

JOÃO ANTÔNIO MOTTA NETO

**AVALIAÇÃO DO USO DE FORRAGEIRAS E DE ADUBAÇÕES
NA RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS
DE UM SOLO DEGRADADO PELA MINERAÇÃO DO XISTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Aníbal de Moraes

CURITIBA


1995

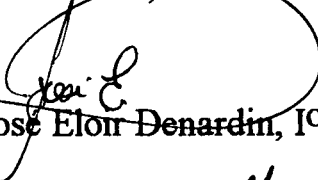
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"**

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOÃO ANTÔNIO MOTTA NETO**, com o título: "**Avaliação do uso de forrageiras e de adubação na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração do xisto**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com o conceito "A" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 22 de agosto de 1995.


Prof. Dr. Anibal de Moraes, Presidente.


Engo. Agro. Dr. José Elton Denardin, Iº Examinador.


Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, IIº Examinador.

DAS INDAGAÇÕES

A resposta certa não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas.

Mário Quintana

À minha mãe, Maria Antonieta;

à Gaia, nossa mãe e planeta.

DEDICO

BIOGRAFIA

JOÃO ANTÔNIO MOTTA NETO, filho de José Tarciso Motta e Maria Antonieta Mendonça Motta, nasceu em Diamantina (MG) aos quatro dias do mês de setembro do ano de 1965.

Colou grau como Engenheiro Agrônomo, na Universidade Federal de Viçosa (MG), no mês de março de 1990.

Durante o ano de 1991 foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq, na Universidade Federal de Viçosa (MG), na área de química e mineralogia do solo.

Ingressou no Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, na Universidade Federal do Paraná em março de 1992.

Desde o ano de 1991 até o presente momento vem exercendo atividades de consultoria em projetos ligados à área de meio ambiente e desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Aníbal de Moraes, pelo incentivo e apoio no decorrer de mais esta etapa de minha formação profissional e humana.

Aos professores Luiz Antônio Corrêa Lucchesi, Beatriz Monte Serrat Prevedello, Antônio Carlos Vargas Motta e Maurício Paulo Ferreira Fontes (UFV), pessoas de extrema importância pela orientação, apoio e amizade.

Ao professor Paulo Justiniano Ribeiro Júnior, pelo auxílio na execução das análises estatísticas.

À PETROBRÁS-SIX pelo apoio financeiro e tático, fundamentais na condução deste projeto de pesquisa.

À CAPES e à Universidade Federal do Paraná, pela concessão da bolsa de estudos e demais recursos financeiros e humanos.

Aos colegas de curso e funcionários do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, pela amizade e auxílio nos trabalhos.

À minha família - mãe, irmãos e amigos - pelas vivências compartilhadas até o presente momento, fundamentais no cumprimento desta etapa e de outras que virão.

À todas as pessoas que de uma forma ou outra contribuíram.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	IX
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ASPECTOS GERAIS DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO.....	3
2.1.1. Mineração e desenvolvimento sustentável.....	3
2.1.2. A mineração do xisto.....	4
2.2. DEGRADAÇÃO.....	5
2.2.1. Conceituação e aspectos gerais.....	5
2.2.2. Degradação das propriedades químicas do solo.....	7
2.2.3. Degradação das propriedades físicas do solo.....	11
2.3. RECUPERAÇÃO.....	14
2.3.1. Conceituação e aspectos gerais.....	14
2.3.2. Recuperação das propriedades químicas do solo.....	16
2.3.3. Recuperação das propriedades físicas do solo.....	23
2.3.4. Uso de pastagens na recuperação de solos degradados.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	32
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	32
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	34
3.4. TRATAMENTOS.....	34
3.5. PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO.....	35

3.6. PLANTIOS E ADUBAÇÕES.....	35
3.7. MANEJO DAS FORRAGEIRAS	38
3.8. ANÁLISES DE SOLO.....	39
3.8.1. Análises químicas.....	39
3.8.2. Análises físicas.....	40
3.9. ANÁLISES DAS FORRAGEIRAS.....	43
3.9.1. Produção de matéria seca.....	43
3.9.2. Composição botânica.....	43
3.10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	43
3.11. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. AVALIAÇÃO DAS FORRAGEIRAS.....	44
4.1.1. Composição botânica.....	44
4.1.2. Produção de matéria seca.....	46
4.1.3. Cobertura do solo.....	49
4.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO.....	50
4.2.1. Propriedades químicas.....	51
4.2.1.1. pH em CaCl ₂	53
4.2.1.2. Alumínio trocável e acidez potencial (H + Al).....	54
4.2.1.3. Cálcio + Magnésio.....	54
4.2.1.4. Potássio.....	55
4.2.1.5. Fósforo.....	56
4.2.1.6. Carbono orgânico.....	57
4.2.1.7. CTC a pH 7,0.....	58
4.2.1.8. Análise geral.....	59

4.2.2. Propriedades físicas.....	60
4.2.2.1. Densidade de partículas.....	63
4.2.2.2. Densidade do solo.....	63
4.2.2.3. Porosidade total, porosidade de aeração e microporosidade.....	63
4.2.2.4. Resistência ao cisalhamento.....	64
4.2.2.5. Análise geral.....	67
5. CONCLUSÕES.....	69
SUMMARY.....	72
ANEXO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA

1. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS DO SUL NO BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ.....	33
2. PENETRÔMETRO DE QUEDA LIVRE UTILIZADO NAS DETERMINAÇÕES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	42
3. PRODUÇÃO ACUMULADA DE MATÉRIA SECA DOS CONSÓRCIOS DE FORRAGEIRAS.....	49
4. EVOLUÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	58
5. DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM (P ₁) E NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM (P ₂).....	65
6. EVOLUÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO E DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARA ADUBAÇÃO QUÍMICA (AQ), CONSÓRCIOS PERENES 1 E 2 (C ₁ E C ₂) NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA

1. PERDAS DE NUTRIENTES PELA EROSÃO EM SISTEMAS DE CULTIVO CONTÍNUO E ROTACIONADO.....	6
2. TAXAS DE INCREMENTO NAS PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE ESTERCO.....	18
3. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FORRAGEIRAS SUBMETIDAS A NÍVEIS DE ADUBAÇÃO.....	28
4. DENSIDADES DE SEMEADURA UTILIZADAS NO EXPERIMENTO (KG/HA).....	36
5. QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE INVERNO (1992).....	36
6. QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE VERÃO (1992/1993).....	37
7. QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE INVERNO (1993).....	37
8. QUANTIDADES TOTAIS DE ADUBOS APLICADOS NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	38
9. ANÁLISES DO ESTERCO UTILIZADO NA ADUBAÇÃO ORGÂNICA.....	38
10. CRONOGRAMA DE MANEJO DAS FORRAGEIRAS.....	39
11. COMPOSIÇÃO BOTÂNICA DOS CONSÓRCIOS DE FORRAGEIRAS (%).....	44
12. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA POR ADUBAÇÃO (MÉDIAS DE 12 REP.).....	46
13. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA POR CONSÓRCIO (MÉDIAS DE 12 REP.).....	47
14. RENDIMENTO EFETIVO DE MATÉRIA SECA DAS FORRAGEIRAS.....	48
15. COBERTURA DO SOLO PELA VEGETAÇÃO OU PALHADA (%).....	50
16. ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1 ^A E 2 ^A COLETAS (MÉDIAS DE 12 REP.).....	51
17. ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1 ^A E 2 ^A COLETAS (MÉDIAS DE 12 REP.).....	52
18. ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1 ^A E 2 ^A COLETAS (MÉDIAS DE 12 REP.).....	61
19. ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1 ^A E 2 ^A COLETAS (MÉDIAS DE 12 REP.).....	62

RESUMO

Este experimento foi conduzido durante 18 meses na usina da PETROBRÁS-SIX no município de São Mateus do Sul (PR) com o objetivo de se avaliar a influência de consórcios de forrageiras e de métodos de adubação na recuperação de um solo degradado pela mineração do xisto. Para a condução do experimento foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições, aonde as adubações definiram as parcelas e os consórcios as subparcelas. Os tratamentos consistiram de três tipos de adubação: **adubação 1** - adubação química, corte das forrageiras e permanência da parte aérea; **adubação 2** - adubação química e orgânica (esterco bovino), corte das forrageiras e exportação da parte aérea; **adubação 3** - adubação química, corte das forrageiras e exportação da parte aérea; e três diferentes consórcios de gramíneas e leguminosas: **consórcio perene 1** - pensacola + trevo-branco + cornichão; **consórcio perene 2** - hemartria + trevo-branco + cornichão; **consórcio anual** - (inverno) ervilhaca-peluda + aveia-preta + trevo-veículososo / (verão) sorgo-forrageiro + guandu. Foram analisadas a produção de matéria seca das forrageiras, a composição botânica dos consórcios e a cobertura do solo. A evolução das propriedades químicas do solo (pH, Al, Ca + Mg, K, P, C, CTC pH 7,0 e V) foi avaliada em 18 meses, e as propriedades físicas (densidade de partículas e do solo, porosidade total, de aeração e microporosidade e resistência ao cisalhamento) foram avaliadas em 12 meses nas profundidades de 0 a 3 cm (**P₁**) e 3 a 9 cm (**P₂**). A adubação 2 se destacou na produção de matéria seca, sendo que os consórcios não diferiram entre si. Todos os tratamentos proporcionaram uma boa cobertura de solo. Houve queda no pH e aumento nos teores de H + Al em todos os tratamentos. A adubação 2 se destacou no fornecimento de Ca + Mg, enquanto que a adubação 1 se destacou no fornecimento de K, sendo que estas adubações proporcionaram os maiores teores de P, verificando-se um gradiente dos teores de P no perfil estudado. Os teores de carbono orgânico não sofreram alterações, sendo que a adubação 2 apresentou o melhor resultado. A CTC a pH 7,0 aumentou na **P₁**, havendo queda da saturação de bases de forma geral. Com relação às propriedades físicas houve diminuição da densidade de partículas na **P₁**, da microporosidade e da densidade do solo, além de aumentos na porosidade total e de aeração. Embora tenha havido uma tendência de diminuição da resistência ao cisalhamento, alguns resultados são contraditórios, levando à hipótese de que a metodologia utilizada nesta determinação não foi a mais adequada. De uma maneira geral o tratamento com a adubação 2 + consórcio perene 2 foi o que apresentou os melhores resultados na recuperação deste solo.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se conjugar as necessidades diárias da população com uma exploração racional e sustentável dos recursos naturais, proporcionando padrões satisfatórios de qualidade de vida a todos os segmentos sociais, é o maior desafio enfrentado atualmente pela humanidade.

