegetada nesse projeto de recomposição e era chamada de Clareira, media aproximadamente 70 m de comprimento por 40 m de largura, aproximadamente 2.800 m². Foi utilizada como área de manobra para carros, caminhões e tratores, de descarte de vários materiais da COPASA, de depósito de materiais de construção (brita, areia), e por fim, como um campinho de futebol para os funcionários que moravam dentro da APE. Isso até antes do projeto de recomposição do CETEC (1998) que implementou o plantio em quincôncio¹⁷ com espécies nativas da região (tabela 2) e fechou a área não permitindo mais a entrada de veículos (foto 1). Segundo depoimento de alguns funcionários, não ocorreu revolvimento da camada superficial do solo dentro da Clareira.

¹⁷ Plantio de árvores dispostas em xadrez, grupo de cinco indivíduos com a espécie clímax no centro.

TABELA 2: Espécies nativas plantadas em 1995

Espécie	Nome Científico	Grupo Ecológico *	Vivas em Fev/98
Estrelinha	<i>Dictyoloma vandellianum</i> Adr. Juss.	P	1
Jequitibá	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	ST	1
Pau d'óleo	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf	C	9
Sangra d'água	<i>Croton urucurana</i> Baill.	P	7
Quaresmeira	<i>Tibouchina</i> sp.	P	2
Ipê	<i>Tabelaebuia</i> sp.	SI	2
Vinhático	<i>Plathymenia</i> sp.	P	3

* Denominações: P – pioneira, SI – secundária intermediária, ST – secundária tardia, C – clímax



FOTO 1: Fechamento da área Clareira em 1995.

3.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área escolhida está contida na Área de Proteção Especial (APE) do Mutuca na área de captação do Mutuca da COPASA (figura 8), a qual tem o importante papel de proteção aos mananciais da região. Localiza-se no município de Nova Lima, na bacia hidrográfica do córrego Mutuca, ao lado da BR-040 (saída para o Rio de Janeiro). O terreno da bacia está situado dentro do Parque Estadual do Rola Moça e tem como vizinhos a Companhia Siderúrgica Mannesmann e a Minerações Brasileiras Reunidas S.A.. A sede da captação do Mutuca está situada nas coordenadas 43°58'08.92" longitude W e 20°00'37,23" latitude S e a área pesquisada tem sua entrada nas coordenadas 43°58'08.92" longitude W e 20°00'37,23" latitude S. A região localiza-se entre a Serra do Cachimbo (1438m) ao Sul e o córrego do Mutuca (1150m) ao Norte.



FIGURA 8: Localização da área de estudo.

De acordo com Carvalho (1998), a Serra do Cachimbo é reconhecida por ter a altitude máxima do município de Belo Horizonte. O relevo da região foi caracterizado como muito movimentado, de forte ondulado a montanhoso, contudo a área de estudo propriamente dita (figura 9) foi classificada pelo CETEC (1993) como associada a um relevo plano de várzea.

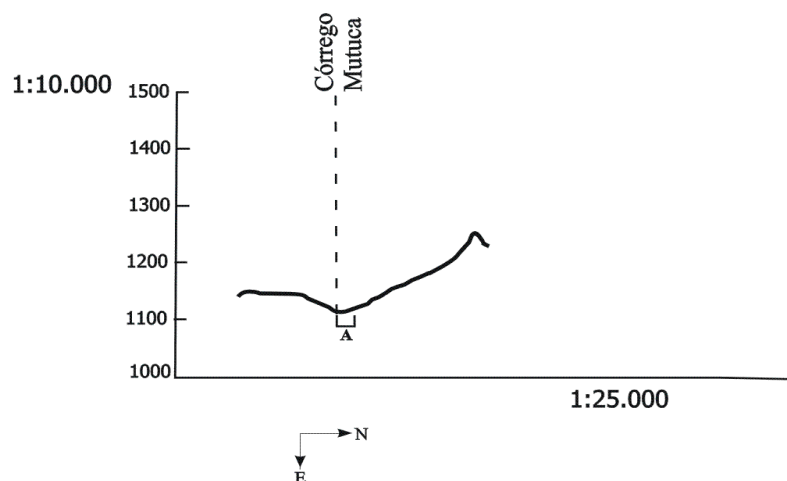


FIGURA 9: Perfil topográfico da Serra do Cachimbo até o córrego Mutuca. A – área de estudo. Fonte: PLAMBEL, 1977

3.3 SOLO

O primeiro levantamento pedológico do CETEC (1993) encontrou Latossolos associados com Cambissolos nas áreas mais elevadas das várzeas. De acordo com Jacomine (2001), as formações ciliares (floresta de galeria) apresentam solos sujeitos a encharcamento quando próximos aos cursos d'água e com moderada a boa drenagem nos terrenos mais altos da várzea. Em decorrência desses aspectos podem ocorrer vários tipos de solos nessas formações. O segundo levantamento do CETEC (1998), de modo geral, já caracteriza a área como sendo constituída por Cambissolos e nas áreas onde a topografia é suavizada, pode ser encontrado associado ao anterior, os Latossolos, os quais têm pequena expressão na região.

Próximo à área selecionada para este estudo foi realizado um perfil pelo CETEC (1993), que pelo novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) classifica-o como Cambissolo Háptico Tb distrófico argissólico associado com Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico, ambos A moderado. Como características gerais, os Latossolos possuem um horizonte B latossólico, normalmente, variando de profundos a muito profundos, são pobres em nutrientes e ocorrem em áreas excessivamente intemperizadas. Não

apresentam muita variação nos teores de argila entre os horizontes A e B, ou seja, têm baixa relação textural com pouca ou nenhuma diferenciação entre estes horizontes. Apresentam boa a ótima drenagem e boa porosidade. Normalmente, os minerais da fração argila são secundários predominando os do tipo 1:1 (estrutura básica composta por um tetraedro de silício e um octaedro de alumínio) e óxidos (estrutura básica composta por íons de alumínio e ferro circundados por oxigênio, hidroxila ou ambos). Os principais requisitos de diferenciação entre os Latossolos são: os teores de óxido de ferro (Fe_2O_3) associados ao material de origem, a relação dos teores de gibbsita e caulinita, e a coloração definida pela forma do ferro (goethita ou hematita). Apresentam-se, freqüentemente, como solos muito ácidos, alumínicos e distróficos apresentando baixa saturação por bases e, conseqüentemente baixa fertilidade (EMBRAPA, 1999). Além disso, apresentam drenagem que pode variar de boa a imperfeita, e uma erosão não aparente ou laminar ligeira. Entre os tipos de solos existentes eles são considerados os mais evoluídos.

3.4 VEGETAÇÃO

A formação florestal da área de estudo é identificada como uma formação ciliar, classificada como Floresta de Galeria, por apresentar associação com cursos d'água como pequenos córregos e rios. No caso da área de estudo, os cursos são o córrego do Mutuca e o córrego Mãe D'Água (CETEC, 1993). Tais cursos encontram-se nos fundos dos vales e, normalmente, estão fechados pelos corredores de vegetação, ou podem estar localizados nas cabeceiras de drenagem com um curso d'água temporário (Ribeiro & Walter, 1998).

De acordo com o CETEC (1993), a exuberância florística da APE Mutuca está relacionada com o gradiente altitudinal e com a fertilidade do solo, a qual apresenta uma comunidade florestal dominada por espécies estacionais semidecíduais. Aparentemente é uma floresta secundária relativamente jovem, com menos de 50 anos¹⁸. Especificamente, na área de estudo, segundo o levantamento florístico (CETEC, 1993), a vegetação foi classificada como fase floresta subperenifólia, característica florística de florestas de regiões que apresentam sazonalidade marcante, isto é, com um período do ano apresentando precipitação bastante reduzida. De acordo com Pires-O'Brien & O'Brien (1995) poderia ser considerada uma floresta aberta ou menos densa, contudo, no caso da área de estudo, deve ser considerado o fato de que é uma floresta de galeria de altitude que, provavelmente, não sofre estresse

¹⁸ De acordo com alguns funcionários da COPASA.

hídrico. Trata-se, mais precisamente, de uma floresta de galeria com densa cobertura vegetal que intercepta e absorve a radiação solar, estabilizando a temperatura e a umidade do ambiente ciliar; e proporcionando cobertura e alimentação para a fauna aquática e terrestre. Além disso, percebe-se a estabilização do solo pelo crescimento e desenvolvimento dos sistemas radiculares, os quais formam um obstáculo emaranhado, minimizando o transporte de sedimentos para o curso d'água, atenuando a erosão e permitindo que ocorra maior percolação da água no solo, assim afetando a condutividade hidráulica da camada superficial (Jacomine, 2001).

3.5 CLIMA

De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima temperado chuvoso mesotérmico (Cwb), contudo, para o CETEC (1993) o clima foi denominado como subtropical de altitude com temperatura média anual em torno de 21°C para Belo Horizonte. Próximo à área de estudo existe um pluviômetro, o qual forneceu o histórico da precipitação anual desde 1995 (quando foi implantado o projeto de recuperação da área). O histórico apresenta uma precipitação média em torno de 1500 mm/ano (gráfico 3) e média mensal demonstrando uma época de estiagem entre os meses de abril a julho e época de chuva a partir de Agosto (gráfico 4).

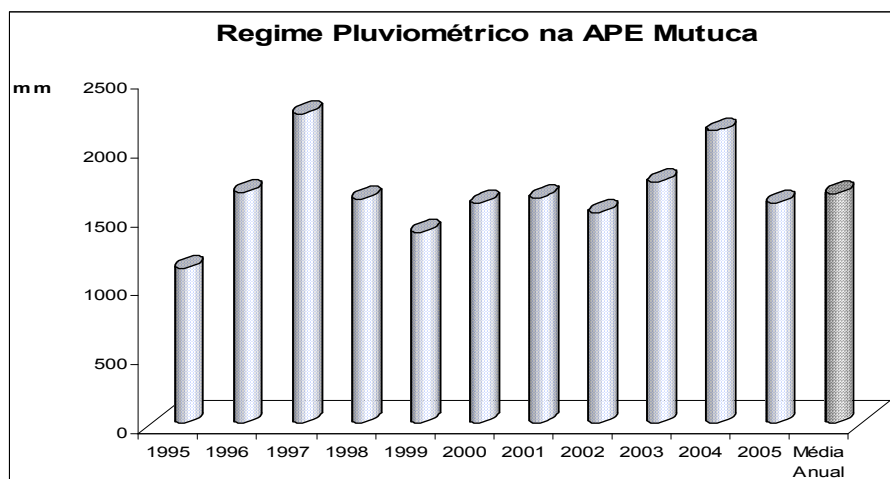


GRÁFICO 3: Histórico (1995 a 2005) da precipitação anual na APE Mutuca

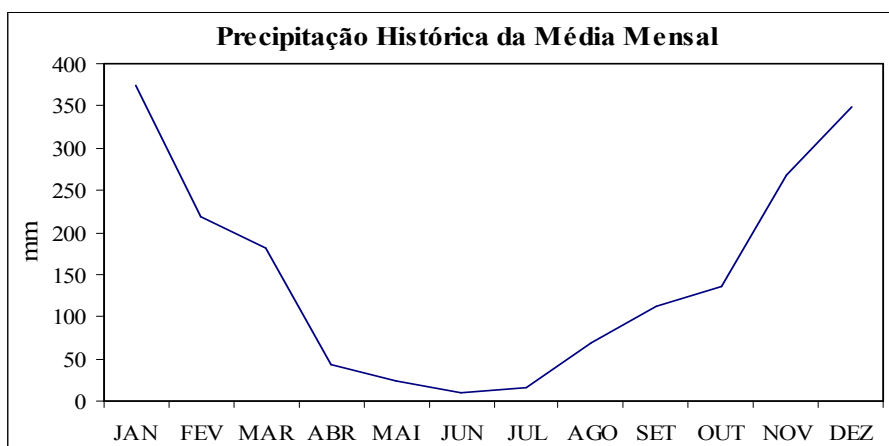


GRÁFICO 4: Histórico da precipitação Média Mensal de 1995 a 2005.

3.6 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A APE Mutuca está localizada ao sul de Belo Horizonte, no Quadrilátero Ferrífero, situada nos domínios morfoestruturais das faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas, limitada entre as Serras da Moeda, do Curral, do Caraça e do Ouro Branco. As faixas apresentam relevos elevados, originados de rochas metassedimentares dobradas e falhadas, com disposição geográfica no sentido norte-sul até aproximar-se da cidade de Ouro Preto (Passchier et al., 1993; Guerra & Cunha, 2000). Dependendo da estratigrafia pode ser observada uma grande variedade de tipos litológicos com composições e estruturas internas variadas, comumente, ocorrendo juntas. Pode apresentar rochas metamórficas como quartzito¹⁹, itabirito²⁰, filitos²¹, quartzito ferruginosos, xistos²² e

¹⁹ Rocha composta essencialmente de quartzo derivado de um arenito. Quando sofre desagregação transforma-se em grãos de areia.

²⁰ Rocha metamórfica xistosa de quartzito hematítico, contendo grãos de quartzo e palhetas de hematita micácea. Com a perda do quartzo passam a ser hematita pura que formam os maciços de hematita compactada, formando o proeminente pico do Mutuca.

²¹ Rocha metamórfica argilosa intermediária entre argilito e micaxisto, possuindo muito silicato de Al, pouco quartzo e raro feldspato. Os minerais mais freqüentes são a clorita e/ou muscovita. Em Belo Horizonte observa-se a intercalação do itabirito com o filito.

²² Rocha metamórfica, mais comum na litosfera, composta essencialmente de quartzo, com predomínio de moscovita ou biotita (micas). Os mica xistos freqüentemente contém variados minerais como hornblenda, granada, cianita e outros. Quando o metamorfismo tem origem em rochas ígneas ricas em ferromagnesianos, nos xistos predominará minerais ferromagnesianos (ex.: clorita xisto, hornblenda xisto). Apresenta estrutura laminar ao longo da rocha que sofre fácil ruptura.

anfíbólito²³ (Teixeira et al., 2000; Guerra & Guerra, 2001). Se por um acaso o material de origem do local fosse de quartzito seria formado solo arenoso e se fosse de filito ou de xisto ou de anfíbólito seriam formados solos argilosos.

Normalmente são rochas com quantidades variadas de minerais hornblenda (ou anfíbólio), clorita, feldspato, micas e quartzo. Usualmente, estes minerais são ricos em sílica, alumínio e ferro, contudo, de modo geral, é uma região de depósito de minério de ferro, onde o íon Fe pode ser encontrado na hornblenda, mica biotita, hematita micácea e clorita (com substituição do Mg pelo Fe), os quais também contêm outros íons como cálcio, sódio, magnésio e potássio. Somente o feldspato e o quartzo não possuem ferro, contudo o primeiro pode conter os outros íons e o segundo, nenhum deles (Dana, 1969; Guerra & Cunha, 2000).

²³ Rocha com domínio da hornblenda associada a feldspato básico e micas, podendo ter ou não quartzo.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, estabeleceu-se que seriam pesquisadas as variáveis ambientais que apresentassem diferenciação ao longo do tempo e do espaço (dinâmicas ecopedológicas), sendo o solo, a vegetação e a microbiologia, os critérios selecionados por representarem saberes complementares entre si em uma análise ambiental. Enquanto que a pedologia forneceria os pedoindicadores, a botânica e a microbiologia forneceriam os bioindicadores. Deste modo, considerando os diversos indicadores acima mencionados adotou-se critérios que possibilitassem a utilização de metodologias com os equipamentos e laboratórios disponíveis, com baixo custo e com resultados em medidas ponderadas (%) para comparações futuras com outros estudos. Além disso, como o estudo foi realizado em uma área de recuperação, optou-se pelo uso de metodologias não-destrutivas. Assim sendo, foram selecionados:

- Pedoindicadores → pH, estabilidade dos agregados, textura e matéria orgânica;
- Bioindicadores → índice de área foliar, luz incidente, porcentagem de cobertura do solo e respiração microbiana do solo.

Posteriormente, procurou-se uma área próxima de Belo Horizonte para realizar os estudos que já atendesse alguns critérios, tais como, estivesse em processo de recuperação e contivesse levantamentos bióticos e abióticos; e permitisse a rastreabilidade do histórico da área e do uso do solo. Na revisão bibliográfica foram encontrados os projetos do CETEC (1993; 1998) e de Teixeira et al. (2002), os quais indicaram uma área pertencente a COPASA, localizada na APE Mutuca em Nova Lima. Após definição da área de estudo, esta foi vistoriada, identificando-se as subáreas que apresentavam diferenciações entre si e em relação ao estágio de recuperação. A partir desta identificação preliminar, a área foi dividida em quatro subáreas, todas vizinhas umas das outras, a saber:

- ⇒ estrada (E) – subárea perturbada constantemente e com alto grau de impactação;
- ⇒ mata nativa (MN) – subárea com pouco histórico de intervenção humana; e
- ⇒ zona de recuperação: subáreas referentes a borda da zona (ZRI) e ao centro (ZRII).

As áreas de mata nativa e da estrada foram utilizadas como referências edáficas extremas por se tratarem de ambientes com características físico-químico-biológicas opostas. Isto é, a mata nativa (MN) é a cobertura vegetal existente a vários anos no local, mesmo que considerada secundária devido às perturbações anteriores (ex. incêndios). Ela corresponde à área que constitui um ecossistema, aparentemente, estável por apresentar os ciclos ecológicos equilibrados com as condições presentes de clima, solo e relevo. Por sua vez, a estrada (E), apresenta um ecossistema degradado e instável pela inexistência dos mesmos ciclos. Trata-se

de um sistema que apresenta uso diferenciado, impossibilitando, visivelmente, a manifestação das atividades biológicas, que são fundamentais para o processo de recuperação. Além disso, considera-se que a E reflete as condições iniciais do ambiente que sofre hoje a recuperação e que somente por meio da mensuração das formas de degradação ambiental, é possível contribuir na realização de um diagnóstico do problema ambiental. Enquanto que a ZRII (subárea central) apresenta menor diversidade florística e corresponde à porção com domínio de herbáceas, a ZRI (subárea borda) apresenta maior diversidade florística, sem dominância aparente de herbáceas.

O estudo, também, se baseia na possibilidade de fazer comparações de escala macro (entre subáreas), meso (ambiente rizosférico das trincheiras) e micro (indicadores propriamente ditos). Além disso, as amostras dos indicadores foram coletadas nos extremos climáticos - seca e chuva - por conterem o ritmo dos processos naturais (intemperismo, lixiviação, decomposição, crescimento da planta). Desse modo, em tese, as amostras conterão a desaceleração dos processos da época da seca e a aceleração da chuva. A partir daí, foram delineados dois transectos, com 60 m de comprimento cada, que percorresse as subáreas (exceto a estrada) denominados como transectos A e B (Figura 10).

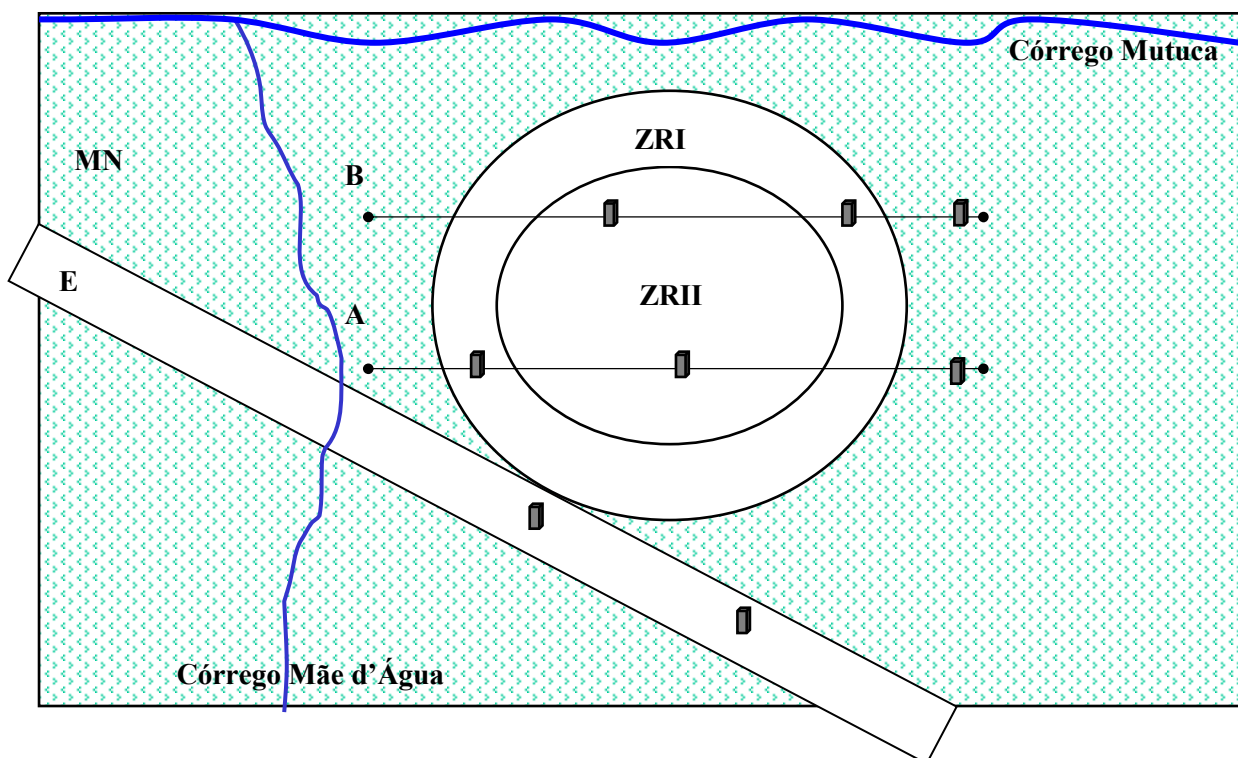


FIGURA 10: Divisão das subáreas e delineamento dos transectos. E – estrada; MN – mata nativa; ZRI – subárea de recuperação I; ZRII - subárea de recuperação II; A- transecto A; B – transecto B; ▭ trincheiras

4.1 ANÁLISE DOS PEDOINDICADORES

Os estudos pedológicos iniciaram-se com a identificação do solo da área de estudo propriamente dito. Para tal foram analisados, em campo: espessura, transição, cor, textura, estrutura, consistência e raízes, em cada horizonte do barranco (corte) de 160 cm, localizado na área central (IBGE, 1994; Lemos & Santos, 2002).

Para a análise dos pedoindicadores, as amostras de solo foram retiradas nas quatro subáreas. Ao longo dos transectos foram selecionados, ao acaso, os locais das trincheiras, assim como na E. Foram abertas duas trincheiras de 50 x 50 x 70 cm em cada subárea (figura 10); com coletas simples de amostras deformadas em diferentes profundidades (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40, e 40 a 60 cm), totalizando cinco amostras por trincheira, que foram realizadas no final do período de estiagem (Ago-Set/04) e de chuva (Fev-Mar/05), perfazendo 20 amostras por subárea e 80 amostras totais. As profundidades estabelecidas representarão o ambiente rizosférico de cada trincheira, conseqüentemente de cada subárea.

Para a análise granulométrica foram utilizadas 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), que consiste em utilizar o agente dispersante NaOH na amostra e, posteriormente, separar a fração areia por peneiramento e a argila pelo método da pipeta volumétrica. Com os resultados percentuais calculados utilizou-se o diagrama triangular (Lemos & Santos, 2002) para determinação da classe textural da amostra.