Alcançando esse objetivo estaremos garantindo o futuro das gerações que nos sucederão - proprietárias legítimas de todo este patrimônio - e não simples herdeiras de acordo com o pensamento comum.

Extremamente importante pela quantidade de bens e serviços que propicia, a indústria da mineração carrega o estigma de proporcionar grandes alterações ambientais. Portanto, surge daí a necessidade urgente do desenvolvimento de tecnologias que sirvam à uma melhoria da qualidade ambiental no ambiente extrativista mineral, prestando também à criação de uma nova mentalidade mundial com relação ao compromisso social das empresas mineradoras, aos padrões de consumo atuais e às desigualdades sociais existentes.

Dentro dessa perspectiva foi criada uma linha de pesquisa através de um convênio entre a PETROBRÁS-SIX e o Departamento de Solos da UFPR que foi iniciada em 1986.

A utilização de forrageiras na recuperação de áreas degradadas pela mineração é de extremo interesse, pois além de recuperarem o solo podem proporcionar retornos econômicos de uma área considerada marginal aos processos produtivos, o que vem a atender principalmente as necessidades da PETROBRÁS-SIX, que dentro do seu programa de qualidade ambiental implantou um módulo de produção agropecuária em áreas anteriormente mineradas, caracterizando-se em iniciativa pioneira no País.

Através das informações geradas pelos trabalhos conduzidos pretende-se gerar subsídios técnicos que serão úteis em trabalhos de recuperação semelhantes, seja advindos da atividade mineradora ou não, como é o caso da construção de barragens, e de estradas, urbanização e exploração agropecuária. Ao mesmo tempo o programa de qualidade ambiental da PETROBRÁS-SIX será otimizado, podendo estender os seus benefícios à toda comunidade vizinha da empresa, e especialmente aos agricultores locais.

Este experimento teve por objetivo principal avaliar a eficiência de diferentes consórcios de forrageiras e de métodos de adubação na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pelo processo de extração do xisto (folhelho pirobotuminoso) em São Mateus do Sul (PR).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

2.1.1. Mineração e desenvolvimento sustentável

A utilização dos recursos minerais pelo homem para o seu próprio benefício, é uma prática conhecida no mínimo há cerca de 300.000 anos, quando o homem primitivo usava o sílex para a construção de ferramentas (SYMES, 1990). Atualmente a indústria da mineração ocupa lugar de destaque entre as atividades consideradas de base, sendo responsável no Brasil por cerca de 2% do PIB, quando considerada a produção de insumos, mas levando-se em conta a indústria de transformação mineral e os bens de capital e de consumo derivados, esse valor pode chegar a cerca de 60% do PIB nacional (IBRAM, 1992).

O processo extrativista mineral apesar de gerar inúmeros benefícios, é acompanhado de profundas modificações, às vezes de difícil reversibilidade nos meios físico e biológico na área de abrangência do mesmo. Apesar de não ser a atividade de maior poder impactante, em termos de volume de material movimentado no planeta, visto que as obras de engenharia e as atividades agrícolas movimentam cerca de 6 a 100 vezes mais (POPP, 1992), a atividade de mineração também pode causar reflexos sobre a cultura, a organização e o bem-estar das comunidades locais (IBRAM, 1992).

Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, é importante que a pesquisa e a utilização de minerais importantes e estratégicos para o Brasil seja implementada, porém, fazendo com que a recuperação das áreas degradadas seja um componente essencial deste processo, através do uso de técnicas cada vez mais avançadas (FONTES, 1991).

Segundo IBRAM (1992) a recuperação é um elemento chave na questão do desenvolvimento sustentável, devendo acontecer desde o início do planejamento do empreendimento até um longo período após encerrada a atividade extrativa no local, incorporando-se os custos ambientais às despesas do empreendimento, evitando-se dessa maneira a privatização dos lucros decorrentes da atividade minerária e a socialização dos prejuízos ambientais e sociais.

Além do mais, a recuperação das áreas degradadas pela mineração é citada no segundo parágrafo do artigo 225 da Constituição Brasileira promulgada em 1988, da seguinte forma: "Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma de lei" (BRASIL, 1990).

2.1.2. A mineração do xisto

O xisto (folhelho pirobetuminoso) é uma rocha sedimentar de textura fina contendo um material orgânico chamado querogênio, que sob aquecimento produz óleo. O querogênio origina-se de vegetais e de animais acumulados no fundo de grandes corpos d'água estagnada, onde encontra-se misturado com argila e areia (DAVIS, 1978). No Brasil o maior depósito de xisto conhecido ocorre na Formação Irati, com cerca de 250 milhões de anos, fazendo parte da coluna sedimentar da Bacia do Paraná, atingindo os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e parte do Uruguai. No município de São Mateus do Sul (PR) a Formação Irati apresenta duas camadas de xisto separadas entre si e cobertas por um capeamento de solo que varia de acordo com a topografia (BOLLMANN & PORTO ALEGRE, 1992).

Na usina da PETROBRÁS-SIX neste município, a lavra é efetuada a céu aberto pelo método de tiras, aonde o material estéril é retirado por uma escavadeira, sendo

depositado na cava da tira anterior. O xisto retortado retorna da unidade industrial para as cavas, para fins de recomposição da topografia, sendo depois coberto por uma camada de “argila” (horizontes B e C) e outra camada de horizonte superficial do solo (topsoil), sendo que a espessura dessas camadas varia de acordo com a espessura original do solum. Apesar de todo este procedimento, a fertilidade do solo necessita ser melhorada, e para tal são efetuadas a adubação e a correção do solo, e a sua posterior revegetação (TERABE, 1992).

2.2. DEGRADAÇÃO

2.2.1. Conceituação e aspectos gerais

Segundo FERREIRA (1986), degradação significa deterioração, desgaste, estrago, atenuação gradual ou diminuição. De modo geral, a degradação se traduz na perda de atributos ou qualidades, sendo que BRASIL (1990) define degradação ambiental de uma área quando ocorre a destruição ou a remoção da vegetação nativa, da fauna e da camada fértil do solo, causando alterações nas características físicas, químicas e biológicas do meio e inviabilizando o desenvolvimento sócio-econômico.

MINEROPAR (1991) define área degradada como: "...a extensão do terreno que abrange não só o espaço delimitado pelas operações de lavra, mas todo um campo de ação envolvendo o manuseio do minério e do estéril, nas fases da extração e do beneficiamento, bem como todas as construções de apoio e de infra-estrutura destinadas à mina, à empresa e a seus funcionários".

Segundo COSTA (1992), em termos de poluição e degradação ambiental, a erosão gerada pelo revolvimento excessivo da terra, conjugado com a ação da chuva e do vento, é considerada como o maior problema a ser resolvido. Nos Estados Unidos as perdas de

solo chegam a 5 bilhões de toneladas por ano, enquanto que no Brasil estas perdas atingem 1 bilhão de toneladas por ano, sendo perdidos cerca de 35 milhões de toneladas de fertilizantes.

COSTA (1985) calcula as perdas de solo para o estado de São Paulo em 197.297.667 toneladas/ano em uma área estimada de 25.016.800 ha, incluindo-se culturas anuais, perenes, florestas e pastagens. As perdas médias de nutrientes/ha/ano são calculadas em 7,5 kg de N; 0,2 kg de P₂O₅; 0,8 kg de K₂O e 7,5 kg de Ca + Mg.

DEDECEK (1992) cita que os processos de degradação do solo são dinâmicos, afetam a qualidade e a produtividade dos solos e podem ser divididos em dois tipos:

a) degradação por deslocamento de solo, que inclui a perda da camada superficial e a deformação topográfica da área, contribuindo para o assoreamento e a poluição dos cursos d'água por fertilizantes e agrotóxicos.

b) degradação por deterioração interna do solo, abrangendo a diminuição dos teores de matéria orgânica e alterações na estrutura, na densidade, na taxa de infiltração, no teor de água disponível e na estabilidade de agregados do solo.

Para um controle efetivo do processo erosivo e de suas conseqüências é necessária a implementação de práticas simultâneas, pois de acordo com BRADY (1989) práticas isoladas de controle de erosão podem diminuir a perda de nutrientes, no entanto estas ainda continuam altas, conforme pode ser visto na tabela 1.

TABELA 1 - PERDAS DE NUTRIENTES PELA EROSÃO EM SISTEMAS DE CULTIVO CONTÍNUO E ROTACIONADO.

Sistema	Nutrientes removidos por ano (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho contínuo	74	20	678	247	98	19
Milho, trigo e trevo	29	9	240	95	33	7

Fonte: BRADY (1989)

SPAIN & GUALDRON¹ citados por NASCIMENTO Jr. et al. (1994) consideram que uma pastagem está degradada quando o seu potencial de produção, definido para as condições edafoclimáticas e bióticas locais, sofre uma considerável diminuição. Desta forma, estes autores citam os principais fatores responsáveis pela degradação das pastagens:

- a) manejo inadequado;
- b) ocorrência de plantas invasoras;
- c) ocorrência de pragas e de doenças;
- d) não adaptação das espécies semeadas;
- e) diminuição da fertilidade do solo;
- f) incompatibilidade das espécies associadas.