Para o pH foi utilizada a metodologia em água, descrita pela EMBRAPA (1997), sendo realizada na proporção de solo-solução de 1:2,5 e leitura no potenciômetro pHmeter HandyLab1/SCHOTT com 3 repetições para cada amostra de solo

Para determinação do carbono orgânico e sua conversão matemática para matéria orgânica foi selecionado o método por titulação de Walkley-Black (Quaggio & Van Raij, 1979; Defelipo & Ribeiro, 1997). O método consiste na adição de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N e 20 ml de H_2SO_4 concentrado em 0,5 g de TFSA. Depois agita-se por 1 minuto e deixa-se em repouso por 30 minutos. Posteriormente, foram adicionados 200 ml de H_2O destilada, e então a mistura foi filtrada em papel de filtro. Após a filtragem, acrescenta-se 10 ml de H_3PO_4 e 3 gotas do indicador difenilamina 0,5%, e realiza-se a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5N com agitação constante. A titulação ocorre na mudança de coloração de marrom escuro para verde-mar. A quantificação do carbono orgânico livre de cada amostra é obtida ao titular. Para converter os dados em matéria orgânica considera-se que esta contém 58% de carbono orgânico, portanto multiplica-se pelo Fator de Van Bemmelen. Os cálculos para o teor de carbono orgânico (1) e matéria orgânica (2) são obtidos pelas seguintes fórmulas:

$$1) \% \text{C.O.} = [10 \times (1 - T/B) \times 0.003 \times 1/0.77 \times 100/P] \text{ dag/kg}$$

Onde: 10 = volume (ml) de dicromato adicionado;

T = volume (ml) gasto de sulfato ferroso amoniacal na amostra do solo;

B = volume (ml) gasto de sulfato ferroso amoniacal no Branco (controle);

0.003 = miliequivalente de carbono;

1/0.77 = fator de recuperação do método = 1.3;

P = peso da amostra do solo (g)

$$2) \text{ M.O.} = [\% \text{C.O.} \times 1,724] \times 10$$

Onde: 1,724 = fator de Van Bemmelen

10 = mudança de unidade para (g.kg⁻¹)

A estabilidade dos agregados em água foi realizada na EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, utilizando o método de Kemper & Chepil (1965) e o equipamento de oscilação vertical de Yoder. Para esta análise, as amostras foram destorroadas na mão. Em seguida, foram peneiradas em malha 7 mm, sendo selecionado o material retido na malha 4 mm para demonstrar a estabilidade. Posteriormente, foram separadas 3 amostras de 30g de agregados, as quais uma foi para estufa para obter o peso real (seco) e as outras duas foram umedecidas com atomizador, deixadas em repouso e cobertas com pano úmido, por 24 horas. No aparelho de oscilação, as duas últimas amostras foram agitadas com movimentos verticais por 15 minutos e peneiradas no conjunto de peneiras de malhas decrescentes de 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm e 0.105mm. Em seguida, cada amostra foi transferida para recipientes de peso conhecido e colocados em estufa a 100° C por 24 horas, para posterior pesagem e cálculos finais.

4.2 ANÁLISE DOS BIOINDICADORES

Para a determinação da Luz Incidente (LI) e do Índice de Área Foliar (IAF) foi utilizado o equipamento LI-2000 Plant Canopy Analyzer (Paula & Lemos Filho; 2001), no final do período chuvoso (Abr/05) e da estiagem (Set/05). Os pontos amostrais acompanhavam os transectos, na altura de 1m e rente ao solo, com distância de 7 m entre cada ponto (figura 11). Em cada ponto amostral foi realizada duas leituras (chuva e seca) em seis diferentes ângulos, totalizando 24 leituras por transecto, perfazendo um total de 288 leituras. A porcentagem de cobertura do solo (CS) foi determinada, indiretamente, pela subtração do IAF-rente ao solo com o IAF-1m.

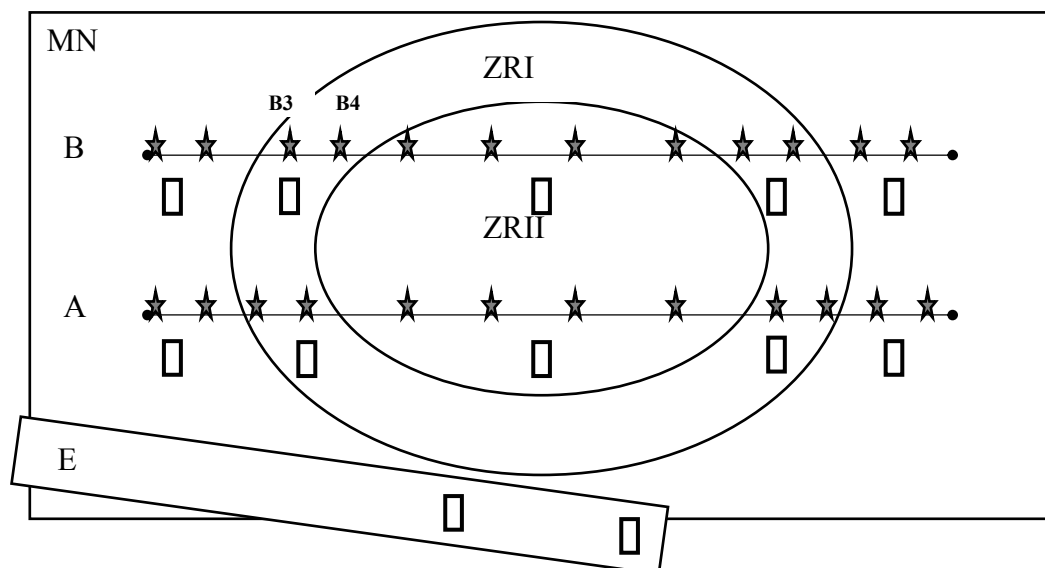


FIGURA 11: Pontos Amostras do Índice de Área Foliar e Respiração Microbiana.
 (★ pontos de IAF, LI e CS; □ pontos da RM)

A respiração microbiana do solo foi determinada pela metodologia adaptada de Grisi (1978). O método consistiu em instalar no campo 12 potes acrílicos de 122,72 cm² contendo amostra de solo até aproximadamente 6 cm de altura e um béquer de plástico de 6,61 cm² contendo 10 ml de solução de KOH 0,5N. Os potes de acrílico foram distribuídos na área de estudo da seguinte maneira: 1 controle (branco, sem solo), 2 estrada, 5 para o transecto A e 5 para o transecto B (figura 11). A metodologia foi repetida durante 5 dias consecutivos, perfazendo um total de 65 amostras. As amostras de solo foram compostas, com 5 repetições misturadas e coletadas até a profundidade de 10 cm. A coleta foi aleatória, ao longo do percurso dos transectos, com distância máxima de 2 m do transecto. Depois de inserido o solo e o béquer de plástico no pote, este é tampado imediatamente, lacrado com fita crepe e deixado em repouso por 24 h. Este método baseia-se no fato de que a solução de KOH 0,5N absorve o CO₂ liberado do solo resultante da atividade biológica, o qual é dosado por titulação com HCl 0,1N. A titulação é realizada em duas viragens seguidas, com agitação constante. Para a primeira viragem, adiciona-se 2 gotas do indicador de solução alcoólica fenolftaleína (cor rósea forte) e titula-se com HCl até a solução tornar-se incolor. Para a segunda viragem, adiciona-se 3 gotas do indicador metilorange (cor amarelada) e titula-se com HCl até a solução adquirir a cor pêssego. Grisi (1978) menciona que para cada molécula de carbonato formado corresponde uma molécula de CO₂ absorvido e o resultado final deve ser dado em mgCO₂.m⁻².h⁻¹. O cálculo para determinação do CO₂ é obtido pela seguinte fórmula:

$$\text{mgCO}_2 = [(A - B) \times 2 \times 2,2] \times \text{cm}^{-2} \times \text{min}^{-1}] \times 4/3$$

Onde:

A = diferença do volume (ml) entre a 1ª e a 2ª viragem da coloração da amostra;

B = diferença do volume (ml) entre a 1ª e a 2ª viragem da coloração do Branco (controle);

2 = porque o HCl 0,1N adicionado titula somente a metade do carbonato da amostra;

2,2 = é o equivalente grama do CO₂ (44/2 = 22) dividido pelo HCl 0,1N (decinormal) utilizado;

cm⁻² = área do pote com a amostra de solo correspondente a 122,72 cm² que teve ser transformado para m²;

min⁻¹ = corresponde a 1440 min que teve ser transformado em h;

4/3 = porque os valores obtidos correspondem a absorção de 75% CO₂ desprendido do solo.

4.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os transectos e as trincheiras localizadas nas subáreas foram consideradas repetições amostrais dos indicadores para a análise estatística. Foi definido, também, fazer a média das profundidades de cada trincheira para representar o ambiente rizosférico. Os tratamentos estatísticos foram realizados no Excel 2002, JMP 5.0 e SPSS 11.5 (Ferreira, 1999), com comparações dentro e entre os indicadores. Inicialmente foi realizado um teste para verificação da distribuição dos dados e, para tal, foi rodado o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, conforme os resultados deste teste, também foram executados testes específicos para a análise descritiva, a variância e a correlação (Gomes, 1990; Burke a/b/c, 2005). Por último, a análise seguiu os métodos de estatística multivariada, sendo realizada a análise fatorial utilizando o método de componentes principais para demonstrar a influência dos indicadores no ambiente; e a análise de função discriminante canônica para demonstrar a diferença existente entre as subáreas, após os 10 anos de recuperação, e a avaliação dos indicadores selecionados de acordo com suas interferências ambientais (Pires-O'Brien & O'Brien, 1995; Leonardo, 2003; Rocha et al., 2005; Mingoti, 2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

Nesta análise considerou-se que, a área apresentava variabilidade somente pela paisagem florística e pelas características pedológicas (físico-químicos-biológicos), conseqüentes da ação antrópica, com suas interações diferenciadas sobre cada subárea. Considerou-se, também, que em todas as subáreas, o solo foi desenvolvido do mesmo material de origem; sofreu os mesmos processos geomorfológicos, sob condições semelhantes de clima e em um mesmo intervalo de tempo, portanto, suficientemente similares.

Para confirmar a classificação de Latossolo foi realizada uma descrição morfológica no perfil do barranco (Foto 2) localizado na subárea ZRII (central) e a tabela 3 apresenta o resumo desta descrição.

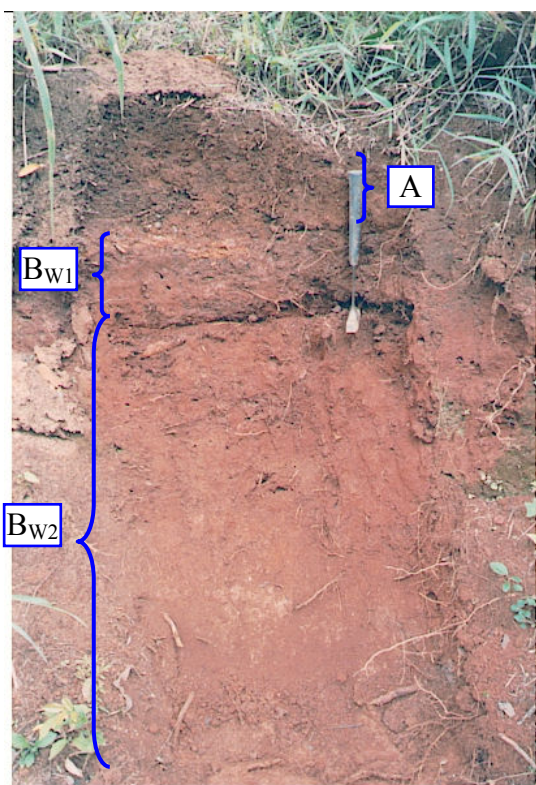


FOTO 2: Perfil da Área de Estudo, localizado no barranco da subárea ZRII. (A – horizonte superficial, B_{w1} – horizonte subsuperficial de 15-35cm, B_{w2} – horizonte subsuperficial de 35-105⁺ cm)

TABELA 3: Resumo da descrição morfológica do perfil do barranco

Descrição	Horizonte Superficial	Horizonte Subsuperficial	Horizonte Subsuperficial
Nomeclatura	A	B _{W1}	B _{W2}
Espessura	0-15 cm	15-35 cm	35-105 ⁺ cm
Cor: Úmida (campo)	7,5 YR 3/4 bruno escuro	5 YR 4/3 bruno avermelhado	5 YR 4/6 vermelho amarelado
Textura	argilosa	argilosa	argilosa
Estrutura	Moderada pequena e média blocos subangulares e moderada pequena a muito pequena granular	Moderada pequena e média blocos subangulares e moderada pequena a muito pequena granular	Moderada pequena e média blocos subangulares e moderada pequena a muito pequena granular
Consistência: Seca Úmida Molhada	Ligeiramente dura Friável Plástica e não pegajosa	Macia Friável Muito plástica, pegajosa	Macia Friável Muito plástica, pegajosa
Raízes	Muitas; finas	Comuns; finas	Comuns; finas e grossas
Transição		Gradual e difusa	

Em seguida foram observadas as principais características da paisagem e das trincheiras de cada subárea. Nota-se que a paisagem da E (foto 3) é coberta pelo dossel da MN, não possui vegetação crescendo no solo e, somente, existe serapilheira nas laterais da estrada. O ambiente é sombreado e apresenta temperatura amena. A abertura da trincheira foi bastante difícil, pois o solo estava com muitos fragmentos de rocha e muito duro, parecendo compactado²⁴. A cor predominante do solo era o amarelo claro, contudo foram retiradas amostras avermelhadas, alaranjadas e brancas. Foi observado que após o período de seca, em 2005, houve limpeza e aplainamento da estrada com trator.

²⁴ Não foi realizado nenhuma metodologia para confirmar esta observação de campo.

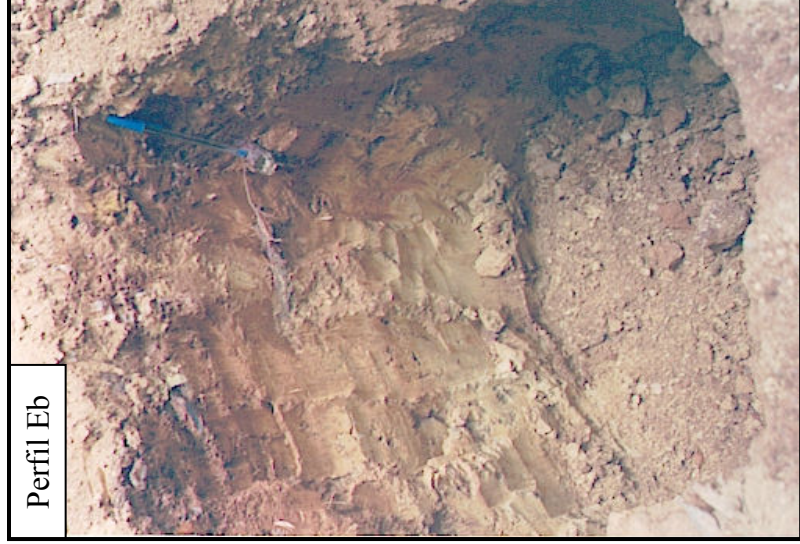
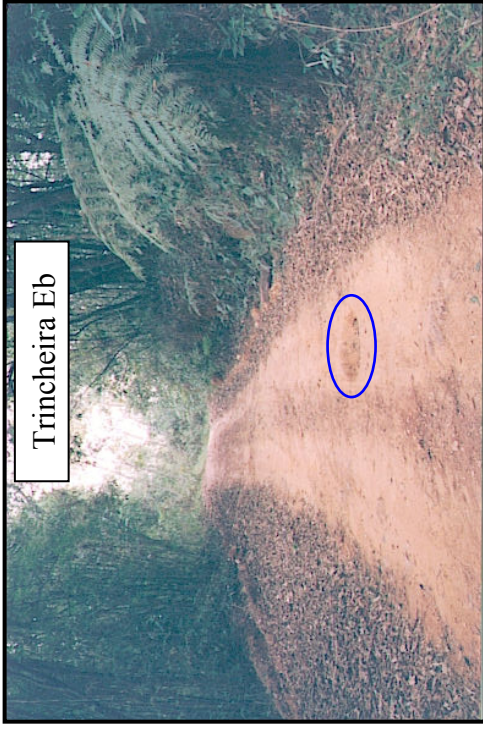


FOTO 3: Fotos da paisagem, localização e perfis das trincheiras localizada na Estrada – Ea e Eb.

A paisagem, onde as trincheiras da MN (fotos 4 e 5) foram abertas, possui moderada vegetação de subbosque. É um mosaico de árvores sempre-verdes, decíduas e semidecíduas, caracterizando uma floresta heterogênea, que cresce sobre um relevo bastante acidentado e que contém algumas espécies de mata secundária como a embaúba. O solo é muito macio e os torrões esfaleam facilmente. A coloração é marrom a marrom-escuro. No horizonte superficial existe densa matéria orgânica e muitas raízes de diâmetros pequenos e médios, enquanto no horizonte subsuperficial existem inúmeras raízes de vários diâmetros (em torno de 10 cm diâmetro). As árvores são maiores que 3 m de altura e, de modo geral, em alguns trechos da MN é possível distinguir uma estratificação não contínua do dossel no período da seca, o que permite a chegada da radiação solar direta até o solo como é observado nas fotos.

A paisagem da ZRI (fotos 6 e 7) apresenta alta diversidade florística, com seu estrato vertical tendo presença variada de herbáceas, arbustos e árvores. O solo é macio a muito macio, de coloração marrom-escuro e com muitas raízes e matéria orgânica. A trincheira ZRIa (foto 6) está localizada próxima ao córrego Mãe D'Água e, durante todo o período de estudo, o solo estava sempre úmido, mesmo na época da seca. Na ZRIb (foto 7) foram encontrados na profundidade de 45 cm vários pedaços de cano galvanizado e, a partir de 50cm, o solo endurece. Outra característica observada é que os locais com maior luminosidade na ZRI e na MN apresentam um sub-bosque mais denso com presença de herbáceas e lianas (fotos 4 a 7).

Na paisagem da ZRII (fotos 8 e 9) predomina herbáceas (gramíneas) com alguns arbustos (leguminosas) e poucas árvores menores que 3m de altura. De modo geral, o solo é muito avermelhado e menos macio do que a ZRI. Na ZRIIb a ação antrópica é óbvia, observando-se uma camada de concreto na profundidade entre 5-10 cm e restos metálicos espalhados pela superfície. Não foi verificado a extensão espacial da camada de concreto, contudo acredita-se que seja pequena e pontual pela existência de vegetação de porte pequeno e médio na vizinhança (foto 9). A camada de concreto e os rejeitos simbolizam a degradação sofrida pela ZRII, ao mesmo tempo que impedem sua recuperação. É importante observar que a coloração do solo das trincheiras ZRII foi a que mais se assemelhou à coloração do perfil diagnosticado no barranco, enquanto que as trincheiras da ZRI e MN apresentaram colorações diferentes e uma camada superficial com espessa constituição orgânica (até aproximadamente 20 cm de profundidade). Diferenças tão distintas, provavelmente, são consequências das variadas quantidades e qualidades de serapilheira estocada e decomposta em cada subárea. Pode-se dizer que, a MN pode ser descrita como tendo um horizonte mineral, fortemente, influenciado pela matéria orgânica, enquanto que a ZRI apresenta horizonte A com evidência de coexistência de propriedades minerais e orgânicas, mas em menor grau.

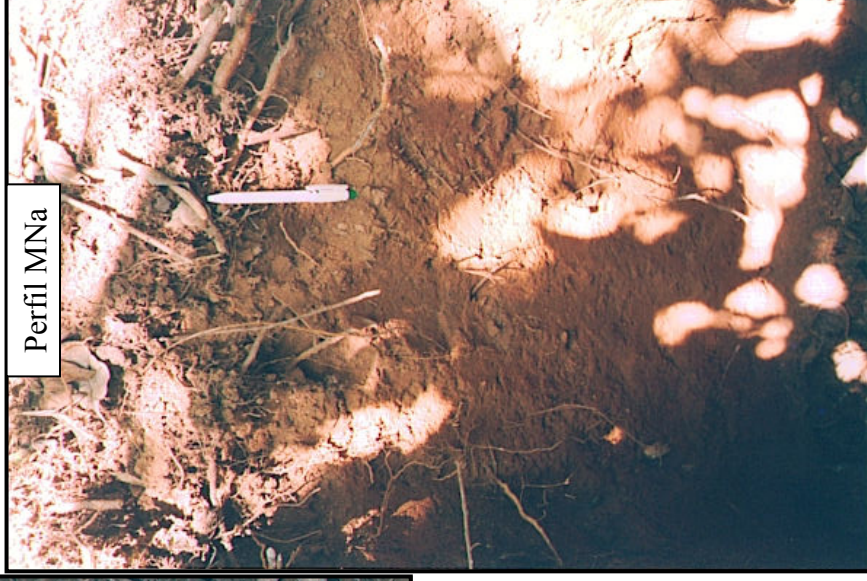
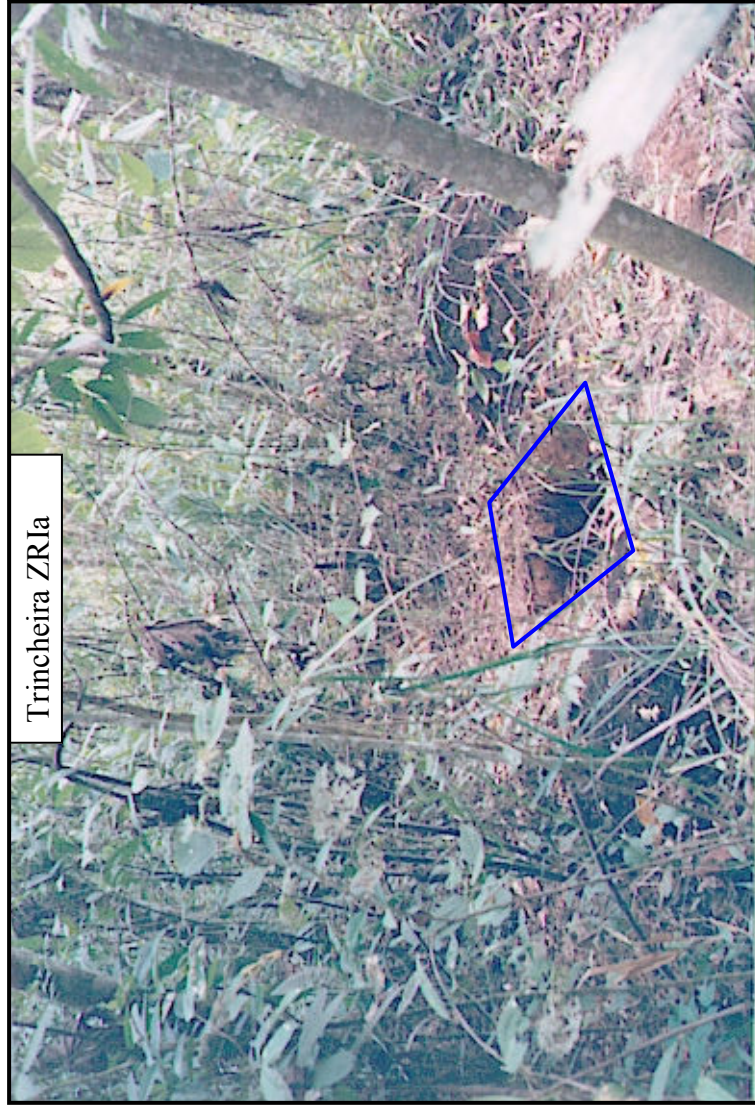


FOTO 4: Fotos da paisagem, localização, perfil e detalhe da trincheira denominada MNa



FOTO 5: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada MNb



Trincheira ZR1a

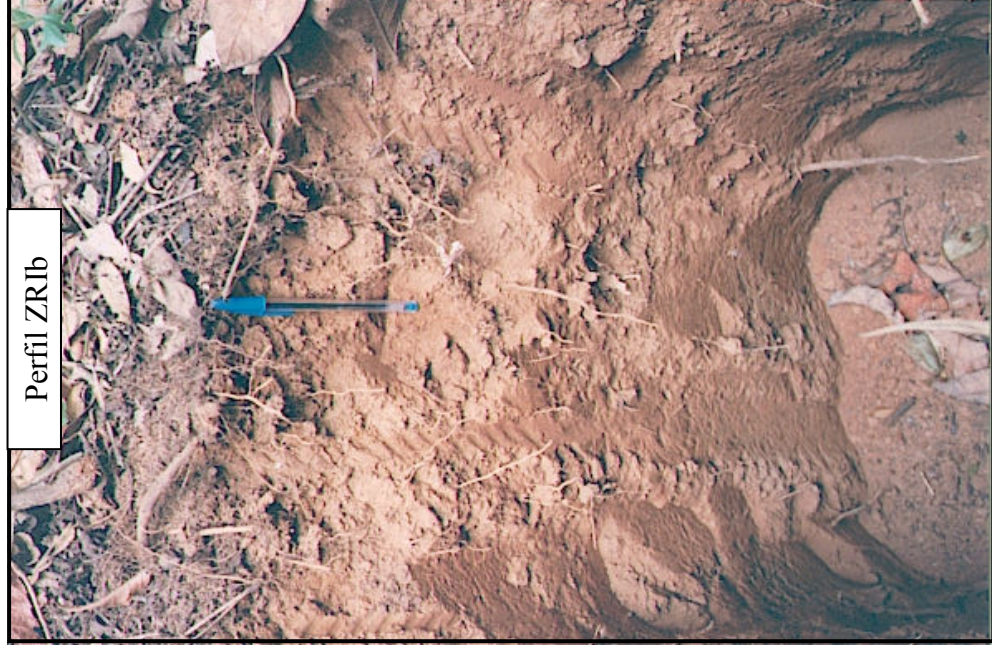


Perfil ZR1a

FOTO 6: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZR1a



Paisagem ZR1b



Perfil ZR1b



Rizosfera e sinal de pedofauna

FOTO 7: Fotos da paisagem, perfil e detalhe da rizosfera sinalizando um canal de pedofauna da trincheira denominada ZR1b

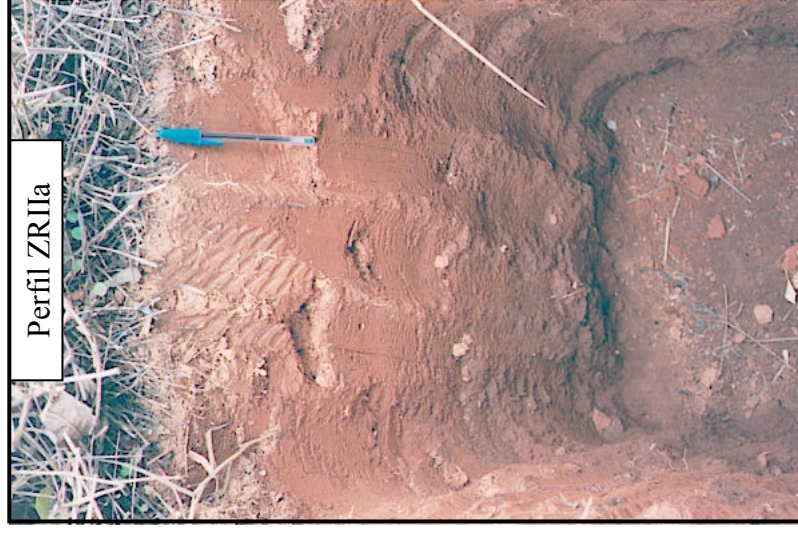
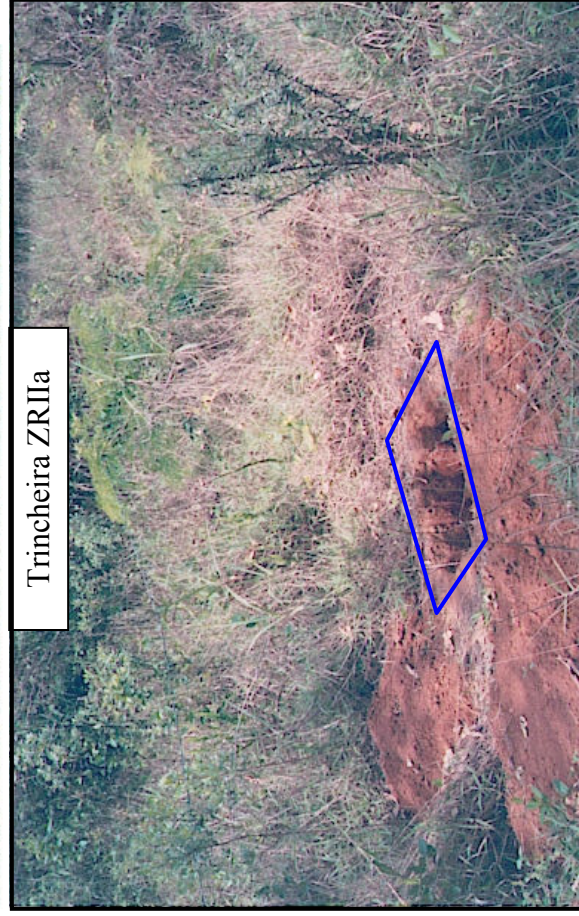
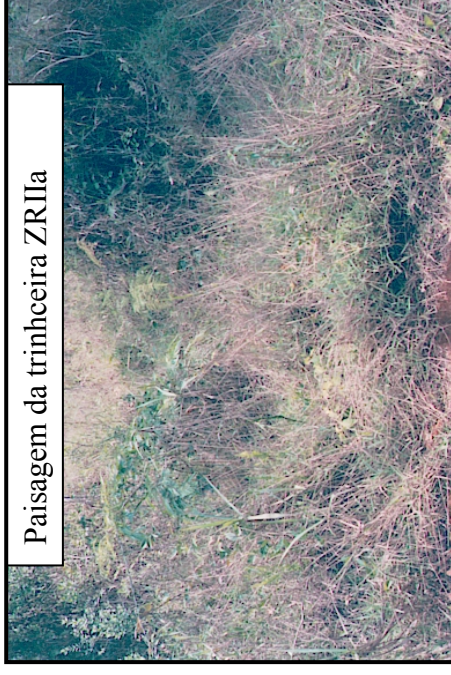
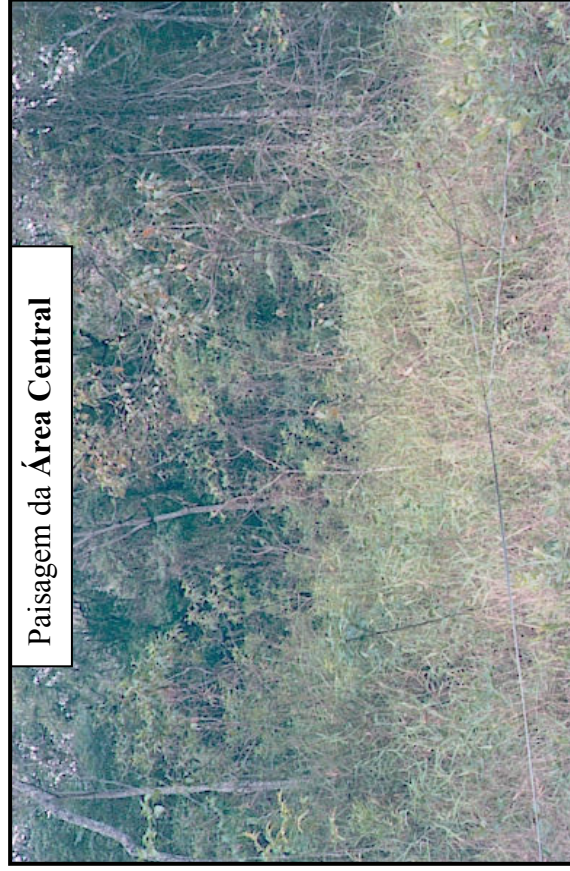


FOTO 8: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZRIIa

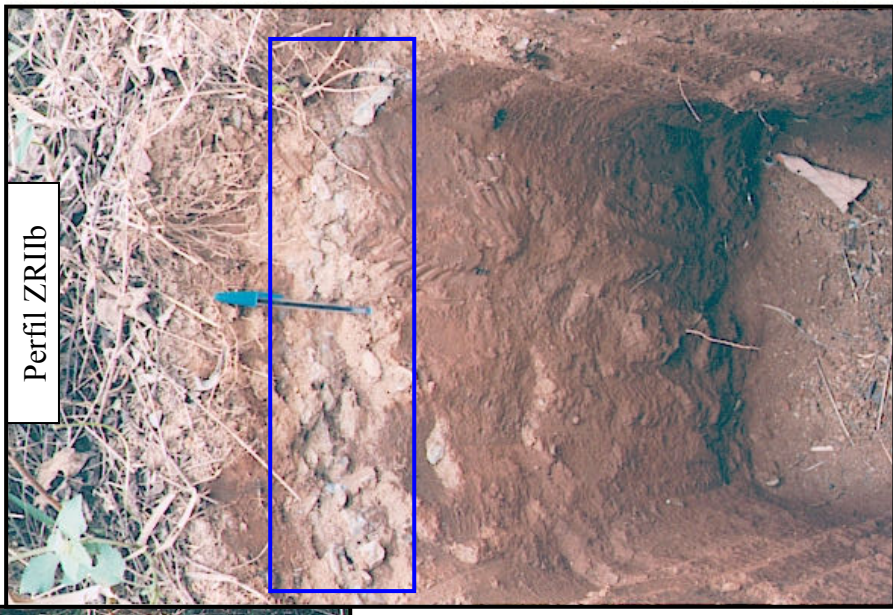


FOTO 9: Fotos da paisagem, localização e perfil da trincheira denominada ZRIIb

Na Tabela 4 são expostas as observações dos horizontes A no campo e, os diagnósticos hipotéticos²⁵ dos horizontes de acordo com a identificação do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999).

TABELA 4: Caracterização dos Horizontes Superficiais das Trincheiras

Trincheira	Coloração	Profundidade de Influência da MO ²⁶	Diagnóstico Hipotético
E a	Amarelo	± 0 cm	Horiz. A Moderado
E b	Alaranjado	± 2 cm	Horiz. A Moderado
ZRII a	Avermelhado	± 5 cm	Horiz. A moderado
ZRII b	Avermelhado	± 5 cm	Horiz. A moderado
ZRI a	Escuro	± 10 cm	Horiz. A moderado
ZRI b	Escuro	± 10 cm	Horiz. A moderado
MN a	Escuro	± 20 cm	Horiz. A proeminente ou chernozêmico
MN b	Escuro	± 20 cm	Horiz. A proeminente ou chernozêmico

As observações de campo da camada superficial, até a profundidade de 10 cm, conjuntamente com os resultados laboratoriais (gráfico 5), demonstram que pode existir diferentes tipos de horizonte A.

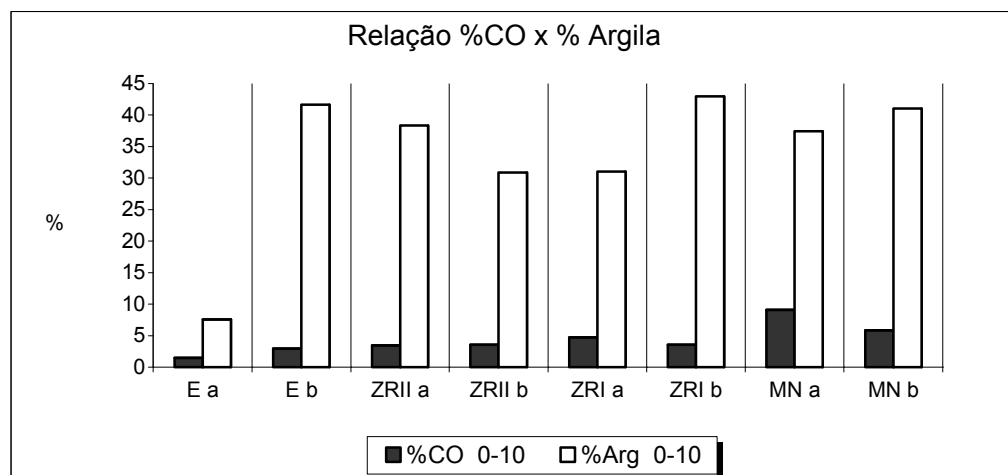


GRÁFICO 5: Porcentagem de carbono orgânico e porcentagem de argila de 0 a 10 cm de profundidade para cada trincheira.

²⁵ Como não foram realizadas análises químicas (fertilidade) não é possível especificar, com segurança, o tipo de horizonte A.

As trincheiras da E apresentam baixa porcentagem de carbono orgânico (1,5 e 3 %CO), contudo a porcentagem de argila é muito variada (7,6 e 41,7 %Arg). Nas trincheiras da MN, a porcentagem de carbono orgânico é a mais alta de todas as subáreas (9 e 5,8 %CO) e a porcentagem de argila acompanha as médias das demais subáreas (37 e 41 % argila), enquanto que a ZRI e a ZRII apresentam porcentagem de carbono orgânico e porcentagem de argila semelhantes (%CO: ZRI – 4,7 e 3,5; ZRII – 3,5 e 3,6; % argila: ZRI - 31 e 43; e ZRII - 35 e 31).

Outra observação importante é que nos fundos da área de estudo entre a ZRI e ZRII, foram encontrados vários rejeitos como pedaços de pneu, brita, areia, tubulações, parafusos e outros objetos metálicos (foto 10). Estes pertencem a COPASA e deveriam ter sido retirados em 1995, quando da implantação do projeto de recuperação. Considera-se incorreto deixar tais rejeitos na área, pois esta ação é inconsistente com a idéia de recuperação, principalmente, pelo fato de que os maiores rejeitos metálicos, provavelmente, inibirão a recuperação completa do local por um período de tempo em torno de 450 anos. Além do espaço físico que ocupam na área. Somado a isso, os outros rejeitos permanecerão no ambiente também em torno de: 450 anos para plásticos e pvc, 500 anos para alumínio, 100 anos para aço e tempo indeterminado para os pneus (AGROMIL, 2005; ASBEN, 2005).

Esses rejeitos, assim como a camada de concreto, poderiam se tornar um indicador de degradação, pois como interferem na dinâmica da recuperação de modo e em tempos distintos, poderiam receber pontuações distintas conforme tamanho e tempo de decomposição.

²⁶ Percepção visual em função da coloração escura.



FOTO 10: Materiais diversos encontrados na área de estudo.

5.2 RESULTADOS LABORATORIAIS ²⁷

Para todos os indicadores, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação da distribuição dos dados. O teste revelou que a maioria dos indicadores apresenta distribuição normal, exceto a porcentagem de argila e a porcentagem de estabilidade de agregados (não-normais). Assim, decidiu-se por realizar o teste ANOVA pelo método de Tukey HSD e a correlação de Pearson para os indicadores de distribuição normal; e os testes de variância pelo método Kruskal-Wallis e a correlação de Spearman para os de distribuição não-normal. Todos calculados com 95% de intervalo de confiança ($\alpha = 0,05$).

De modo geral, o objetivo da análise estatística é comparar as diferenças entre os indicadores selecionados e entre as subáreas através dos ambientes rizosféricos e biológicos, permitindo assim diagnosticar a evolução da recuperação da área de estudo. Assim, realizou-se a média das profundidades de cada trincheira para representar o ambiente rizosférico com a intenção de analisar o ambiente no qual ocorre a interação das raízes com o solo.

As análises consideraram que os fatores como material de origem, clima (temperatura e umidade, principalmente) e relevo eram idênticos para toda a área de estudo. Depois foram analisadas as possíveis diferenças promovidas pela sazonalidade, encontrando diferença significativa ($p < 0,05$) entre seca e chuva somente para a porcentagem de estabilidade de agregados (seca: $93 \pm 2,5\%$; chuva: $89 \pm 7\%$) e para a respiração microbiana (seca: $214,2 \pm 48,8 \text{ mgCO.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$; chuva: $251,1 \pm 85,7 \text{ mgCO.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Assim sendo, na análise de cada indicador, o clima foi considerado um fator ambiental que influenciou toda a área igualmente, portanto um fator constante nos 10 anos de recuperação. Considerou-se, também, que os indicadores bio-pedológicos selecionados contêm em si esses ritmos climáticos e, conseqüentemente, os processos e as respostas adaptativas a estes. Decidiu-se, então, que as análises estatísticas independem da sazonalidade e as estações do ano não foram consideradas significativamente diferentes (para todos os indicadores), portanto nos cálculos estatísticos as estações sazonais entraram como amostras duplicadas. Um outro fato é que alguns indicadores apresentaram pontos extremos (*outliers*), os quais foram mantidos nos cálculos por serem consideradas respostas previstas na natureza. Quando tais pontos ocorrerem na análise serão mencionados (para cada indicador).

²⁷ Os resultados gerais das metodologias estão no anexo I.

5.2.1 Pedoindicadores

As análises dos dados dos transectos (A e B), das trincheiras (1 e 2) e das profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60) não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$) de acordo com o teste Tukey HSD e de Kruskal-Wallis, exceto para a porcentagem de estabilidade de agregados nos casos dos transectos e das trincheiras. Contudo, de modo geral, estes grupos foram considerados repetições das metodologias, na análise estatística.

5.2.1.1 Análise Granulométrica e o Indicador Argila

Para cada trincheira foram definidas as classes texturais baseadas na porcentagem média granulométrica das trincheiras. Os resultados analíticos e as classes estão representados no gráfico 6.

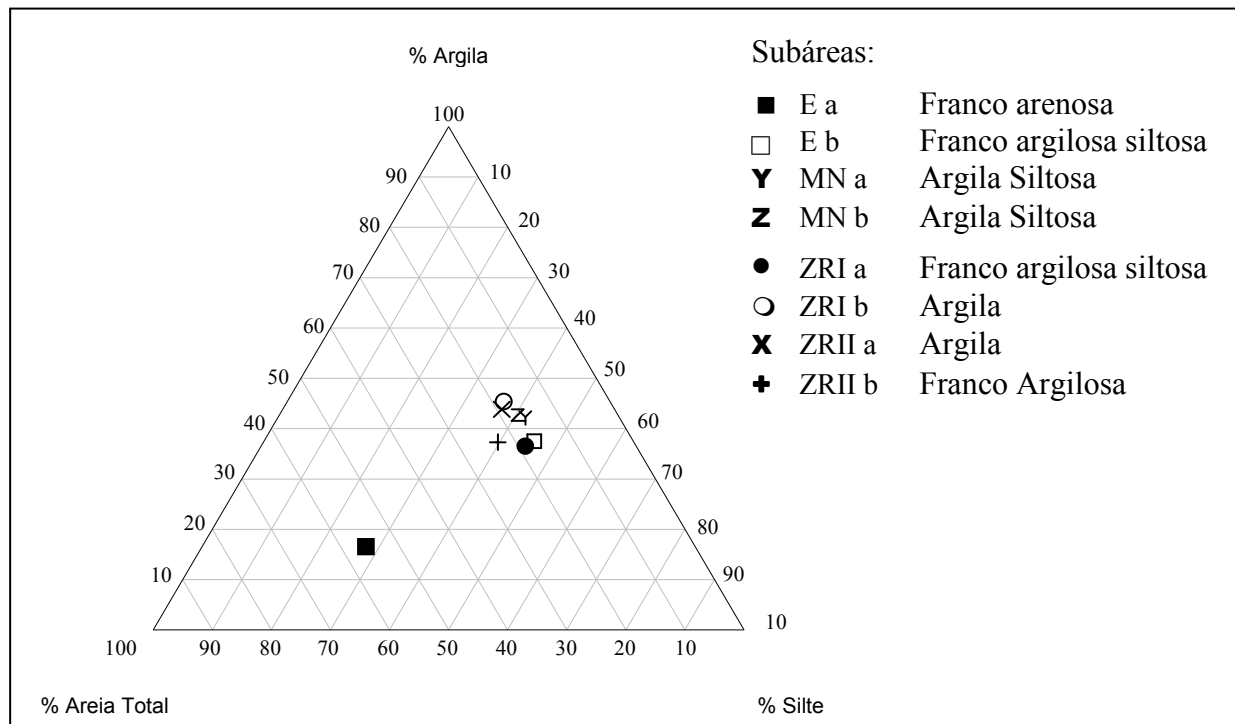


GRÁFICO 6: Diagrama Triangular da Análise Granulométrica

Alguns casos particulares devem ser mencionados. Por exemplo, a ZRIIb apresentou maior concentração de areia na profundidade de 5-10 cm devido a ação antrópica na região (foto 9), bem como, a maior presença de areia na Ea do que na Eb, provavelmente, se deve à deposição de material alóctone proveniente do escoamento superficial. Além disso, os teores

de argila mostraram alguns pontos *outliers* (valores menores que 35%), principalmente, nas amostras do período de chuva na profundidade de 0-5 da MN e da ZRI, provavelmente, pela perda das partículas por escoamento superficial.

Analisando-se o gráfico 7, observa-se que a E tem maior concentração de areia do que a MN, ZRI, e ZRII, exceto pela ZRII 5-10. A E apresenta decréscimo na porcentagem da fração areia ao longo da profundidade, enquanto que nas demais a porcentagem é praticamente constante. Já em relação a fração argila existe tendência de aumento da porcentagem ao longo das profundidades em todas as subáreas.

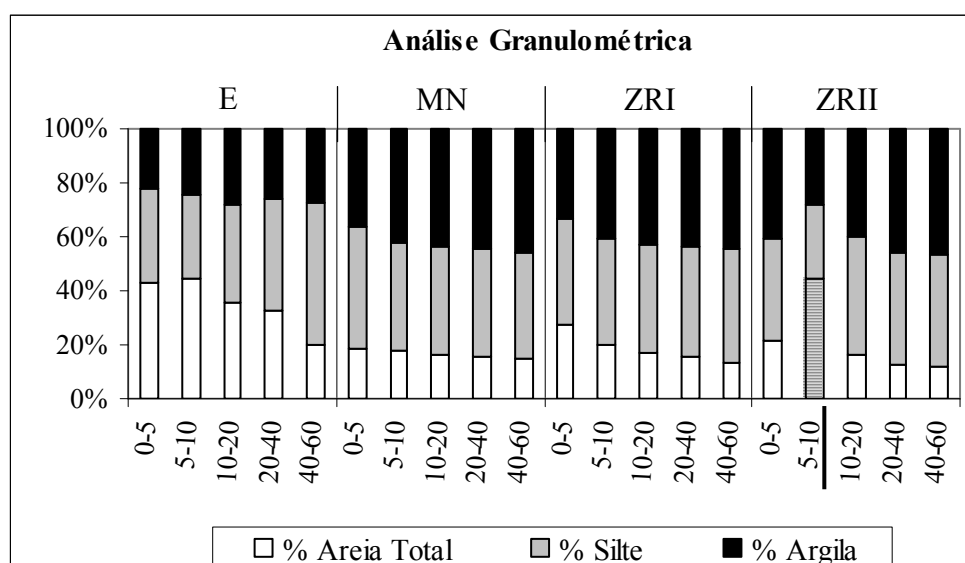


GRÁFICO 7: Teores de areia, silte e argila das amostras de solo retiradas em diferentes profundidades das diferentes subáreas.