Por outro lado, NASCIMENTO Jr. et al. (1994) apontam como as principais causas da degradação das pastagens o genótipo das plantas cultivadas, efeitos do clima, tipo de pastejo, fertilidade e textura do solo, sendo que para a avaliação do estágio desta degradação, tanto a diminuição da produção quanto a mudança da composição botânica da pastagem necessariamente tem de ser considerados, além do grau de erosão do solo num estágio mais avançado de degradação.

2.2.2. Degradação das propriedades químicas do solo

FASSBENDER (1987) afirma que a taxa de diminuição da fertilidade do solo sob cultivo depende de vários fatores, dentre os quais:

- a) características do próprio solo: conteúdo de húmus, de nitrogênio e de outros nutrientes, conteúdo de argilas, pH, estado de agregação, número e atividade dos microrganismos;

¹ SPAIN, J.M.; GUALDRON, R. Degradación e rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.; SPAIN, J.M. Establecimiento y renovación de pasturas. Cali, CIAT, 1991. 426 p.

- b) seqüência ou rotação de culturas;
- c) intensidade de exploração;
- d) práticas de cultivo e de controle de erosão utilizadas.

Por outro lado, este mesmo autor cita que esses diversos fatores não ocorrem de forma isolada, agindo concomitantemente e podendo um ou outro fator se destacar mais. Além do mais, podem interagir com a falta de material orgânico a ser mineralizado, com o aumento da ocorrência de pragas e de doenças, com mudanças nos atributos físicos do solo, perdas de nutrientes por extração, por erosão ou por lixiviação, com a diminuição do teor de matéria orgânica e com mudanças no ambiente microbiológico do solo, sendo que em casos de exploração intensiva do solo pode ocorrer um esgotamento total da fertilidade entre 2 a 5 anos de cultivo, sendo relatado um caso em que houve uma redução de 86 % na produtividade de uma lavoura de amendoim na segunda colheita realizada.

O aumento da acidez pode ter reflexos negativos em várias propriedades químicas de um solo, como na disponibilidade de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica. Segundo RAIJ (1983) a acidificação do solo pode ser ocasionada pela diminuição da saturação de bases no complexo sortivo, seja por absorção pelas plantas ou pelo processo de lixiviação, com conseqüente redução do pH e aumento do teor de alumínio trocável. Esta acidificação do solo também pode ser causada pela adubação nitrogenada, pois em experimento conduzido por CARVALHO et al. (1992), houve queda do pH com a aplicação de doses de 400 kg N/ha/ano na forma de uréia, de 4.6 para 4.4 (em 10 meses) e de 4.7 para 4.1 (em 19 meses).

BLEVINS et al. (1983) comparando sistemas de plantio direto e cultivo convencional submetidos a diferentes doses de adubação nitrogenada, chegaram à conclusão de que o cultivo convencional causou uma redução no teor de carbono

orgânico de 1,5 % para 1,4 %, enquanto que no sistema de plantio direto houve um aumento de 2,4 % para 3,0 %, sendo que este resultado é justificado por uma maior mistura dos resíduos culturais com o solo no cultivo convencional, resultando numa maior taxa de oxidação da matéria orgânica. Ao mesmo tempo as doses crescentes de nitrogênio causaram diminuição do pH do solo, com maiores decréscimos nas camadas superficiais do solo sob plantio direto, levando a aumentos nos teores de alumínio trocável.

A perda do poder neutralizante do corretivo aplicado também pode ser uma causa de acidificação do solo, visto que a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (1989) afirma que após 4 a 6 anos da aplicação da calagem o pH do solo começa a diminuir, devido à lixiviação natural dos cátions básicos e às reações acidificantes do solo. Em experimento conduzido por SANTOS et al. (1989) durante sete anos com culturas de verão e de inverno, o pH e os teores de cálcio e de magnésio aumentaram por ocasião da calagem e diminuíram já a partir do segundo ano, o que é justificado pelo autor pelo fato de ter sido aplicada metade da dose do corretivo recomendada.

O aumento do processo erosivo leva a uma diminuição dos teores de matéria orgânica, seja pelo arraste superficial ou pela diminuição dos nutrientes disponíveis, que acarreta em menores produtividades de fitomassa aérea e radicular e menor cobertura do solo, compondo assim um ciclo em que o solo torna-se cada vez mais exposto e degradado (MONEGAT, 1991).

Sendo assim, o teor de matéria orgânica de um solo pode diminuir devido a uma maior taxa de decomposição, a ocorrência de processos erosivos e a lixiviação, que é considerada desprezível nestes casos. Geralmente em solos cultivados convencionalmente ocorre uma diminuição nas adições de matéria orgânica, aumentos nos processos de erosão pela maior exposição da superfície do solo, além de um

acréscimo na oxidação da matéria orgânica, pela correção do pH, pela adição de nutrientes, pela maior atividade da microbiota do solo e pela incorporação de resíduos orgânicos ao solo, aumentando sua área de contato e sua mineralização.

A mineralização da matéria orgânica no solo pode ser dividida em fases com diferentes intensidades, devido a heterogeneidade das frações da matéria orgânica e sua interação com a fração mineral do solo (DALAL & MAYER, 1986).

SILVA et al. (1994) estudando variações nos teores de matéria orgânica (MO) e na CTC de três solos do oeste baiano, chegaram a conclusão de que o uso inadequado desses solos, através de um revolvimento excessivo e uma baixa adição de resíduos orgânicos causou uma diminuição nos teores de matéria orgânica, acompanhada da diminuição da CTC a pH 7,0. No período de cinco anos as perdas foram significativas, chegando a 80,1 % da MO original e a 61 % da CTC original numa areia quartzosa; 75,6 % da MO e 53 % da CTC em um LV textura média e 41,2 % da MO e 29 % da CTC em um LV textura argilosa.

Por outro lado, BARBER & ROMERO (1994) avaliando as consequências da derrubada e queima de uma floresta, não encontraram variações significativas nos teores de magnésio, potássio, fósforo, matéria orgânica, nitrogênio e no pH, só encontrando um aumento nos teores de cálcio do solo. A explicação para este resultado reside-se no fato de que a vegetação original que foi derrubada e queimada apresentava uma baixa produção de biomassa, oferecendo um estoque reduzido de nutrientes a serem liberados pela queima.

Devido a importância da matéria orgânica principalmente em solos tropicais, aonde pode contribuir na proporção de até 82 % na CTC do solo (RAIJ, 1983), torna-se de extrema urgência e importância a implementação de práticas que levem a uma manutenção ou mesmo a um aumento dos teores originais de matéria orgânica, ou seja,

promovendo um mínimo revolvimento e uma máxima adição de resíduos orgânicos ao solo.

2.2.3. Degradação das propriedades físicas do solo

O cultivo do solo tem sido uma das principais causas da degradação dos solos, sendo que a princípio, o cultivo convencional oferece boas condições para o desenvolvimento das plantas, aumentando o potencial de infiltração de água, de aeração e de evaporação, mas com o passar dos anos há uma diminuição da aptidão do solo, ocorrendo aumento do encrostamento superficial, diminuição da taxa de infiltração de água e aumento no escoamento superficial, com incremento da erosão hídrica (MACHADO & BRUM, 1978; SIDIRAS et al., 1984).

Analisando um latossolo roxo distrófico sob diferentes tipos de cobertura (mata nativa, campo nativo, plantio direto e convencional), MACHADO & BRUM (1978) encontraram um aumento da densidade do solo e uma diminuição da porosidade total, porosidade de aeração e dos teores de matéria orgânica, caracterizando um processo de degradação do solo devido ao uso de práticas de manejo inadequadas, tais como, excessiva movimentação da camada superficial e queima de restos culturais.

Ao estudar o efeito de diferentes métodos de derrubada e limpeza de uma área sob floresta subtropical na Bolívia, BARBER & ROMERO (1994) concluíram que os vários métodos utilizados levaram a um aumento da densidade do solo e a uma diminuição da porosidade total na camada de 0 a 20 cm, o que causou um rebaixamento da superfície de 3,25 cm. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas na resistência à penetração por penetrômetro de impacto, na infiltração de água acumulada (60 min.) e na taxa de infiltração de água no solo.

STONE et al. (1994) avaliando o efeito de anos de cultivo sucessivo de arroz e feijão em um LEd textura argilosa, chegaram à conclusão de que o tráfego de máquinas aumentou a compactação do solo, que se manifestou no aumento da densidade do solo e na diminuição da porosidade total, da macroporosidade e da condutividade hidráulica até a profundidade de 40 cm, favorecendo a ocorrência da erosão hídrica.

PINZON & AMESQUITA (1991) chegaram à conclusão de que o pisoteio causado pelo gado causou um aumento na densidade do solo e uma redução na taxa de infiltração de água no solo, principalmente em solos de textura argilosa na região amazônica.

Por outro lado, BLEVINS et al. (1983) estudando o efeito de 10 anos de cultivo convencional e de plantio direto em um solo de textura franco-siltosa, não encontraram alterações na densidade do solo e na condutividade hidráulica. Embora tenham ocorrido alterações nos teores de matéria orgânica, não foi caracterizado um processo de degradação do solo.

Além de colaborar para um aumento do processo erosivo, a compactação do solo pode causar redução de produtividade das lavouras, seja reduzindo a absorção de nutrientes ou diminuindo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. ROSOLEM et al. (1994) estudando os efeitos da compactação do solo sobre o desenvolvimento do milho, concluíram que o aumento da densidade do solo na subsuperfície diminuiu o massa de matéria seca, o comprimento, o raio médio e a superfície do sistema radicular, além de reduzir a absorção de nutrientes por unidade de área de raiz.