O Gráfico 8 apresenta a média geral²⁸ do teor de argila por subárea, onde a E (25,6% ± 13) é significativamente diferente das demais; e a MN (42,4% ± 4,2), a ZRI (40,9% ± 7,8) e a ZRII (40,4% ± 11,4) apresentam valores similares entre si. Isso, provavelmente, deve-se à forte perturbação antrópica atuante na área.

²⁸ A Média Geral é sempre a média das duas trincheiras e respectivas profundidades.

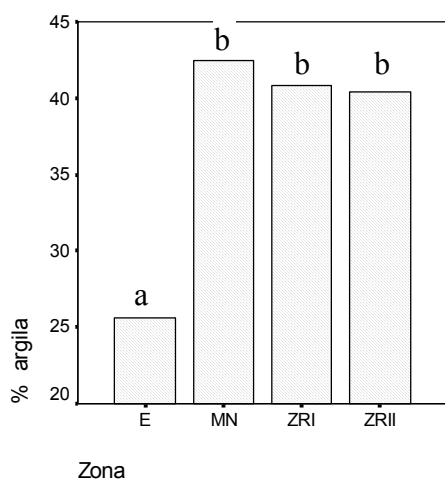


GRÁFICO 8: Teor de argila entre Subáreas

Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

5.2.1.2 pH

O gráfico 9 mostra que todas as subáreas possuem pH abaixo de 7, variando entre 3,5 e 5,5, ratificando o fato de que os Latossolos tropicais são ácidos (Haag, 1985; Bigarella et al., 1996; Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Observa-se que o comportamento do pH, ao longo das profundidades da ZRI (4,2 a 4,9) e da ZRII (4,9 a 5,5) são semelhantes, apesar de estarem em faixa de pH diferentes. Lembrando da camada de concreto existente na ZRIIb entre 5-15 cm (foto 8), essa não parece perturbar a acidez. Enquanto que a E (3,9 a 5) apresenta um aumento da acidez com a maior profundidade, comportamento oposto da MN (3,5 a 4,05) que diminui a acidez com a maior profundidade. Provavelmente, estas respostas estão associadas aos teores de matéria orgânica existente em cada subárea.

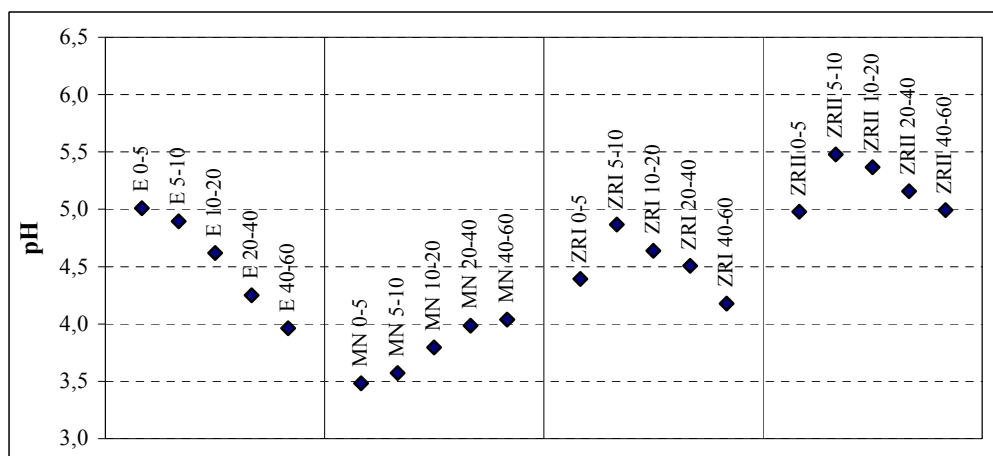


GRÁFICO 9: Faixa de Acidez Média nas Profundidades e entre as Subáreas.

A tendência geral da acidez nas subáreas pode ser explicada por Pires-O'Brien & O'Brien (1995), quando declaram que, normalmente, a camada superficial dos solos é quase sempre mais ácida que as camadas subsuperficiais, devido à abundância dos ácidos orgânicos e da maior lixiviação de bases permutáveis das camadas superiores. Fato que explica a maioria das subáreas, salvo a E. Observa-se que a MN e a ZRI, que ostentam maior diversidade florística e maior camada de serapilheira, apresentam maior acidez na camada superficial do solo, enquanto que a ZRII e a E apresentam menor quantidade de serapilheira e menor acidez na camada superficial. De acordo com Vargas & Hungria (1997), o comportamento da acidez pode ser explicado pela matéria orgânica que exibe ação tamponante, em faixas levemente ácidas, ajudando a manter uma reação uniforme no solo.

Considerando que a porcentagem de argila entre MN, ZRI e ZRII são semelhantes, provavelmente, a variação no pH destas subáreas é afetada pela diferença da saturação de Al^{3+} e H^+ na capacidade de troca catiônica; e da concentração e tipo de matéria orgânica presente. Já a E, além de possuir quase metade da porcentagem de argila das outras subáreas, também possui menor teor de matéria orgânica. A relação do pH com a capacidade de troca catiônica é explicada por Tibau (1984) quando menciona que a acidez indica solo pobre em cátions disponíveis. De acordo com Primavesi (1987), o solo com pH menor que 5,6 tende a formar maiores quantidades de ácidos fúlvicos, os quais são, usualmente, responsáveis pelo empobrecimento nutricional do solo por lixiviação em regiões com abundância de chuvas, favorecendo assim a acidez.

Considerando o ambiente rizosférico, o pH das subáreas (gráfico 10) demonstra que a MN permanece apresentando a maior acidez ($3,8 \pm 0,25$) e a ZRII a menor ($5,2 \pm 0,9$), as quais são significativamente diferentes entre si e das demais ($p < 0,05$), enquanto que a E ($4,6 \pm 0,62$) e a ZRI ($4,5 \pm 0,42$) apresentam valores similares. Os diferentes compostos orgânicos provenientes da variedade florística entre as subáreas, possivelmente, são uma das razões para o comportamento desta acidez. De acordo com Primavesi (1987), a mobilização do húmus é bastante rápida em solos florestais, onde quase não se acumula e, em solos com gramíneas, acumula-se pouco. Então, provavelmente, a MN e a ZRI são as mais ricas na quantidade variada de húmus de consumo e de reserva, enquanto que a ZRII deve possuir pouco húmus de consumo e muito húmus de reserva. Acrescenta-se a isso, o fato de que a saturação por bases possui correlação mais estreita com pH e essas bases são liberadas no sistema pela decomposição da matéria orgânica.

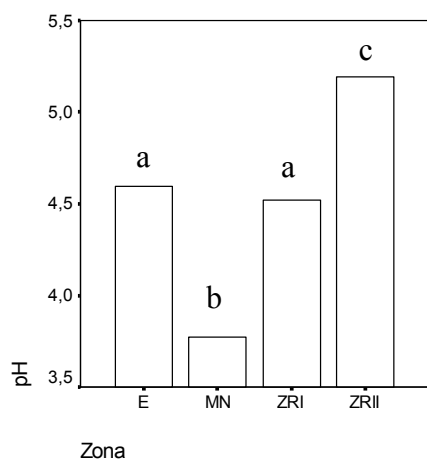


GRÁFICO 10: pH médio entre Subáreas

Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Outro fator que pode explicar o comportamento do pH nas subáreas é a umidade. De acordo com Pires-O'Brien & O'Brien (1995), a umidade local também afeta, diretamente, o pH do solo. Supõe-se que a ZRII²⁹ tem a menor umidade, porque sofre radiação direta e, conseqüentemente, alta evapotranspiração, enquanto que a umidade da ZRI está na interface entre MN e ZRII, pois ainda sofre um pouco de evapotranspiração, porque boa parte dessa subárea ainda recebe radiação direta. A MN e a E apresentam uma umidade, relativamente, constante por causa do microclima da mata e da conservação da umidade noturna. Como a E está protegida pelo dossel da MN, apresenta pouco ou nenhuma evaporação por radiação direta e, assim, mantém a umidade do solo.

5.2.1.3 Matéria Orgânica

Observando o teor de matéria orgânica nas profundidades e entre as subáreas (gráfico 11) verifica-se que sua presença independe da profundidade da amostra, sendo gradual e decrescente entre as profundidades, até 60 cm, exceto na ZRI. Enquanto que a MN apresenta o maior teor com acentuado decréscimo da camada superficial (0-10 cm) para a camada subsuperficial (10-60 cm), a E tem o menor teor e, praticamente, não apresenta decréscimo ao longo das profundidades. O que ocorre na E pode ser devido, também, a sua alta porcentagem de areia e a nenhuma produção de biomassa, significando menor interação da matéria orgânica com a argila, que se traduz na saída da matéria orgânica do sistema solo. A ZRI

²⁹ De acordo com a observação de campo.

apresenta pequeno acréscimo do teor de matéria orgânica nas maiores profundidades e acredita-se que essa tendência é devida a grande diversidade de biomassa viva, que se traduz na crescente competição das espécies florísticas pelos recursos nutricionais das camadas superficiais. Em relação ao baixo teor de matéria orgânica da ZRII na faixa de 5-10 cm, é plausível admitir que está relacionada com a camada de concreto que impossibilita o crescimento radicular das plantas e assim impedindo, notadamente, o desenvolvimento destas.

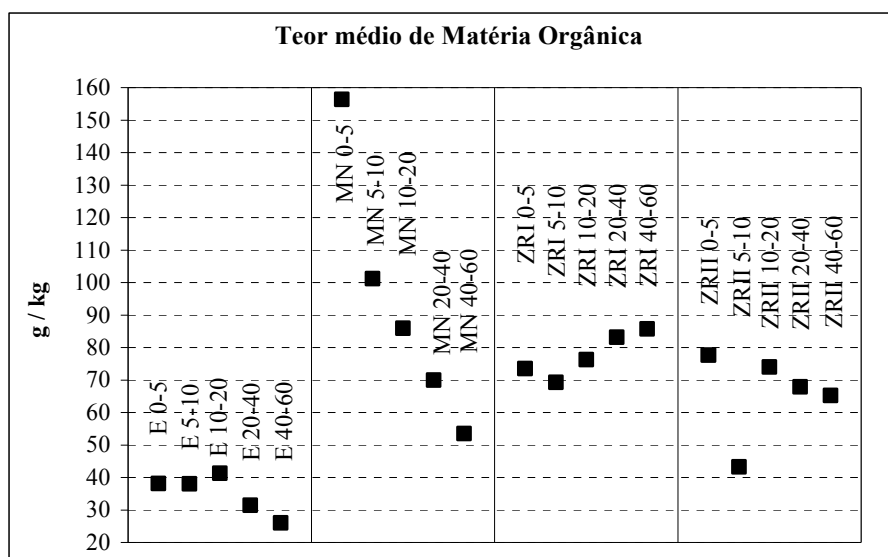


GRÁFICO 11: Teor de Matéria Orgânica nas Profundidade e entre as Subáreas.

De modo geral, o comportamento do teor de matéria orgânica é diferente entre as subáreas, provavelmente, devido a variedade da flora, dos compostos orgânicos provenientes da decomposição, da umidade e da atividade biológica. De acordo com Tibau (1984), a variação do teor de matéria orgânica, usualmente, existe por causa da diferença de contribuição efetiva de matéria orgânica entre *habitats* diferentes.

O ponto *outlier* apresentado na MN na faixa de 0-5 cm, possivelmente, é devido a alta concentração de serapilheira e substâncias orgânicas produzidas pelas raízes (foto 4). Outra área que apresentou *outlier* foi a E na faixa de 0-10 cm, provavelmente, por causa da baixa presença de serapilheira (foto 3) e da baixa taxa de atividade microbiana.

Já o ambiente rizosférico evidencia que o teor de matéria orgânica (Gráfico 12) ocorre em maior porcentagem na MN ($9,34 \pm 4,2$) e em menor porcentagem na E ($3,5 \pm 1,53$), as quais são significativamente diferentes entre si ($p < 0,05$), enquanto que a porcentagem na ZRI ($7,75 \pm 2,5$) e na ZRII ($6,56 \pm 1,9$) são similares. Além disso, os valores encontrados para a ZRI se assemelham a MN, mostrando que ela se encontra na interface dos teores de matéria orgânica entre a MN e a ZRII. Pela característica diversificada da flora nas subáreas MN e

ZRI é aceitável a alta porcentagem de matéria orgânica manifestada em relação a demais subáreas por sua alta produtividade. Porém na E, o teor de matéria orgânica demonstra o grau de impacto antrópico da subárea, não permitindo o crescimento vegetativo. Assim como, provavelmente, o teor da ZRII está associada à característica da vegetação herbácea que tem pouca biomassa se comparada à vegetação existente na ZRI e na MN.

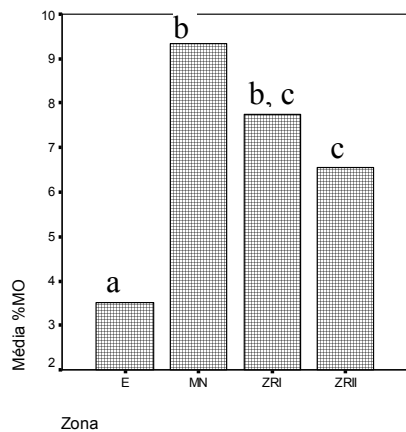


GRÁFICO 12: Teor de matéria orgânica entre as Subáreas

Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

5.2.1.4 Estabilidade de Agregados

Estudos de estabilidade de agregados, normalmente, utilizam para a análise da estabilidade estrutural em água, os agregados de classe menores que 7 mm e maiores que 4mm, e para a determinação da qualidade do solo os maiores que 2 mm (Kemper & Chepil, 1965; Kemper & Rosenau, 1986; Alvarenga et al., 1986). Nesta análise foram considerados os agregados maiores que 2 mm até a profundidade de 20 cm.

De acordo com Alvarenga et al. (1986) e Bognola et al. (2005), a presença dos agregados acima de 2 mm é um bom indicio de qualidade do solo, pois é uma característica física desejável para o desenvolvimento da vegetação, tornando os solos relativamente resistentes à erosão, com boa permeabilidade e de difícil esboroamento. No gráfico 13 é possível observar que ocorreu grande concentração de agregados maiores de 2 mm, ou seja, acima de 83% em todas as subáreas, o que permite concluir que possuem agregados bastante estáveis. Mas, infelizmente, isso não indica “qualidade” de solo, como é demonstrado pelos valores da E. Provavelmente, as porcentagens representam mais as características dos Latossolos, que possuem boa agregação e uma estrutura de solo bastante desenvolvida como é mencionado por Alvarenga et al. (1986) do que propriamente uma “qualidade” do solo.

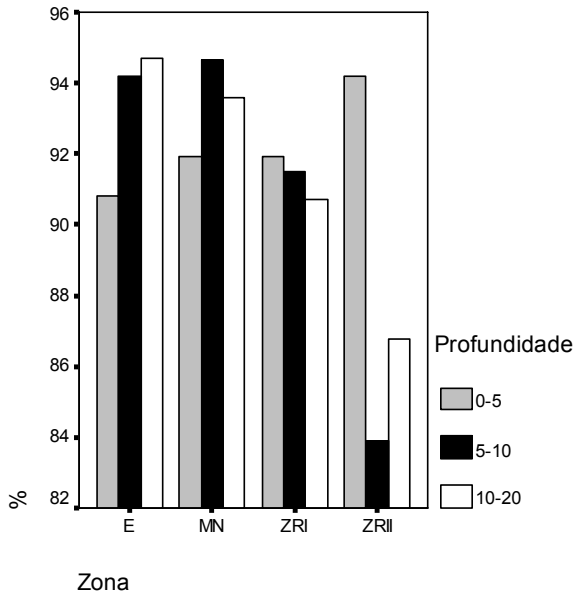


GRÁFICO 13: Porcentagem de agregados estáveis em água em função da profundidade e subárea.

De acordo com Alvarenga et al. (1986) e Bognola et al. (2005), a presença da serapilheira favorece o aumento do diâmetro dos agregados e, caso o solo apresente maior concentração de agregados com diâmetros acima de 2 mm, isso indica maior contribuição da matéria orgânica em sua formação e estabilidade. Tal afirmativa não pode ser confirmada pelo gráfico 13, principalmente, se considerar que os resultados se assemelham tanto para MN e ZRI que possuem os maiores teores de matéria orgânica, quanto para a E e a ZRII possuem os menores. Além disso, o gráfico não mostra diferenças significativas da porcentagem de agregados estáveis entre as subáreas. A afirmação de Alvarenga et al. (1986) e Bognola et al. (2005) somente podem explicar o comportamento na ZRII nas profundidades de 5 a 20 cm, mas, nesse caso é necessário considerar a influência negativa da camada de concreto no teor de matéria orgânica, no crescimento radicular e na atividade microbiana para a floculação, em suma, na estabilidade dos agregados.

D'Andréa et al. (2002) observaram que ocorre redução nas porcentagens de agregados maiores que 2 mm com o aumento da profundidade em solos que não foram observados diferenças significativas de matéria orgânica entre os sistemas; e que, portanto, a agregação deve ser motivada mais pelo efeito físico das raízes e organismos. Fato observado somente para a ZRII. Além disso, pode-se reparar que o efeito físico da compactação também, aparentemente, agrega o material pedológico, conforme demonstra a E (gráfico 13). A E apresenta valores de estabilidade de agregados tão altos quanto nas demais subáreas, por

consequente, não se pode considerar que a estabilidade depende unicamente do pH, da porcentagem de argila, do teor de matéria orgânica ou da concentração de raízes, sendo possível ocorrer mesmo em ambientes com certo grau de degradação. Essa alta estabilidade da E pode ser devida a pressão mecânica dos automóveis junto às partículas de argila, compactando o solo; ou isso somado a matéria orgânica e outras substâncias cimentantes presentes no sistema, apesar de suas baixas concentrações.

De modo geral, as porcentagens de estabilidade de agregados em todas as subáreas são maiores do que os apresentados por Alvarenga et al. (1986) com 65% EA em vários tratamentos de um Latossolo argiloso em Capinópolis; e por Bognola et al. (2005) com 74% (0-10 cm) e 87% (10-20cm) em Latossolo VE de talhões de *Eucalyptus dunnii* com solos ácidos e teores médios de matéria orgânica e argila. E são menores do que os apresentados por D'Andréa et al. (2002) com agregados estáveis em torno de 97% para o Cerrado nativo e 96% para a pastagem, em um Latossolo vermelho distrófico típico.

Verifica-se que a sazonalidade (gráfico 14a), com sua variação de temperatura e de precipitação, é o fator que mais influi na estabilidade. Independente da subárea, a porcentagem de agregados maiores que 2 mm no período seco ($93 \pm 2,5\%$) é significativamente superior ao registrado no período chuvoso ($89 \pm 7\%$), com desvio padrão representando intervalo de confiança de 95%, provavelmente, consequência do efeito da precipitação no solo.

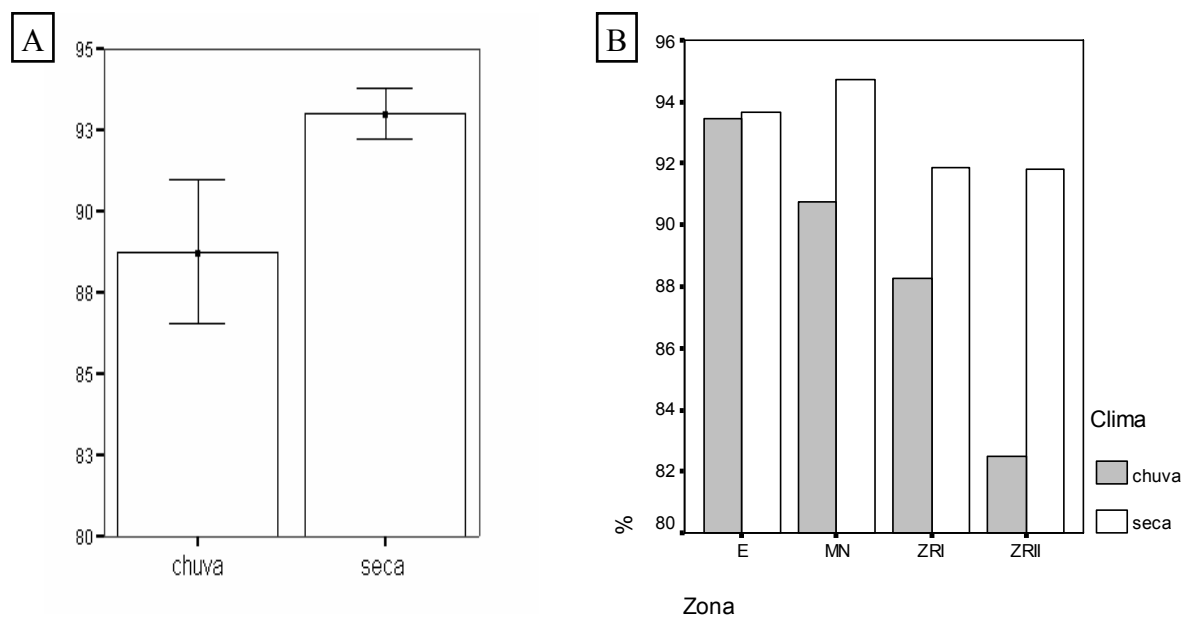


GRÁFICO 14: Porcentagem de estabilidade de agregados em função da época climática (A) e da ação do clima nas subáreas (B).

Baver et al. (1973), Tisdall & Oades (1982) e Bognola et al. (2005) afirmam que a queda da porcentagem da estabilidade de agregados está ligada ao excesso de umidade e a ação direta dos pingos de chuva no solo, levando ao rompimento das ligações químicas dos compostos orgânicos com as partículas de argila, e assim, os desestabilizando. Este fato é observado no gráfico 14b para todas as subáreas, contudo na ZRII ocorre queda acentuada, facilmente explicada pela ação direta da precipitação no solo, visto que não existe um dossel nesta subárea, oposto ao que acontece na E, pois o dossel da MN bloqueia a precipitação direta, além do que, o solo apresenta-se bastante compactado.

De modo geral, o ambiente rizosférico (gráfico 15) demonstra que os agregados mais estáveis estão presentes na E ($93,5 \pm 3,4\%$), MN ($93 \pm 3,5\%$) e ZRI ($90,1 \pm 3,6\%$), as quais são significativamente semelhantes entre si, porém diferentes da ZRII ($87 \pm 8,1\%$). Uma provável explicação da semelhança entre a E e a MN pode ser a não interferência da precipitação nestas subáreas, já que ambas são cobertas pelo dossel da MN, protegendo o solo dos pingos diretos da chuva. Os dados também mostram que a ZRI é semelhante a ZRII, portanto, indica que a ZRI é uma área de interface, onde a floculação ainda pode estar sofrendo ação direta da precipitação, da radiação solar e de outros que interferem no processo de floculação.