SILVA et al. (1986) avaliando os efeitos da compactação em diferentes latossolos concluíram que o teor de matéria orgânica e a textura do solo exercem grande influência sobre a dinâmica da relação sólido-poro. Quanto maior o teor de argila e de matéria

orgânica, menos sujeito à compactação estaria o solo, sendo este efeito explicado pela capacidade de adsorção de água desses componentes. Nos tratamentos aonde foram encontrados maiores valores de densidade do solo, também foram encontradas menor condutibilidade hidráulica e maior retenção de água.

Por outro lado PIKUL & ZUZEL (1994) comparando o efeito de sistemas de cultivo e sistemas de manejo de resíduos, encontraram diferenças nos teores de carbono orgânico, a seguir: adubação com esterco > adubação nitrogenada > queima de resíduos, sem no entanto encontrar diferenças na porosidade para os tratamentos de adubação com esterco e nitrogenada, concluindo que o teor de carbono orgânico não é o único fator responsável pela estruturação do solo.

Neste mesmo trabalho, os autores concluíram que o sistema de cultivo que promoveu um maior revolvimento do solo, através da aração, apresentou a menor porosidade, a maior densidade do solo e o menor teor de matéria orgânica.

SILVA & RIBEIRO (1992) afirmam que mesmo com o uso de fertilizantes, variedades adaptadas e controle de pragas e de doenças, boas produtividades não serão atingidas se houver degradação das características físicas do solo. No entanto estes autores chegaram à conclusão que o cultivo contínuo de cana-de-açúcar por até 25 anos em solos podzólicos de Pernambuco, não alterou significativamente as características morfológicas, a densidade do solo, a porosidade total, a macro e a microporosidade e a estabilidade de agregados, sendo que para esta cultura são realizadas seis gradagens a cada quatro anos, mais as operações rotineiras que incluem escarificação, adubação, capina e colheita.

ANGULO et al. (1984) avaliaram a erodibilidade de dez solos brasileiros, obtendo as melhores correlações da erodibilidade com a estabilidade dos agregados em água e com a resistência dos agregados ao impacto da gota, demonstrando a importância desses

componentes no manejo dos solos. Outros parâmetros de estudo, como características texturais e químicas do solo não apresentaram correlações significativas com a erodibilidade.

A falta de cobertura do solo pelas plantas ou por resíduos destas leva a destruição dos agregados do solo através do impacto da gota de chuva, formando crostas superficiais que provocam um selamento superficial do solo, impedindo a infiltração da água, aumentando o escoamento superficial e prejudicando a emergência das plântulas, com conseqüências na redução da produtividade e na cobertura do solo (CABEDA, 1984).

GREACEN² citado por TISDALL et al. (1978) afirma que o revolvimento do solo expõe a matéria orgânica ao ataque dos microorganismos, aumentando a sua decomposição e diminuindo a estabilidade dos agregados do solo.

Os sistemas de cultivo que promovem o revolvimento do solo e baixas adições de resíduos orgânicos ao solo, são os que apresentam a maior tendência à desagregação dos solos. Sendo assim, promovendo-se uma menor mobilização da camada superficial do solo e uma alta taxa de adição de materiais orgânicos ao solo, pode-se evitar a degradação de solos cultivados, e mesmo recuperar-se solos em adiantado estágio de degradação (PALADINI & MIELNICZUK, 1991).

2.3. RECUPERAÇÃO

2.3.1. Conceituação e aspectos gerais

Recuperar é o ato de recobrar, adquirir novamente, reabilitar. Reabilitar é restituir ao estado anterior (FERREIRA, 1986).

²GREACEN, E.L. The soil structure profile under pastures. *Aust. J. Soil Res.* 9: 129-137, 1958.

BRASIL (1990) define várias terminologias, tais como:

- a) Recuperação: quando um sítio degradado retorna a uma forma de acordo com um objetivo pré-estabelecido, obtendo-se uma condição estável em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais vizinhos, e tendo condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio, resultando em um novo solo e uma nova paisagem.
- b) Reabilitação: é o retorno da área a um estado biológico apropriado (MAJER³, citado), podendo ser dividida em reabilitação condicional, aonde há interferência periódica do homem, ou reabilitação auto-sustentável, ocorrendo um equilíbrio dos componentes da biota e o fechamento dos ciclos de nutrientes, sem necessidade de intervenção humana.
- c) Restauração: retorno da área ao seu estado original, situação muito difícil de ser conseguida.

MINEROPAR (1991) afirma que como dificilmente é possível o retorno de uma área degradada ao seu estado original, a legislação emprega o termo recuperação, pelo seu fácil entendimento por parte do público leigo e pelo fato de abranger outras utilizações que não a original. Sendo assim, a recuperação de uma área degradada pode ser de dois tipos:

- a) aquela que objetiva a restituição das características biológicas originais;
- b) aquela que destina ao solo um uso biológico diverso do original (abastecimento de água, agropecuária, recreação), ou um uso econômico não biológico (parque industrial, áreas habitacionais, depósitos de resíduos).

De acordo com SILCOCK (1991), ao se efetivar a recuperação de um solo degradado pelo processo de extração de minerais no subsolo, toda atenção deve ser dada à remoção e ao armazenamento das camadas superficiais do solo, visto que a

³ MAJER, J.D. Fauna studies and land reclamation technology: a review of the story and need for such studies. In: MAJER, J.D. (coord.) **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands**. Londres, Cambridge University Press, 1989. p. 3-33.

maioria dos nutrientes disponíveis, da matéria orgânica e dos microrganismos que darão suporte ao processo de revegetação da área, estão presentes nestas camadas.

2.3.2. Recuperação das propriedades químicas do solo

SARAIVA & CARVALHO (1991) citam que quando no solo não se dispõe de nutrientes em quantidade suficiente ao crescimento das plantas, há a necessidade de adubação. Esta seria em função da fertilidade do solo, da eficiência dos adubos, e das necessidades das culturas, sendo considerada como primeiro requisito na obtenção de boas produtividades das forrageiras.

Avaliando a recuperação de áreas mineradas na Austrália, SILCOCK (1991) afirma que principalmente quando não há a reposição do horizonte orgânico do solo, são necessárias aplicações de quantidades moderadas a altas de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, sendo que a aplicação de corretivos da acidez normalmente não é recomendada. No caso de não se executar um manejo adequado das áreas recuperadas com pastagens, é comum o incremento da erosão, pois a cobertura desuniforme do solo provoca um direcionamento e um aumento do fluxo da enxurrada, com conseqüente aumento da erosão principalmente em solos de estrutura fraca.

A importância da adubação fosfatada para as forrageiras se traduz em melhores produtividades, de forma direta ou indireta, conforme pode ser verificado em experimento conduzido por RHEINHEIMER & KAMINSKI (1994), aonde a aplicação de fósforo ao solo provocou aumentos na produção de matéria seca da pensacola (*Paspalum sauriae*), além de aumentos nos teores foliares de fósforo e na colonização micorrízica no sistema radicular

No entanto, em trabalhos que visam a recuperação de solos degradados ou a utilização de solos sob o sistema de plantio direto, tem-se observado o aparecimento de

um gradiente de fertilidade no perfil desses solos, principalmente com relação aos teores de fósforo, potássio e carbono orgânico. MELO (1994) na condução de um experimento que envolvia espécies para adubação verde e níveis de adubação, em um LR argiloso, encontrou na profundidade de 0 a 5 cm teores de potássio variando de 0,68 a 0,77 meq/100 cm³ e teores de fósforo de 30 a 30,7 ppm, sendo que na profundidade de 5 a 15 cm os teores de potássio caíram para 0,44 a 0,53 meq/100 cm³ e os de fósforo para 15,2 a 20,1 ppm, ao final de dois anos de experimentação.

BLEVINS et al. (1983) comparando sistemas de plantio direto e cultivo convencional encontraram maiores teores de potássio e de matéria orgânica no plantio direto, sendo que neste sistema também houve a ocorrência de um gradiente de potássio e de matéria orgânica no perfil do solo.

Da mesma forma SÁ (1993) ao acompanhar o comportamento de vários solos sob plantio direto no Paraná, encontrou um acúmulo de matéria orgânica, potássio e fósforo nas camadas superficiais na maioria desses solos. Na camada de 0 a 2,5 cm o teor de matéria orgânica foi 2,5 vezes maior do que na camada de 30 a 40 cm, e os teores de potássio foram maiores do que 0,45 meq/100 cm³ na camada de 0 a 10 cm, enquanto que na camada de 30 a 40 cm estes teores ficaram na faixa de 0 a 0,15 meq/100 cm³. No entanto, o pH na camada superficial dos solos sofreu uma redução, o que foi causado pela intensa extração das bases do complexo sortivo, devido às altas produtividades atingidas, e à aplicação de 180 a 240 kg/ha de nitrogênio a cada três anos.

MUZZILI (1983) comparando a efeito do sistema de plantio direto e do cultivo convencional em latossolos durante 4 a 5 anos no Paraná, também encontrou um acúmulo de fósforo na camada de 0 a 10 cm no plantio direto, observando um melhor aproveitamento deste nutriente pelo milho devido a uma menor adsorção do fósforo por

óxidos do solo e a uma maior disponibilidade de água no sistema de plantio direto, melhorando a difusão do nutriente para a planta. Por outro lado, não houveram diferenças entre os dois sistemas com relação aos teores de matéria orgânica e cálcio + magnésio, além de não ter acontecido uma acidificação da camada superficial do solo.

A melhoria da fertilidade de um solo pode ser conseguida através da aplicação de adubos químicos ou orgânicos, pelo cultivo de adubos verdes ou através da prática do pousio. BARTH (1987) afirma que deve ser dada ênfase ao uso de adubos orgânicos, principalmente se produzidos nas vizinhanças da área degradada, já que estes melhoram as propriedades físicas do solo, suprem os nutrientes e podem reduzir a toxicidade de metais.

HOLANDA et al. (1984) através da aplicação de dosagens de esterco bovino em até 42 t/ha em um latossolo vermelho-amarelo álico, e em até 56 t/ha em um podzólico vermelho-amarelo no Rio Grande do Norte, obtiveram melhorias significativas nas propriedades químicas de ambos os solos, conforme pode ser observado na tabela 2.