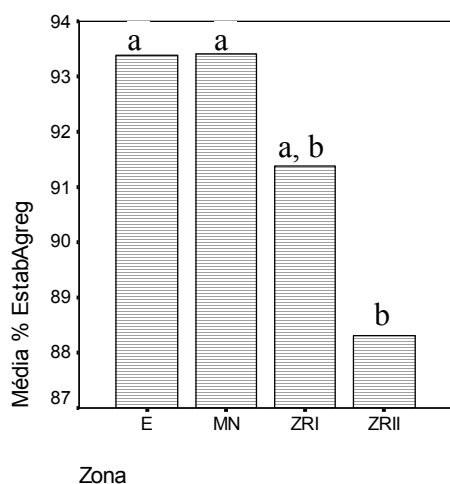


GRÁFICO 15: Média geral da porcentagem de estabilidade de agregados por subárea. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

5.2.1.5 Análise Integrada dos Pedoindicadores

A maioria das correlações foi realizada com o teste de correlação de Spearman R, por causa da distribuição não normal da porcentagem de argila e da estabilidade de agregados. Exceto pela correlação entre pH e teor de matéria orgânica, na qual utilizou-se o teste de

correlação de Pearson. Além disso, pode ser observado que em alguns indicadores as linhas de tendência dos gráficos não representam, fielmente, as informações numéricas das correlações, o que é devido ao modelo matemático empregado no gráfico, o qual utiliza informações de desvio padrão nos cálculos. Outro fato importante é a leitura das retas dos gráficos. Deve-se ter em mente que o coeficiente angular das retas representa o grau de interrelação entre os indicadores, isto é, grandes ângulos significam interações rápidas entre os dois indicadores, enquanto que ângulos pequenos representam uma interação mais lenta.

De modo geral, percebe-se que existem relações de dependência entre as variáveis do solo (propriedade e características) que se estabelecem para sistemas naturais em função da pedogênese. Essas relações não se caracterizam como de causa/efeito, mas de interação mostrando co-variância de uma propriedade ou característica em função de outra propriedade ou característica.

5.2.1.5.1 Argila e pH

O resultado do coeficiente de correlação entre porcentagem de argila e pH (gráfico 16) apresenta diferença para cada subárea. A correlação é significativa ($p < 0,01$) para a E e MN, contudo, negativa na E (-0,629) e positiva na MN (0,657), significando que a resposta do pH em relação à partícula argila é inversa nestas subáreas.

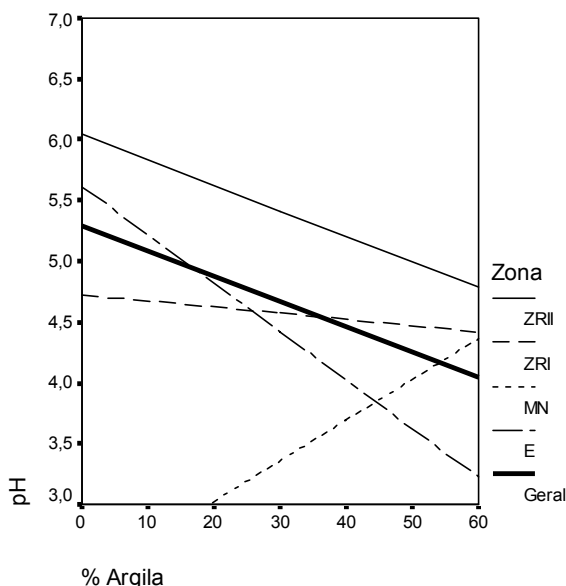


GRÁFICO 16: Correlação entre a porcentagem de argila e pH para cada subárea³⁰.

³⁰ As linhas apresentadas nos gráficos de correlação significam a tendência geral e de cada subárea.

Enquanto que os resultados na E confirmam a teoria que quanto maior a porcentagem de argila, maior a acidez; na MN, quanto maior a porcentagem de argila, menor a acidez, indicando que existe outro fator atuando entre os mesmos, provavelmente, a quantidade de matéria orgânica encontrada em cada subárea.

Os coeficientes da ZRI (-0,122) e da ZRII (-0,424) são inversamente correlacionados, mas não são significativos ($\alpha = 0,6$ e $0,06$, respectivamente), o que significa que esta tendência não pode ser comprovada com estes dados. Contudo, estas subáreas identificam-se com a mesma teoria da E, mas de modo suave na ZRII e muito suave na ZRI, indicando que, provavelmente, a gradual entrada de matéria orgânica nestas subáreas afeta o pH quando interage com a argila. Quando analisado a correlação da argila com o pH sem a separação por subárea (análise geral), o resultado mostra que estes indicadores possuem uma correlação inversa (-0,181) não significativa ($\alpha > 0,05$). Esta tendência inversa é apresentada por Krauskopf (1972) e Bornemisza (1982), confirmando a hipótese que a argila influencia inversamente o pH do sistema solo:solução.

5.2.1.5.2 Argila e Matéria Orgânica.

Existe uma correlação muito forte ($p < 0,01$) entre a porcentagem de argila e o teor de matéria orgânica (gráfico 17) para a E e a MN. Na E (0,603) esta correlação é direta, provavelmente porque toda matéria orgânica se liga, quimicamente, nas partículas coloidais da argila e mantêm-se no sistema.

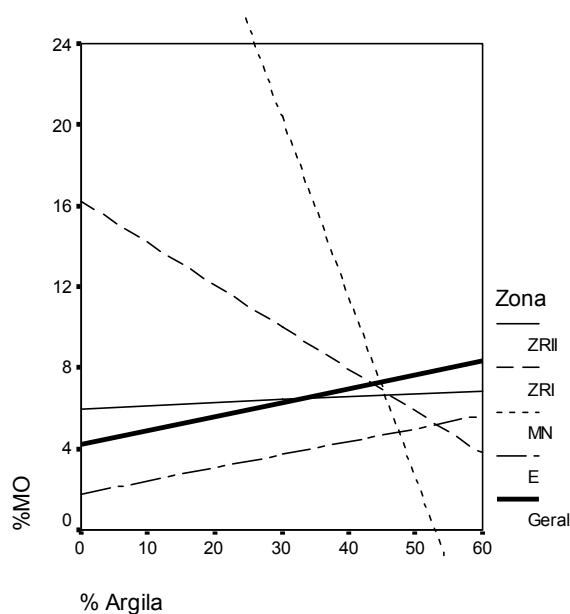


GRÁFICO 17: Correlação entre a porcentagem de argila e a porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.

Na MN (-0,747), na ZRI (-0,433) e na ZRII (-0,322) a correlação é negativa, ou seja, quanto menor a porcentagem de argila, maior a porcentagem de matéria orgânica, provavelmente, isto ocorre porque o teor de matéria orgânica depende mais, diretamente, da concentração florística do que da textura do solo. Portanto, a correlação pode independe da porcentagem de argila e da interação desta com a matéria orgânica, se existir uma concentração de matéria orgânica na MN e na ZRI acima da capacidade de adsorção das partículas de argila presentes no sistema. A ZRII, que tem pouca matéria orgânica, tem tendência semelhante à E, apesar dos dados não permitirem confirmar tal tendência ($p > 0,05$).

Além disso, esses dados não permitem uma conclusão da tendência entre a porcentagem de argila e o teor de matéria orgânica ($\alpha = 0,3$), mostrando apenas que a correlação geral pode ser direta (0,116). A tendência geral poderia confirmar a teoria que quanto maior o teor de partículas de argila, maior seria a presença dos compostos orgânicos no sistema por sua ligação química no colóide, mas os dados não mostram uma tendência real, aparentemente, indicando a existência de outros fatores que influenciam a porcentagem de matéria orgânica presente no sistema solo:solução. Apesar dos dados não confirmarem, completamente, a tendência da correlação, ela é apresentada na teoria por Tibau (1984), Kemper & Rosenau (1986), Primavesi (1987) e Prata et al. (1996).

5.2.1.5.3 Argila e Estabilidade de Agregados

A correlação de Spearman (gráfico 18) mostra que o teor de argila e a estabilidade de agregados são, fortemente e positivamente, correlacionadas na E (0,806; $\alpha = 0,00$), isto é, quanto maior a porcentagem de argila, maior será a estabilidade dos agregados, revalidando a afirmação de Tisdall & Oades (1982), Kemper & Rosenau (1986), Primavesi (1987) e Prata et al. (1996) quando mencionam que a argila interage, quimicamente, com a matéria orgânica para flocular e formar os agregados.

De modo geral, essa tendência não pode ser confirmada para as outras subáreas com os dados analisados, pois na ZRI (0,38), na MN (0,153) e na análise geral (0,04) a correlação é direta uma vez que o coeficiente é positivo, mas sem uma tendência definida ($\alpha > 0,05$), o que indica que existe outro fator atuando na estabilidade. Somado a isso, a correlação na ZRII (-0,475; $\alpha = 0,034$) é inversa, demonstrando que quanto maior a porcentagem de argila, menor a porcentagem de estabilidade dos agregados, conseqüentemente não se pode afirmar que a estabilidade está relacionada somente com a porcentagem de argila e, provavelmente,

existe outro fator determinando a floculação.

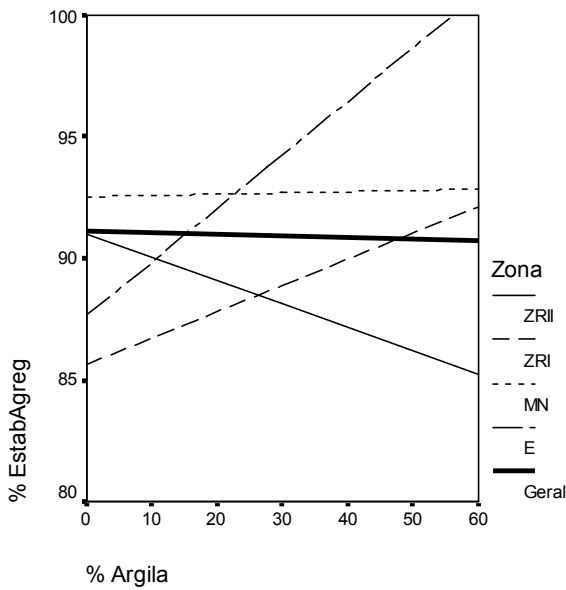


GRÁFICO 18: Correlação entre porcentagem de Argila e porcentagem de Estabilidade de Agregados para cada subárea.

5.2.1.5.4 pH e matéria orgânica

O coeficiente de correlação de Pearson entre o pH e a porcentagem de matéria orgânica (gráfico 19) é de -0,245 para E, -0,655 MN, -0,162 ZRI e 0,127 para ZRII. Estes resultados indicam que a correlação é inversa para todas as subáreas, exceto para ZRII.

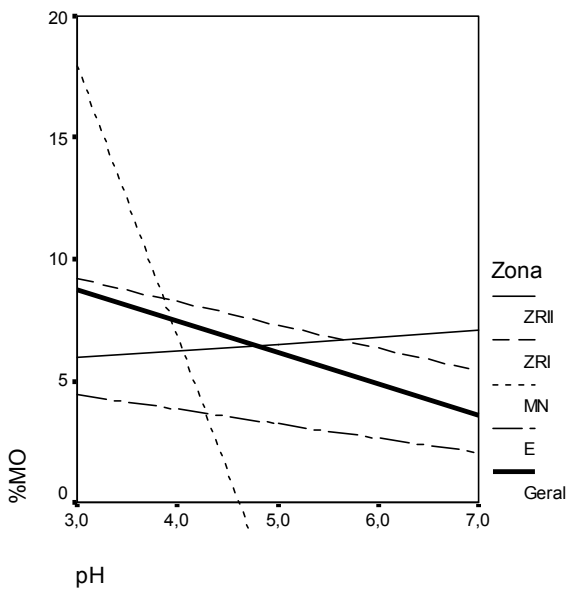


GRÁFICO 19: Correlação entre pH e porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.

Contudo, somente na MN observou-se significância maior que 0,01, ou seja, somente os dados da MN apresentam uma clara correlação entre pH e a porcentagem de matéria orgânica. Os dados da E e da ZRI apresentam, ligeiramente, a mesma tendência da MN. Na ZRII deve existir um outro fator interferindo, pois é esperado que o solo com maior concentração de matéria orgânica apresente menor valor de pH, o que é evidenciado para a MN e levemente para a ZRI e a E.

A análise geral também apresenta, com significância de 0,01, uma correlação inversa (-0,286) da interação entre os indicadores pH e porcentagem de matéria orgânica. Tal tendência é apresentada por Bornemisza (1982), Tibau (1984), Primavesi (1987), Prata et al. (1996) e Andrade (1998), confirmando que quanto maior o teor de matéria orgânica, mais ácido é o solo, e isso deve ocorrer porque a matéria orgânica humificada, isto é, a presença dos ácidos orgânicos na solução do solo, permite uma interação com as partículas minerais pela troca das bases permutáveis com os íons H^+ , liberando-os na solução.

5.2.1.5.5 pH e Estabilidade de Agregados

O gráfico 20 mostra que o coeficiente de correlação de Spearman entre pH e porcentagem de estabilidade de agregados é inverso para a E (-0,6), a ZRII (-0,12) e a MN (-0,01), e direto para a ZRI (0,3). Também mostra que é significativa apenas para a E ($p < 0,01$), pois os dados não conseguem comprovar a influência do pH sobre a estabilidade dos agregados para a MN, ZRI e ZRII ($p > 0,05$).

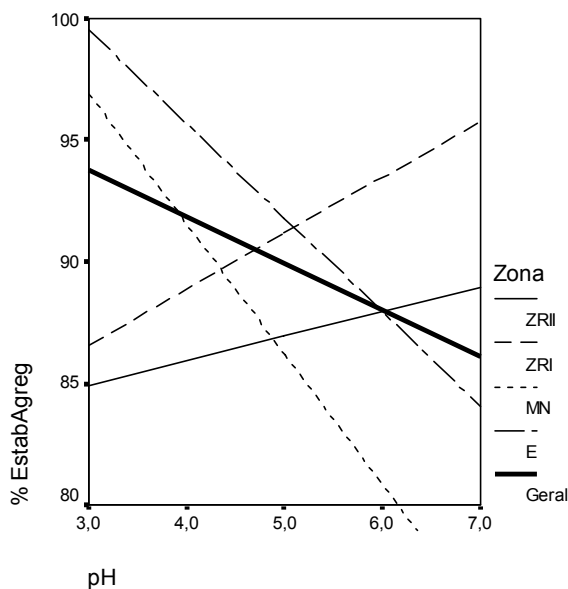


GRÁFICO 20: Correlação entre pH e porcentagem de estabilidade de agregados para cada subárea.

O resultado geral confirma ($p < 0,01$) uma correlação inversa (-0,392) entre o pH e a porcentagem de estabilidade de agregados, ou seja, quanto mais ácido for o solo, maior será a estabilidade dos agregados. Isto ocorre, provavelmente, porque um solo ácido possui maior presença de ácidos orgânicos, que por sua vez, aumentam a possibilidade de fazer pontes de ligação com as partículas coloidais do solo, liberando os íons H^+ na solução do solo. Desta maneira, os colóides ficam agregados. Tal tendência é apresentada por Tisdall & Oades (1982), Kemper & Rosenau (1986) e Prata et al. (1996), confirmando que quando a argila interage, quimicamente, com a matéria orgânica para flocular, também diminui o pH da solução pela maior presença de ácidos orgânicos.

5.2.1.5.6 Estabilidade de Agregados e Matéria Orgânica

O teste de correlação de Spearman entre porcentagem de estabilidade de agregados e porcentagem de matéria orgânica (gráfico 21) mostra que para os dados da E (0,435) e da ZRII (0,449) a correlação ocorre de modo direto (resultado positivo). Enquanto que para a MN (-0,098) e a ZRI (-0,589) a correlação é inversa. Porém, os dados avaliados são ineficazes para demonstrar a tendência real da correlação ($p > 0,05$) para a E e MN, enquanto que existe uma tendência definida para a ZRII e ZRI.

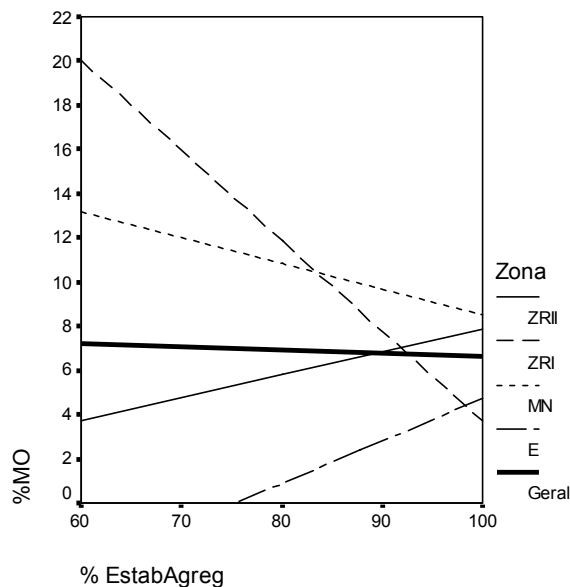


GRÁFICO 21: Correlação entre porcentagem de estabilidade de agregados e porcentagem de matéria orgânica para cada subárea.

De acordo com Primavesi (1987), em solos com teores de matéria orgânica maior que 6%, que é o caso da MN e ZRI, que excedem em muito o teor ($> 9\%$ e $> 7\%$,

respectivamente), usualmente, predominam os ácidos fúlvicos (agentes de lixiviação). Isto pode explicar a tendência inversa dos dados da MN e da ZRI, de que quanto maior porcentagem de matéria orgânica, menor é a estabilidade dos agregados, pela maior presença de agente lixiviador. Já para a ZRII que possui 6,5% MO, a tendência é positiva, provavelmente, porque o teor de matéria orgânica necessária para provocar a lixiviação ainda não ocorre no ambiente. De acordo com Krauskopf (1972), Bornemisza (1982) e Bertoni & Lombardi Neto (1999), também, pode ser explicado pelo fato de que com o maior teor de matéria orgânica pode existir um excesso de cargas negativas na solução do solo e, assim, ocorrer repulsão entre as cargas negativas das partículas de argila e da matéria orgânica, afetando a floculação dos agregados.

A análise geral também não apresenta uma tendência definida com estes dados. Fato que pode ser explicado por Tisdall & Oades (1982), Tibau (1984), Kemper & Rosenau (1986), Primavesi (1987) e Prata et al. (1996), quando afirmam que a floculação e a estabilidade dos agregados dependem, diretamente, da presença e qualidade dos ácidos orgânicos, pois alguns são agentes lixiviantes e outros agregantes.

5.2.2 Bioindicadores

De acordo com o teste ANOVA - Tukey HSD com intervalo de confiança de 95%, os transectos (A e B) não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$) para nenhum dos indicadores: IAF (A: $2,5 \pm 1,2$; B: $2,8 \pm 1,15$ m² área foliar/m² área solo); Luz Incidente (A: $0,38 \pm 0,32$; B: $0,31 \pm 0,32$ lux/m² área solo); porcentagem de cobertura do solo (A: $6,4 \pm 5,3\%$; B: $6,2 \pm 5,3\%$) e Respiração Microbiana (A: 215 ± 76 ; B: 222 ± 85 mgCO₂. m⁻².h⁻¹). Assim sendo, as análises individuais dos indicadores consideraram os transectos como repetições.

5.2.2.1 Índice de Área Foliar, Luz Incidente e porcentagem de Cobertura do Solo

Os resultados de IAF obtidos neste trabalho para a MN foram semelhantes àqueles reportados por Paula & Lemos Filho (2001) para uma mata semidecídua em Belo Horizonte, MG, quando se compara os meses de chuva (fev-mai). O Gráfico 22 apresenta, para as subáreas, as médias das leituras de IAF (a 1m do solo), a luz incidente e os valores obtidos no cálculo da porcentagem de cobertura do solo. Observa-se que o IAF (m² área foliar/m² área

solo) mostra clara tendência da diminuição gradual do dossel da MN em direção à ZR II e, de modo oposto, a LI (lux/m² área solo) e a porcentagem de cobertura do solo (% m² área foliar/m² área solo) tendem a aumentar progressivamente da MN em direção à ZR II. Nota-se, também, que o maior valor de luz incidente na MN leva a maior porcentagem de cobertura do solo neste ponto.

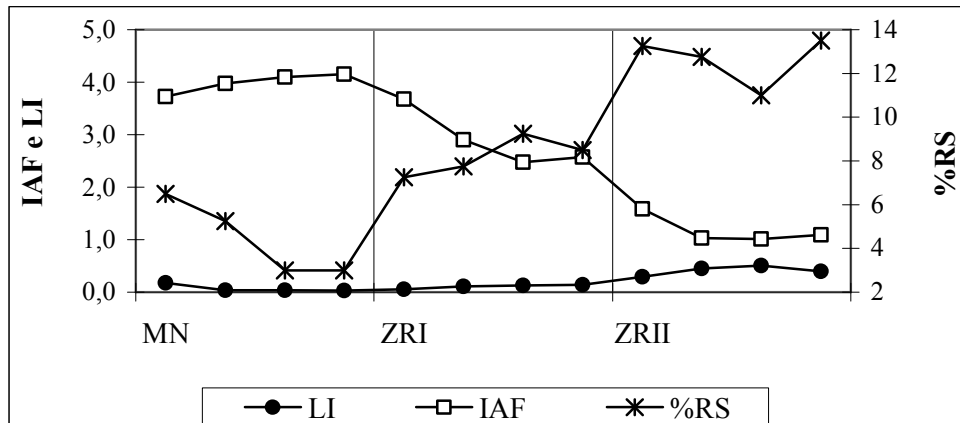


GRÁFICO 22: IAF, Luz incidente e porcentagem de cobertura do solo por Subárea

Dentre as subáreas, a ZR II é a que recebe maior intensidade de radiação luminosa (LI) direta no solo, conseqüentemente, sofre maior variação de temperatura, mais evaporação e evapotranspiração, além de receber diretamente a precipitação. Possui ainda a maior porcentagem de cobertura do solo, provavelmente, devido a presença das herbáceas que são pioneiras tolerantes a ambientes luminosos (e suas conseqüências físicas-químicas) e que têm rápida taxa de crescimento e alta taxa de reprodução. Ocorre a dominância das plantas de baixo porte que não formam um dossel (baixo IAF).

A MN recebe a menor intensidade luminosa (LI) a 1m do solo, tem o maior IAF e possui a menor porcentagem de cobertura do solo. O dossel, representado pelo IAF, forma uma barreira física à entrada da luminosidade, afetando o crescimento das plantas no sub-bosque. Isso é demonstrado nos baixos valores da porcentagem de cobertura do solo, exceto nos pontos onde existem brechas no dossel e ocorre uma maior incidência de luminosidade até solo. A MN, e em menor proporção a ZRI, promove a atenuação da luminosidade através do estrato vertical da vegetação até o maior sombreamento do solo, mantendo, assim, a temperatura, a umidade e a luminosidade aproximadamente constante dentro da MN, mas não na ZRI. O dossel tem ação direta sobre a manutenção do microclima quando bloqueia a incidência luminosa dentro da mata. Isto é confirmado na observação de campo, onde o clima da MN é mais ameno do que na ZR II e coincide com o exposto por Jacobs (1988) e Pires-O'Brien & O'Brien (1995).

A ZRI está na interface (valores medianos) para os três indicadores. Em relação à intensidade de radiação luminosa que chega ao solo, a ZRI não possui a mesma estabilidade climática da MN, mas também não sofre diretamente os extremos climáticos como a ZRII. Pode-se dizer que, a ZRI não possui a constância microclimática da MN e, normalmente, tende a ser mais iluminada, mais quente e menos úmida do que a MN, mas em menor escala do que a ZRII. Além disso, como a luminosidade que recebe promove a maior produtividade das plantas, explica-se os valores mais altos de porcentagem de cobertura do solo em relação à MN e a alta diversidade florística observada na subárea, o que, por sua vez, explica os valores de IAF serem mais altos do que da ZRII, representando espécies de maior porte do que da ZRII (alturas maiores que 1m), descontando-se a influência da subárea vizinha, MN. Isso pode indicar que, as espécies presentes são competidoras e tolerantes a ambientes estressantes (luminosidade, temperatura, evapotranspiração), confirmando a tendência da sucessão mencionada por Spurr & Barnes (1980) e Grime (2002).