TABELA 2 - TAXAS DE INCREMENTO NAS PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE ESTERCO AO SOLO.

Incremento / t de esterco adicionado ao solo				
SOLO	pH H ₂ O	P (ppm)	K (ppm)	Ca + Mg (meq/100 cm ³)
LVa	0.023	0.43	1.29	0.03
PV	0.016	0.37	1.64	0.03

Fonte: HOLANDA et al. (1984)

Avaliando os efeitos da aplicação de esterco de curral e da adubação química (NPK) em um solo na Dinamarca durante 90 anos, SCHJONNING et al. (1994) concluíram que a aplicação do esterco aumentou o teor de carbono orgânico, potássio e magnésio, sendo que os reflexos no teor de carbono alcançaram a profundidade de 35 cm. Embora o esterco e a adubação química tenham aumentado a CTC a pH 7,0, houve uma tendência

de queda da saturação de bases em ambas as adubações, sendo que o esterco causou inclusive um aumento da acidez potencial ($H + Al$).

O uso de resíduos orgânicos urbanos, como é o caso do lodo de esgoto, também merece atenção quando se trata da recuperação de solos degradados. DA ROS et al. (1993) aplicando dosagens de lodo de esgoto que variaram de 20 a 160 t/ha (base úmida) em um podzólico vermelho-amarelo, observaram aumentos lineares para os teores de N-total e fósforo disponível no solo, proporcionando aumentos no rendimento de matéria seca do milho (*Pennisetum americanum*) e na absorção de N, P_2O_5 e K_2O pelas plantas como efeito imediato.

Segundo COSTA (1992) e FASSBENDER (1987) a prática da adubação verde oferece inúmeras vantagens, quando usada de forma adequada, entre estas destacam-se:

- a) proteção do solo evitando o impacto direto da chuva;
- b) aporte de fitomassa ao solo, com conseqüências no teor de matéria orgânica;
- c) aumento da capacidade de retenção de água do solo;
- d) diminuição das amplitudes térmicas e hídricas do solo;
- e) estruturação do solo, com reflexos na aeração e na densidade;
- f) eficiente mobilização e reciclagem de nutrientes;
- g) aumento da disponibilidade de nitrogênio, seja pela diminuição na lixiviação ou pela fixação biológica;
- h) controle da população de plantas daninhas pela cobertura do solo ou por efeitos alelopáticos;
- i) possibilidade de utilização na alimentação humana ou animal, além do uso como carvão ou madeira, no caso de leguminosas arbustivas / arbóreas;
- j) aumento da eficiência dos fertilizantes minerais;
- k) incremento da atividade biológica do solo;

l) melhor distribuição da mão-de-obra.

TESTA et al. (1992) avaliando o efeito de sistemas de culturas sobre propriedades químicas de um solo, chegaram à conclusão de que alguns sistemas de culturas promoveram um aumento nos teores de carbono no solo, havendo uma correlação muito significativa com o aumento da CTC (efetiva e a pH 7,0), sendo que este aumento na CTC foi responsável por um aumento na retenção de cálcio, magnésio e potássio, diminuindo a sua lixiviação.

No entanto LUCCHESI (1988) e MELO (1994) utilizando sucessões de culturas forrageiras não conseguiram aumentos significativos nos teores de carbono orgânico na recuperação de solos degradados, porém os autores justificam este fato por um curto espaço de tempo de avaliação dos experimentos (12 e 24 meses, respectivamente) e a falta de uma amostragem mais estratificada no solo, já que ambos trabalharam na profundidade de 0 a 15 cm.

A eficiência do fornecimento de nitrogênio pelas leguminosas pode ser comprovada através de trabalho realizado por AITA et al. (1994) onde o cultivo do chícharo (*Lathyrus sativus*) como cultura de inverno anterior ao milho promoveu o fornecimento de nitrogênio em quantidades semelhantes à adubação química recomendada, proporcionando um rendimento de grãos e produção de matéria seca semelhantes para as duas situações. No entanto, os autores citam como possíveis benefícios complementares, um fornecimento mais equilibrado de nitrogênio pelas leguminosas, além de melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Mesmo sendo de reconhecida efetividade no fornecimento de nitrogênio ao solo com conseqüentes efeitos nos rendimentos das culturas subseqüentes, o uso de leguminosas para tal fim deve ser bem avaliado quanto a melhor espécie a ser utilizada e o melhor manejo para esta. CERETTA et al. (1994) testando vários tipos de adubação verde para

o milho, nos sistemas de cultivo mínimo e convencional, observaram que o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) proporcionou maior produção de matéria seca do milho, quando comparado ao tratamento em que houve aplicação de 130 kg/ha de nitrogênio e surgimento da vegetação espontânea.

No entanto, com relação ao rendimento de grãos do milho, o feijão-de-porco não proporcionou resultados diferentes no cultivo mínimo ou no cultivo convencional, sendo que o guandu-anão (*Cajanus cajan*) e a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) proporcionaram maiores rendimentos de grãos sob o sistema de cultivo convencional, ou seja, quando incorporadas ao solo. Já o tratamento com aplicação de nitrogênio + vegetação espontânea, incorporada ao solo proporcionou uma queda na produção de grãos do milho, sendo que o autor justifica estes resultados com base na relação haste/folha e na relação C/N das plantas. O feijão-de-porco que apresenta relação C/N mais baixa (14,6) não apresentou diferenças, já o tratamento com aplicação de nitrogênio + vegetação espontânea com relação C/N de 47,3, quando incorporada ao solo pode ter causado imobilização do nitrogênio pelos microrganismos, ocasionando em redução da produção de grãos do milho.

TEIXEIRA et al. (1994) citam que a contribuição de um sistema de culturas em fornecer nitrogênio depende de vários fatores, a seguir:

- a) capacidade de adicionar N₂ atmosférico ao solo;
- b) capacidade de reciclar N através da biomassa;
- c) taxa de mineralização de resíduos culturais e de matéria orgânica;
- d) grau de coincidência do período de maior mineralização com o de absorção de N pela cultura.

Trabalhando em um podzólico vermelho-escuro álico degradado, estes autores conseguiram rendimentos de grãos de milho próximos aos conseguidos com a aplicação

de 120 kg/ha de N. Os teores de N do solo sofreram aumentos significativos no terceiro ano de condução do experimento somente na camada de 0 a 2,5 cm do solo, no entanto, no quinto ano este incremento aconteceu até a profundidade de 0 a 17,5 cm, sendo que os sistemas de culturas considerados mais eficientes neste processo foram guandu (*Cajanus cajan*) / milho (*Zea mays*) + guandu, siratro (*Macroptilium atropurpureum*) por 4 anos, e pousio / milho + lablab (*Lablab purpureum*).

Assim como o manejo e a escolha da espécie a ser usada como adubo verde é importante, a época de corte e incorporação no solo também deve ser considerada. STAMFORD et al. (1994) avaliando diferentes épocas de corte e incorporação de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*, Holland sin.), lablab (*Lablab purpureus* L. Sweet sin.) e cudzu (*Pueraria phaseoloides* Roxb. Benth) em um podzol hidromórfico, chegaram à conclusão de que a melhor época para a mucuna e o lablab foi o corte aos 56 dias após a emergência, e para o cudzu aos 112 dias, usando como indicadores a produção de matéria seca das leguminosas e do sorgo-forrageiro cultivado em seqüência, os teores de NH_4^+ e NO_3^- do solo e N-total das plantas.

No entanto nem só as leguminosas apresentam potencial para a prática da adubação verde. OLIVEIRA (1994) rotacionando o algodão com adubos verdes de inverno no Paraná, encontrou desempenhos semelhantes para o tremoço (*Lupinus* sp.) e o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) com relação a produtividade de algodão em caroço. Calculando a equivalência em N mineral (EqN) dessas plantas, que é definida como sendo a quantidade de N que deve ser aplicada na espécie de verão, cultivada após pousio ou cobertura de gramíneas, para obter rendimento igual ao obtido pela espécie cultivada após leguminosas, sem aplicação de N, foram encontrados resultados de 160 e 106 kg/ha de N para o tremoço e para o nabo-forrageiro, respectivamente.

2.3.3. Recuperação das propriedades físicas do solo

DENARDIN (1984) cita que a cobertura vegetal reduz as perdas de água pela evaporação, eleva a retenção de água e aumenta o teor de matéria orgânica melhorando assim a resistência do solo à erosão, pela maior estabilidade dos agregados, menor densidade do solo e redução do peso das partículas componentes do solo.

Sendo assim, BERTOL (1994) avaliando a influência de diferentes preparos de solo de coberturas vegetais nas perdas de solo causadas pela erosão hídrica, concluiu que o plantio direto proporcionou uma redução nas perdas de solo de 97% quando comparado ao solo descoberto. Por outro lado, o preparo convencional (aração e duas gradagens) e o cultivo mínimo (escarificação a 25 cm) reduziram essas perdas em 90%. Esses dois últimos não diferiram entre si devido a grande quantidade de matéria seca incorporada pelo preparo convencional, que aumentou a rugosidade da superfície do solo, reduzindo a velocidade da enxurrada.

A eficiência das diferentes culturas implantadas neste mesmo solo (cambissolo húmico distrófico) com relação ao controle da erosão também foi avaliada, chegando-se a conclusão que as culturas com alta densidade de cobertura e maior eficiência do sistema radicular (trigo e aveia), levaram a uma menor concentração de sedimentos na enxurrada, em relação as culturas de menor eficiência (feijão e soja).

De acordo com CARTER et al. (1994) as forrageiras perenes podem melhorar a estrutura e a estabilidade dos agregados do solo, sendo este efeito dependente da densidade do sistema radicular de cada espécie, do tipo e da quantidade de secreções providas pelas raízes.

BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK (1990) empregando seqüências de culturas com alta produção de resíduos, observaram reduções nas perdas de água por evaporação e nas altas temperaturas do solo. A cobertura proporcionada pela pastagem de siratro foi

a mais eficiente, gerando as menores temperaturas máximas, quando comparadas com os demais sistemas de culturas.

SIDIRAS et al. (1984) encontraram em um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e convencional, uma maior retenção de água na camada de 0 a 10 cm no sistema de plantio direto, justificando este resultado pelo maior teor de matéria deste solo. Além disso, o gradiente da densidade do solo dentro do perfil do solo sob plantio direto foi menor, devido a eliminação do pé-de-arado, comum no cultivo convencional.

No entanto, o aumento da densidade do solo em profundidade pode ocorrer pela diminuição dos teores de matéria orgânica e/ou pelo próprio peso das camadas superficiais do solo, o que de certa forma independe do manejo a que o solo é submetido (SILVA & RIBEIRO, 1992).

SILCOCK (1991) descreve vários tipos de coberturas de solo (mulches) utilizados na recuperação de solos degradados pela mineração na Austrália, tais como rejeitos da própria mineração, cascalho, feno, gravetos e polímeros químicos misturados com adesivos. O autor enfatiza o uso do feno e da cobertura com palhada, à semelhança do sistema de plantio direto, como sendo muito eficiente ao evitar o impacto da chuva contra o solo, aumentando a infiltração e reduzindo a evaporação. Para esta situação as espécies mais indicadas seriam a aveia, trigo e a cevada.

ELTZ et al. (1989) afirmam que apesar do sistema de plantio direto, em alguns casos proporcionar maior densidade do solo nas camadas superficiais e menor macroporosidade, causa uma maior infiltração de água devido à diminuição do selamento superficial dos poros causado pelo impacto da chuva, e pelo aumento da tortuosidade do fluxo superficial da água, reduzindo portanto o risco de erosão.

Comparando diversos sistemas de preparo em um latossolo bruno álico, ELTZ et al. (1989) observaram que o sistema de plantio direto efetuado durante sete anos e meio,

aumentou o tamanho e a estabilidade dos agregados em água, além de proporcionar um aumento da taxa de infiltração acumulada no solo. A presença da palha na superfície, o não revolvimento do solo e a presença de uma intensa atividade biológica foi a responsável por estes efeitos, que resultaram numa maior resistência do solo à erosão e um aumento de produtividade de grãos da ordem de 22 %.

TISDALL et al. (1978) afirmam que a adição de materiais orgânicos ao solo pode aumentar a agregação e melhorar a estrutura do solo, sendo que estas influências são dependentes da quantidade e da qualidade dos materiais adicionados, além do tempo de incubação destes no solo. Os materiais orgânicos influem diretamente na agregação, ou indiretamente servindo como fonte de energia à microbiota do solo, que por sua vez produz substâncias com poder agregante.

Sendo assim, ao estudar as conseqüências da aplicação de esterco e de adubos químicos por um período de 90 anos em um solo na Dinamarca, SCHJONNING et al. (1994) afirmam que a aplicação de esterco diminuiu a densidade de partículas e a densidade do solo, além de aumentar a porosidade, retenção de água e friabilidade, proporcionando maiores valores de penetração de cone com o uso de um penetrômetro de queda livre. Neste trabalho, à medida em que a densidade do solo diminuiu, os valores de penetração foram mais altos.

Por outro lado, ROTH et al. (1991) estudando um latossolo roxo no estado do Paraná, concluíram que este solo pode ser altamente influenciado pelo manejo a que é submetido. A prática da calagem na dose de 32 t/ha e o sistema de plantio direto aumentaram a estabilidade dos agregados, proporcionando uma menor tendência do solo à desagregação e conseqüentemente um menor selamento superficial, o que diminui a probabilidade de ocorrência dos processos erosivos. O sistema de plantio direto proporcionou maiores teores de matéria orgânica, que aumentou a estabilidade de

agregados principalmente através da fração dos ácidos húmicos, sendo considerado este sistema o mais eficiente para a conservação e uso racional do solo.

Por outro lado, JORGE et al. (1991) avaliando o efeito do calcário e de diferentes doses de lodo de esgoto em um latossolo vermelho-escuro, encontraram que apesar do lodo ter aumentado o índice de agregação do solo, o calcário diminuiu esta agregação. Este resultado pode ser explicado pela diminuição dos teores de alumínio trocável em função do aumento do pH e do aumento dos teores de cálcio, ou seja, um cátion de menor poder flocculante.

A adubação química também pode exercer influência na dinâmica de algumas propriedades físicas de um solo, como no caso do estudo de PIKUL & ZUZEL (1994), onde a aplicação de uma dose de 180 kg/ha de N em uma lavoura de trigo proporcionou aumento na taxa de infiltração, no conteúdo de água e na porosidade do solo, além de diminuir a densidade do solo.

De grande importância agrícola no estado do Rio Grande do Sul, aonde ocupam uma área de cerca de 21 %, os latossolos vem sofrendo uma intensa degradação, que é causado pelo seu uso intensivo e manejo inadequado (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Esses autores chegaram à conclusão que o preparo convencional para implantação das lavouras em latossolo roxo, reduziu a agregação deste solo, em relação ao solo sob vegetação nativa. Por outro lado, o manejo efetuado com uma pastagem de desmódio (*Desmodium intortum*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e setária (*Setaria anceps*) e com o sistema de plantio direto, proporcionou uma melhor estrutura deste solo, no tocante a agregação do solo.

Quando se estuda a evolução de propriedades físicas de um solo, deve-se atentar para a metodologia utilizada, afim de se evitar conclusões precipitadas. LUCCHESI (1988) cita tal advertência quando recomenda uma maior estratificação do perfil do solo para

estudos da dinâmica de propriedades físicas, visto que não conseguiu melhoria significativa no diâmetro médio ponderado de agregados do solo através do uso de forrageiras, trabalhando em uma profundidade de 0 a 15 cm durante o período de 12 meses.

2.3.4. Uso de pastagens na recuperação de solos degradados

O uso de pastagens nos processos de recuperação é muito interessante, considerando-se que a revegetação é o principal meio para se obter um controle da erosão, evitando a poluição dos cursos d'água e promovendo o retorno da vida ao solo, sendo que nessa revegetação o uso de espécies herbáceas, juntamente com espécies arbustivas e/ou arbóreas é recomendado, afim de se formar um solo com melhores características (BRASIL, 1990).

CARTER et al. (1994) citam que as forrageiras de clima temperado no Canadá além de fornecerem forragem na estação fria, funcionam como protetoras da superfície do solo, sendo facilmente encaixadas em sistemas de rotação que não promovam o revolvimento do solo. Comparando o efeito de *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* e *Phleum pratense* em propriedades químicas e físicas de um solo arenoso, estes autores concluíram que embora as forrageiras não tenham alterado o teor de carbono orgânico, houveram alterações nos teores de nitrogênio e na relação C/N, além de um aumento na estabilidade de agregados do solo.

Desta forma VICENZI (1986) conclui que as pastagens são apontadas como a forma mais racional de conservação e recuperação dos solos degradados, já que proporcionam cobertura do solo, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva, evitando desagregação superficial e atenuando o fenômeno da erosão.

O uso de pastagens na recuperação de áreas mineradas na Austrália é bastante difundido, sendo que as espécies mais utilizadas são as gramíneas *Chloris gayana*, *Panicum maximum*, *Cenchrus ciliaris*, *Cynodon dactylon*, *Brachiaria humidicola* e *B. decumbens*. Da mesma forma, as leguminosas mais utilizadas são *Macroptilium atropurpureum*, *Stylosanthes sp.* e *Medicago sativa*, sendo que espécies forrageiras de hábito estolonífero ou rizomatoso, tolerantes a salinidade e com grande capacidade de estruturação do solo são preferenciais (SILCOCK, 1991).

MELO (1994) utilizando diferentes consórcios de forrageiras sob cinco níveis de adubação química, obteve boas produtividades mesmo trabalhando na recuperação de um solo degradado em Foz do Iguaçu (PR), conforme pode ser visto na tabela 3.

TABELA 3. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FORRAGEIRAS SUBMETIDAS A NÍVEIS DE ADUBAÇÃO

Forrageiras	Produção de matéria seca (t/ha)				
	Níveis de adubação *				
	0	50 %	100 %	150 %	200 %
Aveia-preta	1,65	5,51	7,55	7,90	7,74
Aveia-preta + Ervilhaca	1,47	4,93	6,55	8,64	8,13
Aveia-preta + Tremoço	3,05	6,28	5,44	6,66	7,41
Sorgo	1,99	6,49	11,85	9,01	14,96
Sorgo + Guandu-anão	2,68	7,18	6,75	9,42	8,97
Sorgo + Feijão-de-Porco	4,54	7,45	11,96	15,08	13,25
Guandu-anão	1,45	2,84	2,70	3,32	3,29

* Variações da dosagem básica de 25 kg/ha de N, 120 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O (100 %).

Fonte: MELO (1994)

Outro fator de grande importância em um plano de recuperação de solos degradados é a prática de rotação de culturas, principalmente se nestas rotações são incluídas espécies forrageiras. MEDEIROS et al. (1987) conseguiram uma boa cobertura de solo, além de eficiência no fornecimento de nitrogênio e produtividades satisfatórias de milho, quando em rotação com milheto / aveia + trevo subterrâneo / milho, produzindo 5.320 kg/ha de grãos de milho, e milho + caupi / aveia + ervilhaca / milho + caupi produzindo 3.750 kg/ha de grãos de milho.