Para a análise, dos testes de Tukey e, posteriormente, da correlação de Pearson, da E foi necessário inserir dados fictícios referentes ao IAF, LI e porcentagem de cobertura do solo, pois estes não foram realizados em campo. Isso se deveu ao fato de a E é coberta pelo dossel da MN ao seu redor (foto 2), o que não representa a realidade de uma área degradada. Normalmente, as características reais de um ambiente degradado seriam um alto índice de luz incidente e baixo IAF, semelhante a ZRII. Consequentemente levaria a uma porcentagem de cobertura do solo, idêntica a ZRII, o que, também, não ocorre. Outro fato é que quando foi analisada a correlação com valores zero para o IAF, os cálculos distorciam a correlação das outras subáreas. Assim sendo, considerou-se que o IAF e a luz incidente teriam valores iguais da ZRII e a porcentagem de cobertura do solo representaria a realidade (que é zero). Deste modo, os valores retribuídos aos IAF, luz incidente e porcentagem de cobertura do solo ficaram mais compatíveis com a observação de campo.

Então, os testes de Tukey (gráfico 23) demonstram que existe para IAF, LI e porcentagem de Cobertura do Solo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as subáreas. O IAF (m^2 área foliar/ m^2 área solo) de todas as subáreas é, significativamente, diferente entre si (MN: $3,98 \pm 0,67$; ZRI: $2,91 \pm 0,94$; ZRII: $1,2 \pm 0,6$). Em relação a LI (lux/m^2 área solo), as subáreas MN ($0,07 \pm 0,13$) e ZRI ($0,11 \pm 0,07$) são semelhantes entre si e diferentes da ZRII ($0,41 \pm 0,21$). Para a porcentagem de cobertura do solo todas as subáreas são diferentes entre si com significância ($p < 0,05$), onde a ZRII ($12,6 \pm 3,6$) apresenta a maior cobertura do solo e a E ($0,02 \pm 0,01$) nenhuma cobertura como observado no campo, enquanto que a ZRI ($8,2 \pm 2,3$) tem maior cobertura do que a MN ($4,4 \pm 2,7$).

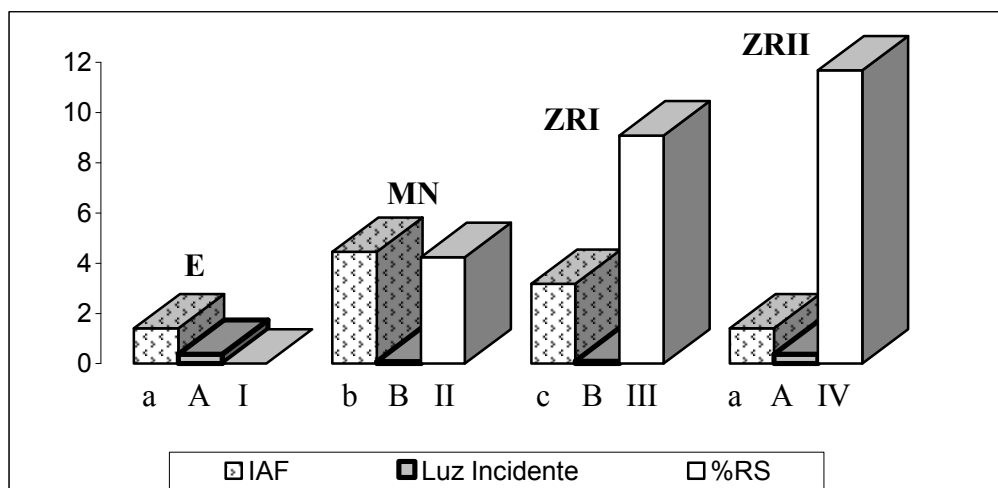


GRÁFICO 23: Índice de Área Foliar (IAF), Luz Incidente (LI) e porcentagem de cobertura do solo (CS) observado para as diferentes subáreas.

Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam o IAF, letras maiúsculas comparam a Luz Incidente e números romanos comparam a % cobertura do solo, entre as subáreas.

Comparando os resultados, pode-se explicar que os locais sombreados pelas copas das árvores e de baixa intensidade de radiação, correspondendo a MN, mostraram influência negativa no crescimento das plantas do sub-bosque, podendo significar uma constância na produtividade e sinal de maturidade. Enquanto que na ZRI, correspondendo a intensidade moderada de radiação, mostrou ser apropriada para o crescimento das plantas, aparentemente recebendo luminosidade e sombreamento suficiente. Isso, possivelmente, porque a luminosidade que incide não sobrecarrega ou diminui a fotossíntese das plantas (a produtividade) ou porque é possível a convivência de espécies tolerantes a luminosidade e tolerantes ao sombreamento. Já a ZRII, com alta intensidade de radiação, é propícia para espécies tolerantes ao sol pleno. Fato confirmado pela dominância das gramíneas na subárea e corroborado por Souto & Aronovich (1992).

Concluindo, então, que a medida do IAF confirma a existência de um dossel mais fechado na MN, portanto maior sombreamento do solo nesta região, favorecendo o desenvolvimento de espécies tolerantes à sombra como as espécies de sucessão tardia e clímax, ao mesmo tempo em que inibe a permanência das espécies pioneiras, as quais são, na sua maioria, tolerantes ao sol pleno ou aos locais pouco sombreados, explicando a dominância destas na ZRII e sua presença ainda na ZRI. Esse quadro geral é explicado por Spurr & Barnes (1980), Odum (1985), Pires-O'Brien & O'Brien (1995), Ricklefs (1996), Ribeiro & Walter (1998), e Grime (2002) como o processo natural da sucessão secundária.

5.2.2.2 Respiração Microbiana

Nos dados de respiração microbiana foram observados pontos *outlier* somente no período da seca para a E. Além disso, a respiração microbiana durante o período chuvoso ($236 \pm 90 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) não apresentou valor significativamente diferente ($\alpha = 0,051$) do obtido no período seco ($201 \pm 66,3 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). A principal diferença da sazonalidade é o desvio padrão dos dados (chuva ± 90 ; seca $\pm 66,3$), que demonstra maior atividade microbiana na chuva do que na seca. Primavesi (1987), Vargas & Hungria (1997) e Moreira & Siqueira (2002) explicam este fato pelo aumento da umidade no solo que favorece os processos bioquímicos.

O gráfico 24 apresenta o valor absoluto médio da respiração microbiana entre as subáreas, ocorrendo a máxima atividade microbiana na ZRI ($265,7 \pm 53,2 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e a mínima na E ($118,6 \pm 66,1 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Já a MN ($243,0 \pm 60,1 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e a ZRII ($246,3 \pm 41,2 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) apresentaram valores análogos. De modo geral, os dados da MN, ZRI e ZRII são significativamente semelhantes entre si e diferentes dos da E ($p < 0,05$).

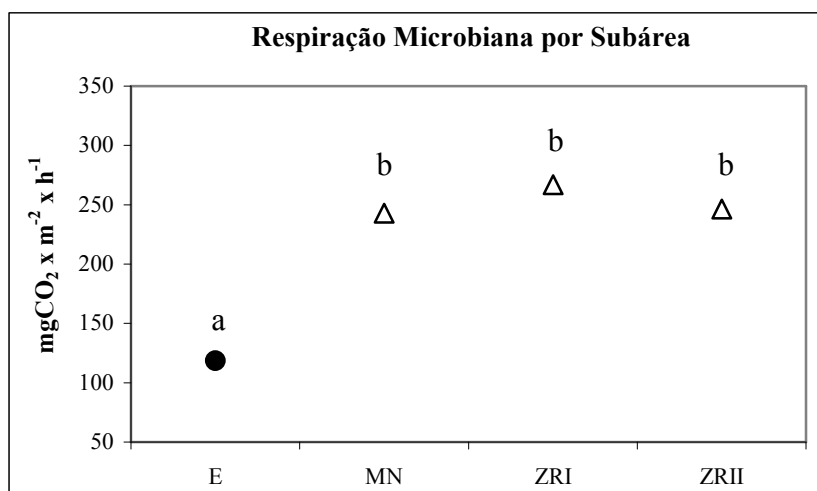


GRÁFICO 24: Média geral da Respiração Microbiana por subárea.

Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Letras diferentes diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Provavelmente, a semelhança entre MN, ZRI e ZRII é proveniente da existência da vegetação, enquanto que a diferença com a E é devido a sua falta de cobertura vegetal e alta perturbação. O que revalida a afirmativa de Vargas & Hungria (1997), Moreira & Siqueira (2002), Larcher (2003) e Mendes Filho (2004) quando mencionam que a quantidade de serapilheira que recobre o solo afeta, diretamente, a atividade microbiana.

5.2.2.3 Análise Integrada dos Bioindicadores

A análise integrada dos bioindicadores foi realizada através da correlação de Pearson, seguindo as mesmas regras já expostas acima para IAF, luz incidente e porcentagem de cobertura do solo.

5.2.2.3.1 Índice de Área Foliar e Luz Incidente

O teste entre IAF e LI (gráfico 25) mostra que a correlação ocorre de modo inverso em todas as subáreas (E -0,9; MN -0,4; ZRI -0,4 e ZRII -0,9). Na maioria das subáreas, esta tendência é confirmada ($p < 0,05$), exceto na MN, cujos dados não apresentam uma tendência clara ($p > 0,05$).

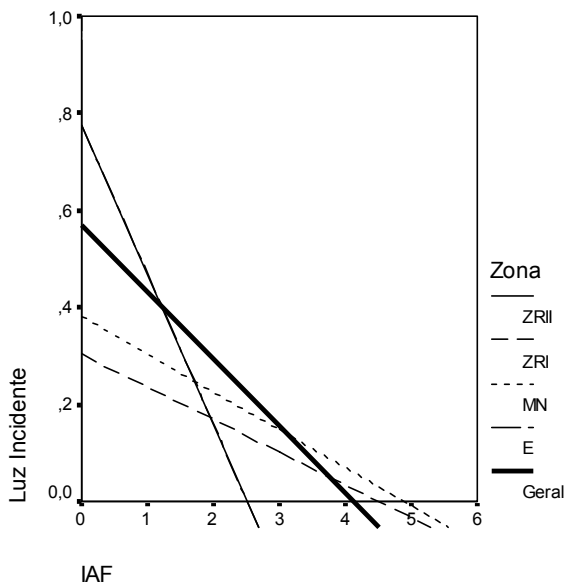


GRÁFICO 25: Correlação entre IAF e Luz Incidente para cada subárea.

A análise geral (-0,8; $\alpha = 0$) também comprova a tendência inversa dos dados, confirmando a hipótese que, quanto maior o IAF, menor é a LI na área, fato demonstrado por Xavier et al. (2002) e Moreira (2004). É evidente que a luz incidente a 1m do solo é resultante das características do dossel, sendo, portanto, esperado que a MN apresentasse o maior IAF e a menor LI e, ao contrário, que a ZRII apresentassem o menor IAF e a maior LI.

5.2.2.3.2 Índice de Área Foliar e Cobertura do Solo

O teste de correlação mostra que o IAF e a porcentagem de cobertura do solo (gráfico 26) são inversamente correlacionados na MN (-0,5), ZRI (-0,4), ZRII (-0,4) e E (-0,2), contudo os dados analisados não podem definir com certeza tal tendência, exceto para a MN ($p < 0,05$). Na análise geral a tendência inversa (-0,2) também não pode ser comprovada ($p = 0,2$).

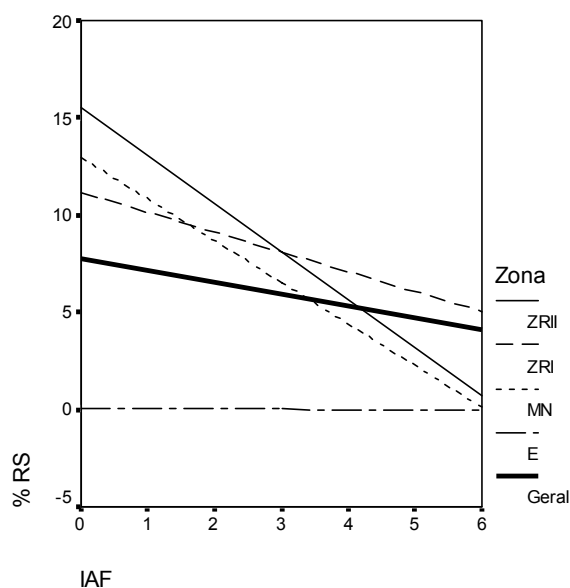


GRÁFICO 26: Correlação entre IAF e porcentagem da cobertura do solo para cada subárea.

Apesar dos dados não conseguirem provar a tendência da correlação, o gráfico 26 condiz com a hipótese de Spurr & Barnes (1980), Jacobs (1988), Pires-O'Brien & O'Brien (1995), Grime (2002) e Larcher (2003), a qual menciona que, onde existe maior IAF, menor é a cobertura do solo, demonstrando a influência do dossel sobre o crescimento da vegetação nos estratos inferiores.

5.2.2.3.3 Índice de Área Foliar e Respiração Microbiana

A análise do IAF e da Respiração Microbiana (gráfico 27) mostra que não existe uma tendência definida de correlação entre estes indicadores com os dados existentes ($p > 0,05$), contudo todos tendem a ser diretamente relacionados (MN 0,4; ZRI 0,3 e ZRII 0,4), exceto para a E (-0,2). A análise geral demonstra que a tendência positiva é significativa (0,4; $p < 0,05$), exprimindo, então, que o sombreamento ou a incidência luminosa direta sobre o solo afeta a atividade microbiana, ou seja, quanto maior o IAF, menor é a incidência luminosa no

solo (maior o sombreamento) e maior a respiração (ou atividade) microbiana, conforme é mencionado por Vargas & Hungria (1997) e Moreira & Siqueira (2002). Os dados da E demonstram que a baixa respiração microbiana, possivelmente, é consequência da baixa atividade biológica, apresentando comportamento independente do IAF e mais dependente da perturbação ambiental e da carência de matéria orgânica.

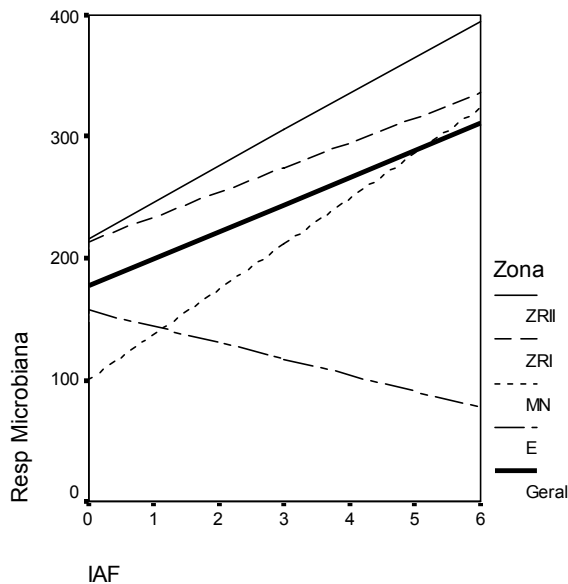


GRÁFICO 27: Correlação entre IAF e Respiração Microbiana para cada subárea.

O gráfico 27 sugere que a tendência da sucessão secundária levaria ao maior IAF pela cobertura vegetal crescente, e assim, a uma maior atividade microbiana. De acordo com Larcher (2003), fato que poderia estar ocorrendo, provavelmente, não somente pela maior presença de biomassa seca no solo, mas também pelo menor estresse ambiental por radiação direta.

5.2.2.3.4 Cobertura do solo e Respiração Microbiana

Observa-se na Correlação de Pearson para porcentagem de cobertura do solo e respiração microbiana (gráfico 28) que os dados da E (-0,1) e da ZRII (-0,2) apresentam correlação inversa, enquanto que os da MN (0,3) e da ZRI (0,2) têm correlação direta, contudo tais tendências não são possíveis de serem confirmadas, pois não são significativas ($p > 0,05$). Todavia, na análise geral, os dados confirmam que a correlação é realmente direta (0,5) com significância de 0,01, sugerindo que a maior cobertura do solo levaria a uma maior atividade microbiana, conforme mencionado por Galetti (1982), Tibau (1984) e Primavesi (1987). Assim, a tendência observada na MN e na ZRI é confirmada pela correlação

apresentada na análise geral, enquanto que na ZRII é mostrada uma tendência oposta, apontando a existência de outro fator que influencia esta correlação.

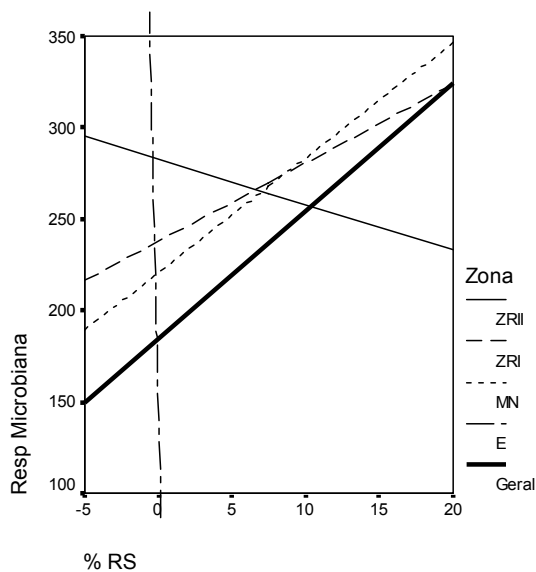


GRÁFICO 28: Correlação entre porcentagem de cobertura do solo e respiração microbiana para cada subárea.

Seguindo essa mesma análise geral, a MN (%CS: 4; RM: 249) e a ZRI (%CS: 8; RM: 273) com a atual cobertura do solo, deveriam apresentar uma respiração microbiana menor que a ZRII (%CS: 13; RM: 251), contudo isto não ocorre. Os dados demonstram que não é somente a porcentagem de cobertura do solo que afeta a respiração microbiana, possivelmente, a radiação luminosa direta como mencionado no item anterior também a afeta.

Vargas & Hungria (1997) mencionam que, provavelmente, a atividade microbiana sofre interferência tanto da biomassa quanto da incidência da radiação solar, como pode ser observado no gráfico 28. De acordo com esta correlação pode-se supor que na sucessão secundária com o crescente IAF, proporcionando um gradual sombreamento do solo, ocorre a diminuição da cobertura do solo e, conseqüentemente, a atividade microbiana tende a diminuir. Assim, o valor da respiração microbiana da ZRI tenderia aos valores da MN. Possivelmente, o que ocorre é que o sombreamento (maior IAF) favorece a respiração microbiana (maior RM), mas desfavorece o crescimento da vegetação (menor %CS); enquanto que a luz incidente desfavorece a respiração microbiana (menor RM) e favorece a vegetação (maior %CS). Deste modo, existe uma ação direta que acelera ou desacelera a respiração microbiana, equilibrando a atividade biológica com as características físico-químicas do ambiente.

5.2.2.4 Análise Integrando Matéria Orgânica e Respiração Microbiana

Estudos mencionam que quando existe alta atividade microbiana, normalmente, é encontrado um baixo teor de matéria orgânica, devido ao seu consumo constante (Tibau, 1984; Haag, 1985; Moreira & Siqueira, 2002). No gráfico 29, esta teoria é confirmada apenas para a ZRII (-0,05), cujos dados apresentam correlação inversa. Contudo para a E (0,2), MN (0,4) e ZRI (0,15) a correlação é positiva, significando que quanto maior o teor de matéria orgânica, maior será a atividade biológica, tendência mencionada por Spurr & Barnes (1980), Primavesi (1987), Vargas & Hungria (1997) e Grime (2002). Apesar dos dados não definirem a real tendência de cada subárea ($p > 0,05$), na análise geral a correlação positiva é confirmada. Os valores encontrados na ZRII podem ser explicados pela baixa entrada de biomassa no sistema, oriunda das herbáceas, diferentemente, da alta entrada de biomassa na MN e ZRI. Pode-se sugerir que, de modo geral, a entrada contínua de serapilheira no sistema propicia um estoque de matéria orgânica que não é totalmente decomposta, por causa de outros fatores externos (por exemplo, a estiagem). Diferentemente da vegetação da ZRII, a serapilheira da MN e ZRI é constituída por compostos orgânicos de variadas espécies florísticas, sendo muitas lenhosas e de difícil decomposição, permanecendo assim, armazenados no solo como húmus de reserva. Além disso, exige, indiretamente, uma maior densidade e diversidade microbiana para sua decomposição. Outra explicação, plausível, é que a entrada de matéria orgânica é maior que a capacidade da comunidade microbiana em decompô-la.

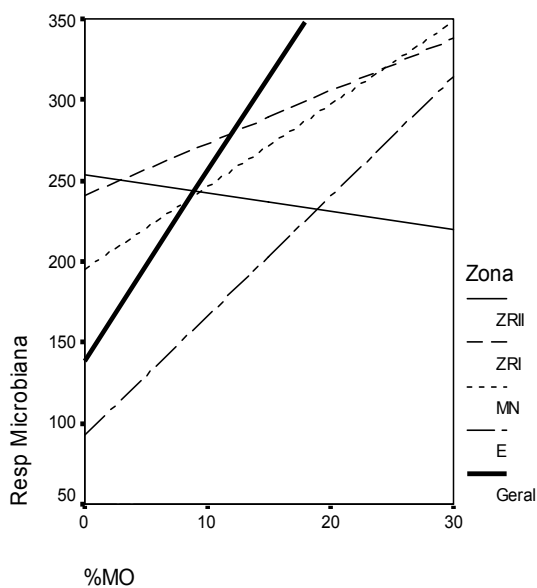


GRÁFICO 29: Correlação entre teor de Matéria Orgânica e Respiração Microbiana para cada subárea.

5.3 ANÁLISE FATORIAL BASEADA NO MÉTODO DO COMPONENTE PRINCIPAL

A análise fatorial explica a atuação dos indicadores selecionados através de uma ordenação realizada pelo método do componente principal. Esta ordenação demonstra a correlação entre os indicadores e a sua localização espacial, onde verifica-se que o componente 1 (C1) explica 35% da variação dos dados de todos os indicadores, enquanto que o segundo (C2) 28% e o terceiro componente (C3) 13%. Estes três componentes explicam 76% da variação total dos dados dos indicadores³¹. De modo geral, cada indicador exerce diferente influência sobre os componentes, podendo estar relacionado positiva ou negativamente com o eixo. Tais influências são visualizadas no gráfico 30.

Os vetores com ponta arredondada representam os indicadores com forte correlação com o componente 1 (C1), o qual apresenta influência positiva da respiração microbiana (RM) e da porcentagem de matéria orgânica (MO) e influência negativa da luz incidente (LI), confirmando que a maior concentração de MO (+0,7)³⁰ leva a maior concentração microbiana e maior RM (+0,8), e que, aparentemente, a LI (-0,85) ou radiação luminosa direta influencia negativamente os processos microbianos, afetando, indiretamente, a decomposição da MO e a ciclagem dos nutrientes.