LUCCHESI (1988) obteve melhorias na fertilidade e na atividade biológica do solo através do uso de forrageiras e de adubações, concluindo que a fertilidade é um pré-requisito nos processos de recuperação e conservação do solo. Neste trabalho, este autor atingiu uma produtividade de 5.474,60 kg/ha/ano adubando diferentes consórcios de forrageiras com adubação mineral + lixo urbano, 5.128,20 kg/ha/ano com adubação mineral + esterco bovino (90%) + esterco aves (10%) e 4.617,00 kg/ha/ano com adubação mineral.

Além da prática de rotação de culturas, a escolha do tipo de forrageira a ser utilizada em um trabalho de recuperação de solo é importante, considerando-se que na maioria das situações estes solos apresentam propriedades físicas desfavoráveis devido à um intenso revolvimento ou compactação, possuindo assim reduzida capacidade de armazenamento de água. NASCIMENTO Jr. et al. (1994) enfatizam o uso de gramíneas do tipo C₄ visto que essas podem produzir duas vezes mais matéria seca do que as gramíneas do tipo C₃, utilizando para tal a mesma quantidade de água.

Estudando o efeito do sistema radicular de azevém (*Lolium perenne*) e de trevo-branco (*Trifolium repens*) na agregação de um solo, TISDALL & OADES (1979) observaram que o azevém foi mais eficiente do que o trevo-branco, o que é justificado pelo fato de que o azevém apresentou um maior desenvolvimento do sistema radicular,

além de uma maior quantidade de hifas de fungos associadas às raízes. Essas hifas secretaram polissacarídeos auxiliando na agregação das partículas do solo.

PALADINI & MIELNICZUK (1991) analisando um podzólico vermelho-escuro argiloso, cultivado durante cerca de cinco anos com diferentes sucessões de culturas, observaram que quando sob pastagem de capim-pangola (*Digitaria decumbens*), o solo apresentava uma maior agregação, expressa em porcentagem de agregados > 2,00 mm. Este resultado é justificado pela grande adição de matéria orgânica ao solo, e a uma intensa ação do sistema radicular desta gramínea. Neste mesmo experimento foi notado que os diversos sistemas de culturas perenes foram mais eficientes na agregação do solo do que os sistemas compostos de culturas anuais.

Avaliando a recuperação de solos compactados na região amazônica, PINZON & AMESQUITA (1991) afirmam que o uso de *Brachiaria decumbens* por 10 a 15 anos foi eficiente no aumento da infiltração de água no solo, melhorando principalmente a estrutura e a macroporosidade do solo.

DECHEN et al. (1981) testando a eficiência de gramíneas perenes e de leguminosas anuais no controle da erosão durante seis anos, chegaram a conclusão de que apesar das leguminosas apresentarem um estabelecimento mais rápido, as gramíneas foram mais eficientes reduzindo as perdas de solo e de água. Os autores justificam este resultado devido ao preparo do solo realizado para a implantação anual das leguminosas e ao abundante sistema radicular das gramíneas, que promove uma melhor estruturação do solo e uma maior estabilidade dos agregados.

ANJOS et al. (1994) comparando propriedades físicas de solos de Santa Catarina, submetidos a diferentes manejos (mata nativa, cultivo convencional com e sem subsolagem, plantio direto e pastagem), encontraram valores semelhantes de densidade do solo, porosidade total, taxa de infiltração e infiltração acumulada na solo sob mata

nativa e sob pastagem nativa submetida a uma baixa lotação de animais. No entanto, quando submetida a uma alta taxa de lotação, o solo sob pastagem nativa apresentou maior densidade do solo, menor porosidade total, taxa de infiltração e infiltração acumulada.

Uma das maneiras de se atingir o máximo de aproveitamento dos nutrientes aplicados em um solo em processo de recuperação pode ser através do uso de forrageiras, conforme pode ser observado no trabalho desenvolvido por BLUE & GRAETZ (1977), que por meio da aplicação de doses de até 224 kg/ha de N em uma pastagem de pensacola (*Paspalum sauriae*), conseguiu intenso desenvolvimento de raízes e rizomas. Por sua vez, o sistema radicular bem desenvolvido foi responsável por uma eficiente absorção e armazenamento de N, evitando a sua lixiviação e permitindo a sua utilização em um novo ciclo de crescimento após o inverno.

Por outro lado, mesmo sendo de reconhecida eficiência na recuperação e conservação de solos, as pastagens devem ser submetidas a um manejo adequado afim de que não levem a um aumento da degradação. De acordo com MELLA (1991) a degradação de uma área de pastagens pode acontecer através do seu uso irracional, seja pelo uso excessivo do fogo, uso de espécies inadequadas, prática de monoculturas forrageiras, falta de reposição de nutrientes ou a falta de combate às invasoras e ocorrência de pragas e doenças, tendo-se assim uma diminuição da fertilidade do solo e da capacidade de suporte das pastagens, com reflexos na economia das regiões com tradição pecuária.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área do experimento situa-se no interior da PETROBRÁS - Superintendência de Industrialização do Xisto, no município de São Mateus do Sul (PR) (figura 1). O município está localizado a 26° 52' de latitude sul e 50° 37' de longitude oeste, a uma altitude de 760m, sob um regime climático do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, que se caracteriza em um clima subtropical, superúmido, mesotérmico, com verões frescos e geadas severas e demasiadamente freqüentes, sem estação seca, com temperatura média do mês mais quente menor do que 22 °C e do mês mais frio menor do que 18 °C (BERNARDES et al., 1991). Os dados referentes às chuvas e às temperaturas ocorridas durante a condução do experimento encontram-se nos apêndices 1 e 2.

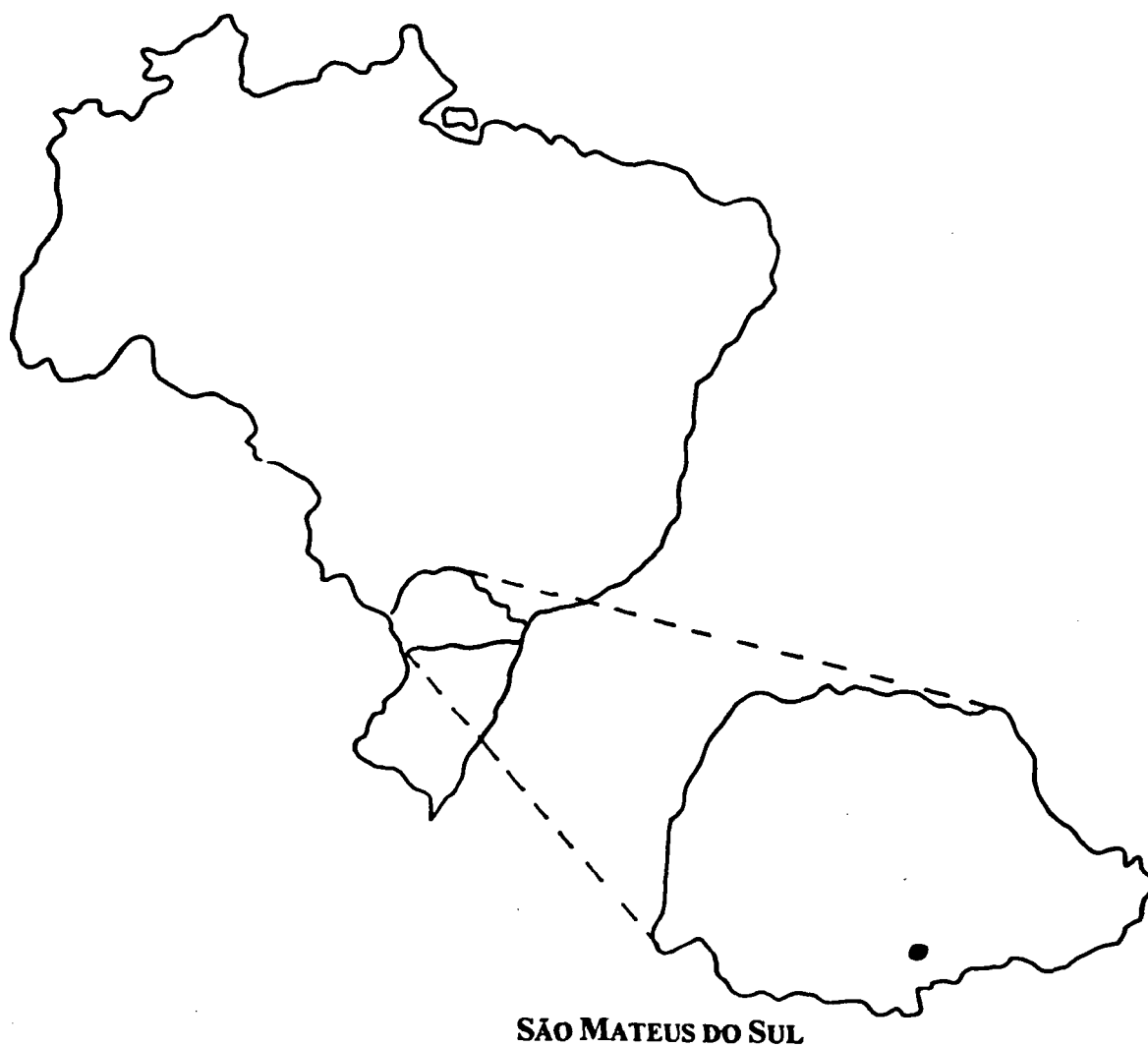
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Nesta área, onde foi conduzido anteriormente o experimento de LUCCHESI (1988), ocorre um solo antrópico, que foi retirado e recolocado novamente para fins de recomposição topográfica, através do processo de extração do minério. No final desse processo, este solo fica com uma espessura variável acima do xisto retornado e do estéril, constituindo-se numa mistura de horizontes A, B e C necessitando ser recuperado (TERABE, 1992).

Este provavelmente se originou de uma Associação Latossolo Vermelho-Escuro Álico + Terra Bruna Estruturada Similar Álica, ambos com A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado (EMBRAPA, 1984).

A análise textural efetuada por LUCCHESI (1988) indicou a seguinte composição granulométrica: cascalho = 1,7 %; areia = 5,9 %; silte = 13,3 % e argila = 79,1 %.