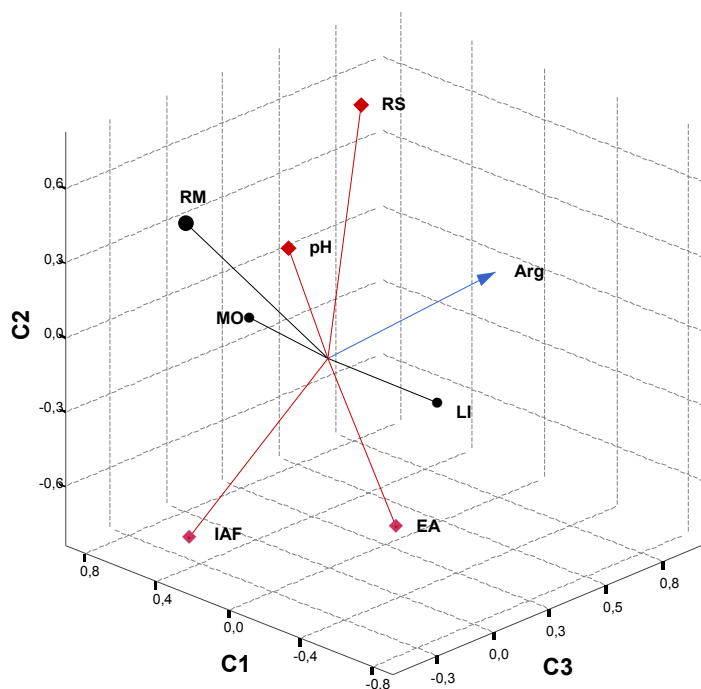


GRÁFICO 30: Componentes resultantes da análise fatorial e transformação varimax. pH, RS – % cobertura do solo, Arg – %argila, LI – luz incidente, EA – %estabilidade de agregados, IAF – índice de área foliar, MO – %matéria orgânica, RM – respiração microbiana.

³¹ Outras informações estatísticas vide Anexo II.

Os vetores com ponta quadrada representam os indicadores com forte correlação com o componente 2 (C2), estão associados o pH, porcentagem de estabilidade de agregados (EA), índice de área foliar (IAF) e porcentagem de cobertura do solo (RS). O pH e a cobertura do solo têm influência positiva, enquanto que o IAF e a EA, negativa. Como observado no campo, a influência do IAF (-0,8) é oposta à cobertura do solo (RS, +0,8), isto é, maior IAF, menor cobertura do solo. Em relação ao pH (+0,7) e a EA (-0,7), aparentemente, existe uma influência oposta entre eles, indicando que quanto maior a acidez do solo, provavelmente, menor será a estabilidade dos agregados. O componente 3 (C3), representado pela seta, está correlacionado somente com a porcentagem de argila (Arg), demonstrando claramente sua independência de qualquer outro indicador. Este fato é esperado visto que é originário da pedogênese do embasamento cristalino, e assim, não sofre mudanças de porcentagem devido aos outros indicadores. Assim, pode ser considerado que a porcentagem de argila é o único indicador “invariável” se comparado aos outros indicadores, os quais são muito variáveis de acordo com os processos físicos, químicos e biológicos existentes. Por este motivo, a porcentagem de argila não é adequada como indicador ambiental. Os demais indicadores, aparentemente, traduzem as características ambientais do momento da avaliação e podem vir a ser comparados com outras ocasiões de avaliações futuras.

5.4 ANÁLISE DA FUNÇÃO DISCRIMINANTE CANÔNICA

A consistência da localização das subáreas, resultantes da avaliação das características ambientais e dos indicadores, foi testada na análise da função discriminante canônica, a qual também avaliou a probabilidade dos indicadores afetarem as subáreas em que foram alocados. A localização espacial das subáreas e dos indicadores foi ordenada pelo tamanho absoluto da correlação dentro da função e da associação que existe entre os dois conjuntos de variáveis – subáreas e indicadores.

O gráfico 31 apresenta o diagrama com a melhor posição rotacional, que demonstre a influência dos indicadores sobre as subáreas. Os bioindicadores e os pedoindicadores estão distribuídos conforme a correlação uns com os outros, em termos de suas características ambientais. O diagrama também indica as coordenadas de cada subárea pelo “*score*” que receberam na ordenação. O detalhe apresenta a posição bidimensional das subáreas explicadas

por 98,5% da variância total dos dados³², onde a função 1 (F1) explica 59% e a função 2 (F2) 39%.

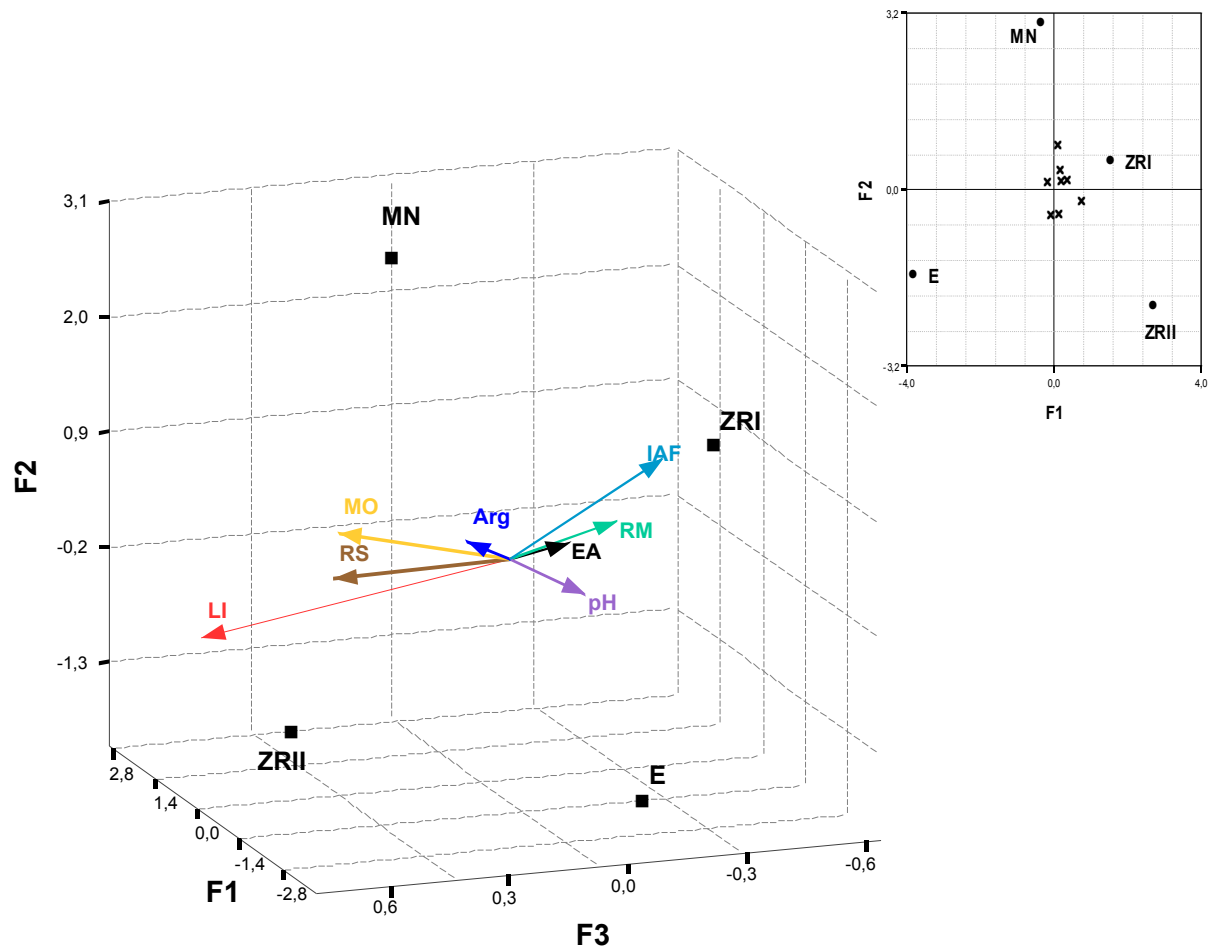


GRÁFICO 31: Diagrama de ordenação e detalhe de acordo com a função discriminante canônica.

Detalhes das distâncias das subáreas no quadro superior a direita, onde X é a disposição bidimensional dos indicadores; E – estrada, MN – mata nativa, ZRI – zona de recuperação I, ZRII – zona de recuperação II, pH, LI – luz incidente, RS – % cobertura do solo, MO – % matéria orgânica, Arg – % argila, IAF – índice de área foliar, RM – respiração microbiana, EA – % estabilidade de agregados.

Os indicadores, no diagrama, demonstram ter uma maior proximidade com a ZRI do que com as demais subáreas, provavelmente, porque a maioria dos indicadores apresentaram valores medianos para a ZRI. O grau de associação dos indicadores com as subáreas é expresso pelo comprimento do vetor, isto é, os menores vetores representam os indicadores

³² Outras informações estatísticas vide anexo III.

que possuem pouco poder para caracterizar as subáreas e os maiores vetores são aqueles com maior influência sobre a subárea e os mais indicados para a avaliação. De modo geral, o diagrama comprova que os indicadores avaliados foram relevantes para diferenciar as subáreas, exceto pela porcentagem de argila e de estabilidade de agregados (os menores vetores), os quais demonstram pouco poder em diferenciar e caracterizar os ambientes. Somado a isso, a luz incidente (LI) influencia, fortemente e exclusivamente, a ZRII. O índice de área foliar (IAF) influi, fortemente, na ZRI e na MN. O vetor respiração microbiana (RM) mostra maior influência sobre a ZRI; e o pH sobre a ZRI e a E. O vetor porcentagem de cobertura do solo (RS) predomina mais na ZRII, enquanto que a porcentagem de matéria orgânica (MO) predomina mais na MN.

Assim, observando o diagrama e o detalhe, confirma-se que todas as subáreas diferem entre si e possuem características ambientais completamente diferenciadas da MN, mostrando que ainda não alcançaram o objetivo final da recuperação. Baseado em suas características ambientais atuais, as subáreas que aparecem próximas são mais semelhantes entre si do que aquelas mais distantes. Observa-se que a ZRI está mais próxima da MN do que a ZRII e a ZRII está mais próxima da E do que da MN. Além disso, pode-se inferir que a ZRI tem características ambientais entre a MN e a ZRII. Assim, nota-se que os processos geobioquímicos da ZRI estão se tornando aos poucos mais semelhantes aos da MN, portanto, o processo de recuperação está em andamento. Enquanto que o detalhe demonstra, que o estágio de recuperação da ZRII está distante do desejado mas, apesar de ainda ser um ambiente perturbado, não está tão impactada quanto a E.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise final deste trabalho, pode-se observar que os pedoindicadores possibilitaram avaliar e demonstrar a restauração do solo através da comparação dos atributos físicos-químicos-biológicos entre as subáreas selecionadas. Aparentemente, as porcentagens de argila e de estabilidade de agregados não são necessárias como indicadores ambientais, pois nas análises multivariadas apresentam-se sem efeito para caracterizar as diferenças físico-químicas dessas. Contudo, verifica-se que a porcentagem de argila é importante para a análise do comportamento dos outros pedoindicadores. De modo geral, considera-se que os pedoindicadores foram adequadamente selecionados e informaram, com boa margem de segurança, o grau de qualidade do solo das subáreas.

Os bioindicadores avaliaram, indiretamente, a regeneração florística e demonstraram que o andamento da sucessão secundária na área, após os 10 anos de recuperação, é efetivo. Mostraram que, neste período, ocorreram diferenças florísticas entre as subáreas que influenciaram, diferentemente, sua restauração, indicando que, realmente, as diversas espécies existentes e suas características ecológicas afetam o processo. Além disso, reconhece-se que, principalmente, os atributos climáticos e químicos produzem efeitos imediatos sobre as características biológicas. Então, de modo geral, considera-se que os bioindicadores selecionados mostraram o grau de restauração do componente biótico, assim como o processo de sucessão.

Além disso, o conjunto dos indicadores (pedológicos e biológicos) indicou o andamento do processo de regeneração natural, revelando, também, que não há necessidade de se conhecer, especificamente, as espécies florísticas para reconhecer a existência do processo. Também permitiram determinar as diferenças pedológicas e biológicas existentes nas subáreas. Assim, a análise conjunta, possibilitou compreender o processo de recuperação da área de estudo, onde, inicialmente, partiu-se da percepção de que o nicho ecológico³³ original da área seria a floresta de galeria e que após a ação humana, apresentaria pelo menos três nichos: estrada, mata nativa e zona de recuperação. Com a análise multivariada conclui-se que existem quatro nichos (em ordem de estágio de recuperação): E (muito degradado), ZRII (degradado, mas em estágio inicial de recuperação), ZRI (em estágio avançado de recuperação) e MN (área controle).

³³ Nicho ecológico pode ser expresso como as relações da espécie com as características de seu *habitat*, refletindo as limitações abióticas e as adaptações na estrutura da comunidade. (Pinto-Coelho, 2002)

Os resultados demonstraram que a sucessão vem ocorrendo da MN em direção à ZRII (subárea central), provavelmente, pelo fato da mesma estar cercada pela mata nativa, onde a ZRI (borda da área degradada) representa um nicho de interface entre a área ainda considerada degradada (ZRII) e a mata nativa. Isto ocorre porque o tempo de 10 anos (1995 a 2005) não foi suficiente para a plena restauração da ZRI e muito menos da ZRII, a qual, provavelmente, exigirá muito mais tempo e energia. O fato é que, aparentemente, na ZRII a degradação ultrapassou a resiliência da subárea e foram introduzidas espécies herbáceas altamente competitivas. A aparente resistência da ZRII à recuperação, provavelmente, poderia ter sido reduzida se houvesse uma maior intervenção da COPASA-CETEC para agilizar sua restauração ecológica. Seria necessário retirar todos os rejeitos da área, assim como a camada de concreto e todo e qualquer vestígio antrópico. Além disso, desde o início da restauração há 10 anos, seria de grande ajuda para o êxito desse processo, realizar uma contínua manutenção da área, retirando as espécies invasoras e introduzidas altamente competitivas e, posteriormente, revegetando a área com novas mudas de plantas nativas. De qualquer modo, pela regeneração natural também ocorrerá a recuperação, contudo, dessa forma não se conseguirá recuperar as características pré-existentes (originais) e o tempo necessário para que ocorra a maturação dessa mata será bem maior.

Resumindo, o fato de ainda existir uma ZRI e ZRII é preocupante quando observa-se que a área é pequena (2.800 m²) e está rodeada pela excelente matriz da MN, se comparada a uma pastagem³⁴. A excelência da mata se baseia no fato dela possuir um banco de sementes das espécies nativas e uma fauna própria do local. Além disso, a matriz MN protege, parcialmente, a área em recuperação (ZRI mais ZRII) dos efeitos de borda (ventos, alterações climáticas abruptas e entrada de sementes indesejadas). Outro fator que contribuiu para o retardamento do processo de recuperação da área é a presença de rejeitos e de uma camada de concreto encontrados na porção central da área de estudo, que também deveriam ser quantificados e pontuados como novos indicadores, por representarem uma importante forma de perturbação antrópica e contribuírem para o impedimento da recuperação a longo prazo³⁵.

Apesar dos resultados obtidos ainda não permitirem completar o complexo quebra-cabeça a que parece assemelhar-se o funcionamento desse ecossistema, a total compreensão

³⁴ Em muitos estudos de recuperação de fragmentos florestais, a matriz vizinha é uma pastagem, a qual é considerada por alguns pesquisadores grande impedimento para a recuperação.

³⁵ Tal pontuação não foi realizada por não ter sido objetivo inicial do trabalho, mesmo porque, estes objetos foram encontrados aos poucos durante os trabalhos de campo.

da recuperação de uma área degradada somente poderá ocorrer em longo prazo com observações minuciosas e comparações contínuas do funcionamento de sistemas impactados com outros considerados intactos. Neste trabalho, pelas limitações inerentes ao seu escopo, só foi possível realizar as comparações em um relativamente curto período.

Recomenda-se, entretanto, que medidas de avaliação e monitoramento dos pedoindicadores e dos bioindicadores, com vistas à orientação de ações voltadas para a recuperação, devem tornar-se metas a serem perseguidas constantemente e em longo prazo. Projetos de recomposição vegetal, tais como o realizado pela COPASA-CETEC, deveriam ser elaborados, executados e reavaliados, dentro de um cronograma que previsse interferências contínuas na área a ser recuperada com o objetivo de controlar as espécies muito competitivas como as gramíneas, conforme orientação de Grime (2002), de forma a agilizar os processos de recuperação do solo e da sucessão secundária.

Os resultados dessas avaliações também podem subsidiar uma política pública de recuperação, demonstrando que é importantíssimo: investir na obtenção de informações e conhecimentos ecológicos; que é necessário apoiar projetos de restauração que possam ser convertidos em ações e medidas concretas de recuperação e, ao mesmo tempo, garantir a integridade do maior número possível de fragmentos remanescentes. O ideal é uma combinação adequada de ações científicas com ações políticas, que resultem em programas efetivos de recuperação de áreas degradadas e manutenção dos remanescentes florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIESP; 1997; **Glossário de Ecologia**. SP: Academia de Ciências de São Paulo; 1997; 352p.

AGROMIL; 2005; Disponível em: <<http://www.agromil.com.br/reciclagem.html>>. Acesso em: 29Ago2005.

ALVARENGA, R.C.; **FERNANDES**, B.; **SILVA**, T.C.A.; **RESENDE**, M.; 1986; **Estabilidade de agregados de um Latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho**. R. Bras. Ci. Solo, 10: 273-277; 1986.

ALVARENGA, Maria Inês Nogueira; 1998; **Atributos do solo e o impacto ambiental**. 2ª ed.; Lavras:UFLA/FAEPE; 1998; 205p.

ANDRADE, Hélcio; 1998; **Solos: origem, componentes e organização**. Lavras:UFLA/FAEPE; 1998; 170p.

ANDREOLA, F.; **COSTA**, L.M.; **OLSZEWSKI**, N.; 2000; **Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e/ou mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada**. R. Bras. Ci. Solo, 24: 857-865; 2000

ARONSON, J.; **FLORET**, C.; **LE FLOC'H**, E.; **OVALLE**, C.; **PONTANIER**, R.; 1995; **Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés em zones arides et semi-arides**. Vocabulaire et les concepts. In: Pontanier, R.; Hiri, A.; Akrimi, N. ; Aronson, J.; Le Floc'h, E.; L'Homme Peut – il refaire ce qu'il a défait? Paris: John Libbey Eurotext ; pp. 11-29 ; 1995.

ASBEN; Associação Beneficente de Auxílio a Estudantes e Funcionários da UFV; 2005; Disponível em: <<http://www.ufv.br/Pcd/Reciclar/>>. Acesso em: 29Ago2005.

BALENSIEFER, Maurício; 1998; **Estado da arte em recuperação e manejo de área frágeis e/ou degradadas**. In: _____. Recuperação de área degradadas. Memória do workshop. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998; 70p.

BASTOS R.S.; **MENDONÇA**, E.S.; **ALVAREZ**, V.H.; **CORRÊA**, M.M.; 2005; **Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas**. R. Bras. Ci. Solo, 29: 11-20; 2005.

BAVER, L.D.; **GARDNER**, W.H.; **GARDNER**, W.R.; 1973; **Soil physics**. 4ª ed. New York: John Wiley; 1973; 408p.

BERTONI, Joaquim; **LOMBARDI NETO**, Francisco; 1999; **Conservação do solo**. 4.ed. São Paulo: Ícone, 1999; 355p.

BEUTLER; A.N.; **SILVA**, M.L.N.; **CURI**, N.; **FERREIRA**, M.M.; **PEREIRA FILHO**, I.A.; **CRUZ**, J.C.; 2001; **Agregação de Latossolo vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de MG**. R. Bras. Ci. Solo, 25: 129-136; 2001.

BIGARELLA, J. J.; **BECKER**, R. D.; **PASSOS**, E.; 1996; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC, v. 2; 1996; 375p.

BOGNOLA, I.A.; **MAIA**, C.M.B.F.; **DEDECEK**, R.A.; **ANDRADE**, G.C.; **MEHL**, H.U.; **SANS**, L.M.; **PEIXOTO**, R.T.G.; 2005; **Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em Latossolo vermelho-escuro sob plantios de *E. dunnii***. SP: EMBRAPA, Documento Técnico nº 4; [s.d.] Disponível em: <www.cnpem.embrapa.br/publica/serie.html>. Acesso em: 16Out2005.

BORNEMISZA, Elemer; 1982; **Introducción a la Química de Suelos**. Washington, DC:Secret. General de La Organización de los Est.; 1982; 74p.

BURKE, Shaun; 2005a; **Understanding the structure of Scientific Data**. UK, High Wycombe, Buckinghamshire: RHM Technology Ltd.. Disponível em: <<http://www.lcgceurope.com/lcgceurope/data/articlestandard/lcgceurope/502001/4489/article.pdf>>. Acesso em: 29Ago2005.

BURKE, Shaun; 2005b; **Analysis of Variance**. UK, High Wycombe, Buckinghamshire: RHM Technology Ltd.. Disponível em: <<http://www.lcgceurope.com/lcgceurope/data/articlestandard/lcgceurope/502001/4493/article.pdf>>. Acesso em: 29Ago2005.

BURKE, Shaun; 2005c; **Missing Values, Outliers, Robust Statistics & Non-parametric Methods**. UK, High Wycombe, Buckinghamshire: RHM Technology Ltd.. Disponível em: <<http://www.lcgceurope.com/lcgceurope/data/articlestandard/lcgceurope/502001/4509/article.pdf>>. Acesso em: 29Ago2005.

CARVALHO, André org.; 1998; **Minas: Enciclopédia dos Municípios Mineiros**. vol. 1; BH: Armazém de Idéias; 1998; 512 p.

CAVELIER, Jaime; **PEÑUELA**, Maria C.; 1990; **Soil respiration in the cloud forest and dry deciduous forest of Serrania de Macuira, Colômbia**. *Biotropica* 22 (4): 346-352; 1990.

CERCAL, Maria L.M.; **OLIVEIRA**, Rogério M.; 2005; **Indicadores de qualidade para propriedades agrícolas e sistemas de produção agropecuários, mais especificamente para plantio direto**. Ministério da Ciência e Tecnologia: TECPAR, resposta técnica. Disponível em: <<http://sbirt.ibict.br/upload/sbirt274.pdf>>. Acesso em: 11Fev2005.

CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; 1993; **Desenvolvimento de metodologia (técnicas) para recuperação do revestimento florístico natural em áreas de proteção das captações de água da COPASA na região da grande Belo Horizonte**. BH: CETEC; 1993; 89p.; (Relatório Técnico).

CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; 1998; **Recomposição da cobertura vegetal de áreas degradadas na APE Mutuca**. BH: CETEC; 1998; 104p.; (Relatório Técnico)

COPASA; 2005; **Companhia de Saneamento de Minas Gerais**. Histórico. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?tpl=home>>. Acesso em: 29Mar2005.

CONCEIÇÃO, P.C.; **AMADO**, T.J.C.; **MIELNICZUK**, J.; **BAYER**, C.; **SPAGNOLLO**, E.; 2002; **Frações da matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo**. RS, Porto Alegre: IV Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo; 2002. Disponível em: <http://www.ufsm.br/ppgcs/congressos/IV_Reuniao_Sul_Brasileira2002/IV_Reuniao_Sul_Brasileira2002.htm>. Acesso em: 09Ago2004.

CONCEIÇÃO, Paulo C.; **AMADO**, Telmo J.C.; 2004; **Avaliação da qualidade do solo sob sistema plantio direto em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte; 2004. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/index.php?body=cont_int&id=120>. Acesso em: 29Mar2005.

CONCEICAO, P.C.; **AMADO**, T.J.C.; **MIELNICZUK**, J. et al; 2005;. **Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems**. Rev. Bras. Ciência Solo; 29 (5):777-788; Sept./Oct. 2005

CRISP; 2005; **Banco de Dados**. População - Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em: <<http://monica.crisp.ufmg.br/regiaometropolitanapopulacao.pdf>>. Acesso em: 29Mar2005.

DANA, James D.; 1969; **Manual de mineralogia**. RJ: Ed. USP, v. 2, 1969; 642p.

D'ANDRÉA, A. F.; **SILVA**, M.L.N.; **CURI**, N., **FERREIRA**, M.M., 2002; **Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do estado de Goiás**. R. Bras. Ci. Solo, 26: 1047-1054; 2002.

DEFELIPO, B.V.; **RIBEIRO**, A.C.; 1997; **Análise Química do Solo**.; 2^a ed.; Viçosa: UFV; Boletim de Extensão n. 29; 19-20; 1997.

DIXON, Joe Boris; **WEED**, S.B.; 1989; **Minerals in Soil Environments**. Madison: Soil Sci. Soc. Am.; 1989; 1244p.

DREW, David; 1986; **Processos interativos homem – meio ambiente**. SP: DIFEL; 1986; 206p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1983; **Contribuição da física do solo aos estudos sobre manejo e conservação do solo**. DF: Min. Agricultura. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos; 1983.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1986; **Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental**. PA, Belém: Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Úmido – CPATU; 1986; 291p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997; **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2^a. ed. RJ: Min. Agricultura. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; 1997; 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; 1999; **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Min. Agricultura; Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1999; 412p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; 2004; **Embrapa Solos**. Pesquisa. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/>>. Acesso em: 18Jun2004.

FEIGL, B. J.; **CERRI**, C. C.; **BERNOUX**, M.; 1996; **Balanco de carbono e determinação de biomassa microbiana em solos da Amazônia**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Ecologia microbiana. Jaguariúna: EMBRAPA, 1996.

FERREIRA, Armando Mateus; 1999; **SPSS – Manual de utilização**. Castelo Branco: Escola Superior Agrária; 1999; 151p. Disponível em: <http://www.ccet.ufrn.br/hp_estatistica/download/est0036.html>. Acesso em: 29Jun2005.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO; 1997; **Sanemanto básico em Belo Horizonte**:. Trajetória em cem anos – os serviços de água e esgoto. BH: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, 1997, 314 p. il. (Coleção Centenário).

FUTUYMA, Douglas J.; 1992; **Biologia Evolutiva**. 2^a ed. Trad. Mário de Vivo, Coord. Fábio M. Sene, SP, Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética/CNPq, 1992, 646 p.

GALETI, Paulo Anestar; 1982; **Conservação do solo. Reflorestamento. Clima**. 2^a ed. SP, Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola; 1982; 551 p.

GOMES, Frederico Pimentel; 1990; **Curso de Estatística Experimental**. 13^a ed. SP: Livraria Nobel S.A.; 1990; 468p.

GRIME, J.Philip; 2002; **Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties**. New York: John Wiley & Sons, LTD., 2002, 427p.

GRISI, Breno Machado; 1978; **Método Químico de Medição da Respiração Edáfica: alguns aspectos técnicos**. SP: SBPC, Ciência e Cultura 30 (1): 82-88; 1978.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.); 2000; **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3^a ed. RJ: Bertrand Brasil; 2000; 372p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T.; 2001; **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 2^a ed. RJ: Bertrand Brasil; 2001; 652p.

HAAG, Henrique Paulo org.; 1985; **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. SP, Campinas: Fundação Cargill; 1985; 243p.

HOLLING, Crawford S.; 1973; **Resilience and stability of ecological systems**. Annual Review of Ecological Systems (4): 1-23; 1973

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; 1990; **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação** Brasília; 1990; 96p.

IBGE; Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais; 1994; **Manual técnico de pedologia**. RJ: IBGE; Manuais Técnicos em Geociências; n. 4; 1994; 104p.

IBGE; 2005a; **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 29Mar2005.

IBGE; 2005b; **SIDRA**. Banco de Dados Agregados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabelal.asp?z=t&o=21&i=P&c=202>>. Acesso em: 18Abr2005.

IPPUR; 2005; **Observatório das Metrôpoles: Informações Básicas das Regiões Metropolitanas.** Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.ippur.ufjf.br/observatorio/metrodata/ibrm/ibrm_bh_tca.htm>. Acesso em: 29Mar2005.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R.; 2000; **Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management.** J. Soil Water Conser.; 55:69-78; 2000.

IUCN; UNEP; 2003; **2003 - United Nations List of Protected Areas.** Cambridge, UK; 2003. Disponível em: <<http://www.unep.org/PDF/Un-list-protected-areas.pdf>>. Acesso em: 13Jan2006.

JACOBS, Marius; 1988; **The tropical rain forest – a first encounter.** Berlin: Spriner-Verlag; 1988; 295p.

JACOMINE, P.K.T.; 2001; **Solos sob matas ciliares.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.; 2001; **Matas Ciliares: conservação e recuperação.** SP: USP/Fapesp; 2001; 567p.

KAGEYAMA, Paulo; GANDARA, Flávio B.; 2001; **Recuperação áreas ciliares.** In: Rodrigues, R.R.;Leitão Filho, H.F. ed.; **Matas Ciliares: conservação e recuperação.** 2.ed.; SP: USP, FAPESP; pp. 249-269; 2001; 320p.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S.; 1965; **Size distribution of aggregates.** In: BLACK, C.A., EVANS, D.D., WHITE, J.L., ENSMINGER, L.E., CLARK, F.E.; **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** Part 1. Madison: American Society of Agronomy; p.499-510; 1965.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.;1986; **Aggregate stability and size distribution.** In: KLUTE, Arnold (ed); **Methods of soil analysis. Part 1 - physical and mineralogical methods;** 2ª ed.; Madison: American Society of Agronomy; nº 9; p.425-441; 1986.

KOLM, Luciana; 2001; **Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden manejadas através de desbastes progressivos.** SP, Piracicaba. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-30072002-151746/>>. Acesso em: 11Fev2005.

KRAUSKOPF, Konrad Bates; 1972; **Introdução à geoquímica**. v.1; Lando, M; Bogus; 1972; 294p.

LARCHER, Walter; 2003; **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**. 4^a. ed. New York: Springer; 2003; 513p.

LEITÃO-FILHO, H.F., **PAGANO**, S.N., **CESAR**, O., **TIMONI**, J.L., **RUEDA**, J.; 1993; **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. S.P.: UNESP; 1993; 184p.

LEMOS, Raimundo C.; **SANTOS**, Raphael D.; 2002; **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4^a ed.; Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2002; 83p.

LEONARDO, Hudson Carlos Lissoni; 2003; **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. Piracicaba, SP; dissertação mestrado Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2003; 121p.; Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27112003-094029/publico/hudson.pdf>>. Acesso em: 11Fev2005.

MARTINS, Sebastião Venâncio; 2001; **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Ed. Aprenda Fácil; 2001. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/florestal/index.html&conteudo=/florestal/mataciliar.html>>. Acesso em: 23Mai2005.

MCWILLIAM, A.L.C., **ROBERTS**, J.M., **CABRAL**, O.M.R., **LEITÃO**, M.V.B.R., **COSTA**, A.C.L., **MAITELLI**, G.T., **ZAMPARONI**, C.A.G.P.; 1993; **Leaf área index and aboveground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazônia**. *Functional Ecology* 7:310-317; 1993.

MENDES FILHO, Paulo Furtado; 2004; **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. SP, Piracicaba: Defesa Tese doutorado Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2004; 89p.: il.

MINAS GERAIS. DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS; 1981; **Legislação Decreto n. 21.372**. MG: Estado de Minas Gerais, 1981.

MINGOTI Sueli Aparecida; 2005; **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005, 295 p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente; 2005a; **Áreas Protegidas**. Brasília; 2005. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/tomenota.cfm?tomenota=/port/sbf/dap/capa/index.html&titulo=Áreas%20Protegidas>>. Acesso em: 07Out2005.

MMA, Ministério do Meio Ambiente; 2005b; Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; **PROPOSTA DE RESOLUÇÃO VERSÃO 2**; 4a Reunião do GT para “Discussão e Desenvolvimento de Indicadores de Implementação da Norma Ambiental”; Brasília; 2005. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 07Out2005.

MOREIRA, Fátima M. S.; SIQUEIRA, José O.; 2002; **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA; 2002; 626p.

MOREIRA, Maurício Alves.; 2004; **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 2^a. ed. Viçosa: UFV; 2004; 305p.

MUZZILLI, Osmar; 2002; **Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto**: a experiência no estado do Paraná. 3º Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto. EMBRAPA: Informações Agronômicas nº 100; Dez/2002.

ODUM, Eugene Pleasants; 1985; **Ecologia**. RJ: Discos CBS, 1985, 434p.

PARTON, W.J.; SANFORD, R.L.; SANCHEZ, P.A., STEWART J.W.B.; 1989; **Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils**. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (eds) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, Hawaii, USA: NifTAL Project; 1989.

PASSCHIER, C.W.; MYERS, J.S.; KRONER, A.; 1993; **Geologia de Campo de Terrenos Gnáissicos de Alto Grau**. SP: Editora da Universidade de São Paulo; 1993; 188 p.

PAULA, Sander Antônio; LEMOS FILHO, José Pires; 2001; **Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte**. Rev Bras Bot 24 (4): 545-551; 2001.

PINTO-COELHO, Ricardo M.; 2002; **Fundamentos em Ecologia**. RS: Artmed; 2002; 252p.

PIRES-O'BRIEN, Maria Joaquina.; O'BRIEN, C.M.; 1995; **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. PA, Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação; 1995; 400p.

PLAMBEL. 1977. **São Sebastião das Águas Claras**. [Belo Horizonte]: PLAMBEL. 1977 (Mapa Topográfico. Escala: 1:25.000. Folha SF.23-XA-III-1-NO)

POPULATION Reference Bureau; 2006; **World Population Distribution by Region, 1800–2050**. Washington, DC. 2006 Disponível em: <http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/PRB/Educators/Human_Population/Population_Growth/Population_Growth.htm>. Acesso em: 13Mar2006.

PRATA, F.; HIKISHIMA, M.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A.C.V.; 1996; **Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions em solos do estado do Paraná**. Curitiba: Ed. UFPR; Revista Agrárias 15 (2): 69-74; 1996.

PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim; 2001; **Biologia da Conservação**. Londrina: E. Rodrigues; 2001; 328p.

PRIMAVESI, Ana; 1987. **O manejo ecológico do solo: Agricultura em regiões tropicais**. 9ª ed. SP: Nobel; 1987; 567p.

QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B.; 1979; **Comparação de Métodos Rápidos para a Determinação da Matéria Orgânica em Solos**. Ver. Bras. Ciência Solo 3: 184-187; 1979.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998; **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC; 1998.

RICKLEFS, Robert E.; 1996; **A Economia da Natureza**. 3ª. ed.; RJ: Guanabara Koogan S.A.; 1996, 470p.

ROCHA, C.T.V.; CARVALHO, D.A.; FONTES, M.A.L.; FILHO, A.T.O.; VAN DEN BERG, E.; MARQUES, J.J.G.S.M.; 2005; **Comunidade arbórea de um continuum entre floresta paludosa e de enconsta em Coqueiral, MG, Brasil**. Revista Brasileira de Botânica 28 (2): 203-218; Abr-Jun/2005.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius; 2001; **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares**. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho, H.F. ed.; Matas Ciliares: conservação e recuperação. 2.ed.; SP: USP, FAPESP; pp. 235-247; 2001; 320p.

SOUTO, Sebastião Manhães; ARONOVICH, Salomão; 1992; **Sombreamento em forrageiras** – aspectos agronômicos e microbiológicos. RJ, Seropédica: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo – CNPDS; 1992; 91p.

SPURR, S.H.; BARNES, B.V.; 1980; **Forest ecology**. 3ª ed. New York: Ronald Press; 1980; 571p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F.; 2000; **Decifrando a Terra**. SP: Oficina de Textos; 2000; 558p.

TEIXEIRA, M. C. B.; NUNES, Y.R.F.; PEDRALLI, G.; SOUZA, G.P.; SANTOS, J.C.; FILHO, P.E.G.; MAIA, K.M.P; 2002; **Recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas na área de proteção especial da Mutuca (APE Mutuca), Belo Horizonte, MG**. PR: PUCPR; Revista Estudos de Biologia. Champagnat 24 (48): 51-59; Mai/2002.

TIBAU, Artur Oberlsender; 1984; **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 3ª ed. rev.; SP: Livraria Nobel AS; 1984; 417p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M.; 1982; **Organic matter and water-stable aggregates in soil**. J. Soil Sci., 33:141-163, 1982.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M.; 1997; **Biologia dos Solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC; 1997; 524p.

VIANNA, Newton dos Santos; 1997; **Belo Horizonte: seu abastecimento de água e sistema de esgotos – 1890-1973**; BH; 1997; 115p. il.

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C.; 2002; **Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento**. MG, Viçosa: Revista Árvore 26 (4): 421-427; 2002.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; 2005; **Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos**. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira 40 (5): 487-494; Mai/2005.

ZEDLER; P.H.; COOPER, C.F.; 1980; **Ecological assessment for regional development**. Journal of Environmental Management (1D): 285-296; 1980

ANEXOS

I ANÁLISE DESCRITIVA DO SOFTWARE SPSS PARA TODOS OS INDICADORES SELECIONADOS.

Indicador:	Descrição		Estatística	Erro Padrão
% Argila	Mean		36,6730	1,50284
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	33,6698	
		Upper Bound	39,6762	
	5% Trimmed Mean		37,4501	
	Median		40,2200	
	Variance		144,545	
	Std. Deviation		12,02270	
	Minimum		6,00	
	Maximum		53,51	
	Range		47,51	
	Interquartile Range		9,2350	
	Skewness		-1,251	,299
	Kurtosis		,911	,590
	pH	Mean		4,5623
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	4,3621	
		Upper Bound	4,7624	
5% Trimmed Mean			4,5166	
Median			4,3717	
Variance			,642	
Std. Deviation			,80121	
Minimum			3,42	
Maximum			6,67	
Range			3,25	
Interquartile Range			1,0521	
Skewness			,858	,299
Kurtosis			,238	,590
% Estabilidade de Agregados		Mean		91,3158
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	89,9715	
		Upper Bound	92,6601	
	5% Trimmed Mean		91,9735	
	Median		92,2500	
	Variance		28,962	
	Std. Deviation		5,38166	
	Minimum		69,51	
	Maximum		98,40	
	Range		28,89	
	Interquartile Range		4,4950	
	Skewness		-2,319	,299
	Kurtosis		6,643	,590
	% Matéria Orgânica	Mean		7,04477
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	6,15234	
		Upper Bound	7,93720	
5% Trimmed Mean			6,77540	
Median			6,70592	
Variance			12,764	
Std. Deviation			3,572682	
Minimum			1,679	
Maximum			20,150	

	Range		18,471	
	Interquartile Range		5,00900	
	Skewness		1,249	,299
	Kurtosis		3,113	,590
Respiração Microbiana	Mean		228,6159	9,28874
	95% Confidence	Lower Bound	210,0539	
	Interval for Mean	Upper Bound	247,1780	
	5% Trimmed Mean		227,9329	
	Median		239,7735	
	Variance		5521,959	
	Std. Deviation		74,30988	
	Minimum		83,66	
	Maximum		389,41	
	Range		305,75	
	Interquartile Range		74,6958	
	Skewness		,107	,299
	Kurtosis		-,187	,590
	Luz Incidente	Mean		,34833
95% Confidence		Lower Bound	,26797	
Interval for Mean		Upper Bound	,42868	
5% Trimmed Mean			,33861	
Median			,20200	
Variance			,103	
Std. Deviation			,321689	
Minimum			,016	
Maximum			,960	
Range			,944	
Interquartile Range			,74475	
Skewness			,516	,299
Kurtosis			-1,414	,590
IAF		Mean		2,6450
	95% Confidence	Lower Bound	2,3465	
	Interval for Mean	Upper Bound	2,9435	
	5% Trimmed Mean		2,6418	
	Median		2,5150	
	Variance		1,428	
	Std. Deviation		1,19514	
	Minimum		,06	
	Maximum		5,1	
	Range		5,0	
	Interquartile Range		1,6375	
	Skewness		,086	,299
	Kurtosis		-,494	,590
	% Cobertura do Solo	Mean		6,3166
95% Confidence		Lower Bound	4,9939	
Interval for Mean		Upper Bound	7,6393	
5% Trimmed Mean			6,0427	
Median			6,0000	
Variance			28,039	
Std. Deviation			5,29521	
Minimum			,00	
Maximum			18	
Range			18	

Interquartile Range	9,9675	
Skewness	,411	,299
Kurtosis	-,726	,590

Sumário do Processamento dos Casos

Casos	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
% Argila	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
pH	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
% EstabAgreg	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
%MO	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
Resp Microbiana	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
Luz Incidente	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
IAF	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%
% CS	64	80,0%	16	20,0%	80	100,0%

II ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL POR KOLMOGOROV-SMIRNOV - TESTE ONE-SAMPLE

	% Argila	pH	% EstabAgreg	%MO	Resp Microbiana	Luz Incidente	IAF	% RS	
N	64	64	64	64	64	64	64	64	
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	36,6730	4,5623	91,3158	7,04477	228,6159	,25034	2,3142	6,3166
	Std. Deviation	12,02270	,80121	5,38166	3,572682	74,30988	,228583	1,39546	5,29521
Most Extreme Differences	Absolute	,225	,113	,199	,086	,123	,153	,129	,163
	Positive	,106	,113	,122	,086	,123	,133	,129	,163
	Negative	-,225	-,077	-,199	-,067	-,084	-,153	-,077	-,116
Kolmogorov-Smirnov Z	1,800	,905	1,591	,685	,983	1,221	1,031	1,306	
Asymp. Sig. (2-tailed)	,003	,386	,013	,736	,289	,101	,238	,066	

a. Teste de distribuição é Normal.

b. Calculados dos dados.

III ANÁLISE FATORIAL BASEADA NO MÉTODO DO COMPONENTE PRINCIPAL

A análise fatorial explica a atuação dos indicadores selecionados e avaliados segundo sua ordenação através do método do componente principal. Deste modo, analisando a % da variância da tabela 1 verifica-se que o primeiro componente (ou fator ou eixo) explica 35% da variação dos dados, enquanto que o segundo 28% e o terceiro componente 13%. Conjuntamente, eles explicam 76% da variação total dos dados e foram escolhidos por terem

autovalores totais maiores que 1.

TABELA 1: Explicação da variância total

Componente	Autovalores Iniciais			Somadas da Rotação dos Quadrado Carregados		
	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada
1	2,812	35,147	35,147	2,447	30,590	30,590
2	2,228	27,856	63,003	2,278	28,477	59,067
3	1,005	12,562	75,565	1,320	16,498	75,565
4	,669	8,364	83,930			
5	,613	7,660	91,590			
6	,352	4,401	95,991			
7	,234	2,926	98,917			
8	,087	1,083	100,000			

Método de Extração: Análise de Componente Principal

Após verificação preliminar dos resultados da análise fatorial foi realizado uma nova análise com rotação ortogonal varimax para corrigir os resultados (Mingoti, 2005). A tabela 2 apresenta a ordenação dos componentes após rotação.

TABELA 2: Matriz de Componente Rotacionada *

	Componente		
	1	2	3
% Argila	,210	-,052	,903
pH	-,271	,673	-,393
% EstabAgreg	-,130	-,714	,192
%MO	,720	-,121	,221
Resp Microbiana	,835	,295	,037
Luz Incidente	-,847	,138	-,197
IAF	,506	-,779	-,213
% RS	,350	,765	,422

Método Extraction: Análise de Componente Principal

Método Rotação: Varimax com Normalização Kaiser.

* Rotação convergiu em 4 repetições.

O resultado demonstra que houve uma melhora na correlação entre os indicadores, apresentando uma melhor distribuição do ordenamento, exceto pelo IAF que apresenta maior dificuldade na decisão do agrupamento final entre C1 (0,5) e C2 (-0,8). Nesta solução, o componente 1 (C1) está mais correlacionado com os indicadores %MO, respiração microbiana e luz incidente, e menos correlacionado com a % estabilidade de agregados. O componente 2 (C2) está mais correlacionado com pH, % estabilidade de agregados, IAF e % cobertura do solo, enquanto que o componente 3 (C3) está correlacionado somente com a % argila. De modo geral, cada indicador exerce diferente influência sobre os componentes e podem estar relacionados positiva ou negativamente com seu eixo.

IV ANÁLISE DA FUNÇÃO DISCRIMINANTE CANÔNICA

A análise da função discriminante canônica ordena os indicadores igualmente e utiliza a função de coeficiente não padronizado. Observando as proporções de variância total da tabela 1, as duas primeiras funções apresentam 98,5% de explicação, onde a função 1 explica 59% e a função 2 explica 39% de variância. Da tabela deveria-se apenas utilizar a função 1 e 2, as quais possuem autovalores maiores que 1, contudo o interesse do estudo é verificar o comportamento das subáreas em função de todos os indicadores selecionados, conseqüentemente utilizou-se as três funções para a análise.

TABELA 1: Autovalores da função discriminante canônica

Função	Autovalores	% de Variância	% Acumulada	Correlação Canônica
1	6,540 ^a	59,1	59,1	,931
2	4,361 ^a	39,4	98,5	,902
3	,168 ^a	1,5	100,0	,379

a. As 3 primeiras funções discriminantes canônicas foram usadas na análise

A análise canônica também testa a significância das funções, indicando a existência de associação entre as funções calculadas, onde a estatística de *Wilks' Lambda* é adotada como critério de minimização da variância entre os grupos. A tabela 2 indica que existe associação entre as funções 1 e 2 ($p < 0,05$), mas não existe associação com a função 3 ($\alpha = 0,18$). Isso demonstra que existe um indicador que é independente e não é afetado pelos demais.

TABELA 2: Análise Wilks' Lambda para testar a significância das funções

Teste das Funções	Wilks' Lambda	Qui Quadrado	Grau de Liberdade	Sig.
1 através do 3	,021	219,708	24	,000
2 através do 3	,160	104,553	14	,000
3	,856	8,837	6	,183

Foi realizada também a correlação canônica que mede o grau de associação que existe entre os dois conjuntos de variáveis – as subáreas e os indicadores. Assim, a matriz estrutural canônica (tabela 3) representa as correlações agrupadas dentro dos grupos entre as variáveis distintas e as funções discriminantes canônicas padronizadas. Ela ordena os

indicadores pelo tamanho absoluto da correlação dentro da função. Desta matriz são definidas as funções preferíveis que representem as diversas inter-relações entre todos os indicadores.

TABELA 3: Matriz estrutural canônica

	Função		
	1	2	3
% RS	,723*	-,199	,392
Resp Microbiana	,340*	,191	-,298
% Argila	,191*	,162	,096
% EstabAgreg	-,167*	,146	-,139
IAF	,091	,804*	-,393
pH	,117	-,435*	-,199
Luz Incidente	-,084	-,450	,786*
%MO	,166	,368	,421*

* Maior correlação absoluta entre cada variável e qualquer função discriminante.

Já a tabela 4 apresenta as coordenadas das subáreas. Observa-se que os valores escores da função 3 são numericamente pequenos, podendo destacar seu maior valor para a ZRI, a qual já está representada na função 1. Assim, tem-se a indicação de que as correlações podem ser observadas considerando-se apenas a função 1 e 2. Também comprova que os indicadores avaliados foram relevantes para a identificação da procedência das subáreas, exceto pela % argila e pela % estabilidade de agregados.

TABELA 4: Coordenadas das funções dos grupos centroides*

Zona	Função		
	1	2	3
E	-3,851	-1,529	-,039
MN	-,362	3,064	,328
ZRI	1,518	,546	-,633
ZRII	2,694	-2,081	,345

* Funções discriminantes canônicas não padronizadas avaliaram os principais grupos.