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS DO SUL NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL .



3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a condução do experimento foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, aonde três tipos de adubação constituíram as parcelas e três diferentes consórcios de forrageiras (gramíneas e leguminosas) definiram as subparcelas. Os tratamentos foram distribuídos em 4 blocos totalizando 36 subparcelas.

A área total do experimento foi de 3.132 m², sendo que cada bloco ocupou 783 m², cada parcela 261 m² (18 m x 14,5 m) e cada subparcelas 87 m² (18 m x 4,83 m). O croqui da área experimental encontra-se no apêndice 3.

3.4. TRATAMENTOS

Os tratamentos constituíram-se de combinações entre consórcios de forrageiras (gramíneas e leguminosas) e adubações, a seguir:

a) Consórcios

Consórcio perene 1: pensacola (*Paspalum sauriae*), trevo-branco (*Trifolium repens*) e cornichão (*Lotus corniculatus*).

Consórcio perene 2: hemartria (*Hemarthria altissima*), trevo-branco e cornichão.

Consórcio anual: **Inverno:** aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) e trevo-vesiculososo (*Trifolium vesiculosum*), **Verão:** sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*) e guandu (*Cajanus cajan*).

b) Adubações

Adubação 1: adubação química, corte e permanência da parte aérea na forma de “mulch” (palhada).

Adubação 2: adubação química e orgânica (esterco bovino), corte e exportação da parte aérea.

Adubação 3: adubação química, corte e exportação da parte aérea.

3.5. PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO

Por ocasião da implantação do experimento de LUCCHESI (1988), o solo foi submetido a uma subsolagem a 75 cm de profundidade, perpendicularmente à declividade do terreno. Posteriormente foi feita uma aração a 25 cm de profundidade para a incorporação de calcário dolomítico "filler", na dosagem de 9,8 t/ha e uma gradagem para incorporação dos fertilizantes.

Já para a implantação deste experimento, a única operação de movimentação do solo foi a abertura de sulcos com enxada espaçados em 50 cm, para o plantio da hemartria no consórcio perene 2 e para a semeadura das forrageiras anuais no consórcio anual.

3.6. PLANTIOS E ADUBAÇÕES

As forrageiras perenes foram implantadas no mês de junho de 1992, e as anuais em junho e novembro de 1992 e em abril de 1993. Nas subparcelas correspondentes aos consórcios perenes, existiam remanescentes de pensacola, trevo-branco e cornichão, semeados anteriormente no experimento de LUCCHESI (1988), mas mesmo assim todas as forrageiras perenes foram semeadas a lanço, com exceção da hemartria que foi plantada por mudas no consórcio perene 2.

As sementes de leguminosas foram inoculadas com inoculante específico da marca comercial NITRAL e peletizadas com fosfato de rocha anteriormente ao plantio.

As quantidades de sementes plantadas e de adubos aplicados por cultivo e em todo o período de estudo estão nas tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

Durante a execução do experimento todos os tratamentos receberam um total de 146 kg/ha de P_2O_5 (4:14:8, DAP e superfosfato simples), 72 kg/ha de K_2O (4:14:8 e KCl), 121,6 kg/ha de N (uréia e DAP), 16 kg/ha de S e 32 kg/ha de Ca (superfosfato

simples), sendo que os consórcios anuais receberam 80 kg/ha de N (uréia) a mais, por apresentarem sintomas de deficiência deste elemento. Todos os tratamentos referentes a adição de esterco bovino receberam a dosagem total de 40 t/ha (peso seco), que foi aplicado a lanço parceladamente em 4 vezes, e espalhado sobre as parcelas após cada corte da parte aérea, sendo que a análise do esterco encontra-se na tabela 9.

TABELA 4 - DENSIDADES DE SEMEADURA UTILIZADAS NO EXPERIMENTO (kg/ha).

Consórcio perene 1	Plantio		
	Inverno 92	Verão 92/93	Inverno 93
Pensacola	30	-	-
Trevo-branco	2	-	-
Cornichão	5	-	-
Consórcio perene 2			
Hemartria	mudas	mudas*	-
Trevo-branco	2	-	-
Cornichão	5	-	-
Consórcio anual			
Aveia-preta	70	-	70
Ervilhaca-peluda	25	-	25
Trevo-vesiculoso	8	-	8
Guandu	-	15	-
Sorgo-forrageiro	-	15	-

* replantio para melhorar o stand

TABELA 5 - QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE INVERNO (1992)

INVERNO 1992	Adubação orgânica (kg/ha)	Adubação de manutenção (kg/ha)*			Adubação de cobertura (kg/ha) **
Consórcio perene 1	esterco	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
Química + Palhada	-	16	56	32	-
Química + Esterco	10.000	16	56	32	-
Química	-	16	56	32	-
Consórcio perene 2					
Química + Palhada	-	16	56	32	-
Química + Esterco	10.000	16	56	32	-
Química	-	16	56	32	-
Consórcio anual					
Química + Palhada	-	16	56	32	40
Química + Esterco	10.000	16	56	32	40
Química	-	16	56	32	40

* Adubação de manutenção: NPK (02/07/92)

** Adubação de cobertura: uréia (18/09/92)

TABELA 6 - QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE VERÃO (1992/1993).

VERÃO 1992/93	Adubação orgânica (kg/ha)*	Adubação de manutenção (kg/ha)**			Adubação de cobertura (kg/ha) ***
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Consórcio perene 1	esterco				
Química + Palhada	-	65,6	60	40	-
Química + Esterco	10.000	65,6	60	40	-
Química	-	65,6	60	40	-
Consórcio perene 2					
Química + Palhada	-	65,6	60	40	-
Química + Esterco	10.000	65,6	60	40	-
Química	-	65,6	60	40	-
Consórcio anual					
Química + Palhada	-	65,6	60	40	40
Química + Esterco	10.000	65,6	60	40	40
Química	-	65,6	60	40	40

* Adubação orgânica no consórcio anual (06/11), e nos consórcios perenes (15/12).

** Adubação de manutenção: DAP, KCl e uréia. (15/12/92)

*** Adubação de cobertura: uréia (05/02/93)

TABELA 7 - QUANTIDADES DE ADUBOS APLICADOS NO CULTIVO DE INVERNO (1993)

INVERNO 1993	Adubação orgânica (kg/ha)*	Adubação de manutenção (kg/ha)**		Adubação de cobertura (kg/ha) ***
		N	P ₂ O ₅	
Consórcio perene 1	esterco			
Química + Palhada	-	40	30	40
Química + Esterco	10.000 + 10.000	40	30	40
Química	-	40	30	40
Consórcio perene 2				
Química + Palhada	-	40	30	40
Química + Esterco	10.000 + 10.000	40	30	40
Química	-	40	30	40
Consórcio anual				
Química + Palhada	-	40	30	40
Química + Esterco	10.000 + 10.000	40	30	40
Química	-	40	30	40

* Adubações orgânicas em 05/04/93 e em 21/06/93.

** Adubação de manutenção: Superfosfato simples, uréia. (05/04/93)

*** Adubação de cobertura: uréia (21/06/93)

TABELA 8 - QUANTIDADES TOTAIS DE ADUBOS APLICADOS NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.

TOTAIS	Adubação orgânica (kg/ha)	Adubação de manutenção (kg/ha)			Adubação de cobertura (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
Consórcio perene 1					
Química + Palhada	-	121,6	146	72	40
Química + Esterco	40.000	121,6	146	72	40
Química	-	121,6	146	72	40
Consórcio perene 2					
Química + Palhada	-	121,6	146	72	40
Química + Esterco	40.000	121,6	146	72	40
Química	-	121,6	146	72	40
Consórcio anual					
Química + Palhada	-	121,6	146	72	120
Química + Esterco	40.000	121,6	146	72	120
Química	-	121,6	146	72	120

TABELA 9. ANÁLISES DO ESTERCO UTILIZADO NA ADUBAÇÃO ORGÂNICA.

N	P	K	Ca (%)	Mg	Umidade
0,88	0,35	0,38	0,32	0,27	50

3.7. MANEJO DAS FORRAGEIRAS

Com o objetivo de se eliminar plantas indesejáveis, principalmente *Paspalum paniculatum*, *Andropogon bicornis*, *Paspalum urvillei* e *Setaria geniculata*, foi feita a aplicação do herbicida Round-up no dia 22/05/92, época de implantação do experimento. Já para a erradicação de invasoras de folhas largas - principalmente *Rumex* sp. - foi aplicado o herbicida Tordon no dia 15/12/92, por ocasião do cultivo de verão.

As colheitas, a partir de outubro de 1992, foram realizadas em intervalos de tempo que variaram de 3 a 4 meses, sendo as plantas cortadas com roçadeira manual motorizada cerca de 2 cm acima do nível do solo. Dependendo do tratamento a parte aérea foi exportada ou distribuída uniformemente sobre o solo, com a seqüência das operações de plantio e colheita presente na tabela 10.

TABELA 10 - CRONOGRAMA DE MANEJO DAS FORRAGEIRAS

Consórcio	Inverno 1992		Verão 1992/93		Inverno 1993		
	Plantio	Colheita	Plantio	Colheita	Plantio	Colheita	Colheita
Consórcio perene 1	04/06	14/12	-	15/03	-	10/06	20/10
Consórcio perene 2	04/06	14/12	-	15/03	-	10/06	20/10
Consórcio anual	04/06	23/10	20/11	15/03	05/04	10/06	20/10

3.8. ANÁLISES DO SOLO

3.8.1. Análises químicas

Foram coletadas amostras de solo para caracterização química em junho de 1992 e em novembro de 1993, nas profundidades de 0 a 3 cm (P₁) e de 3 a 9 cm (P₂) usando-se um trado do tipo calador, sendo que em cada subparcela foram coletadas 20 amostras simples que constituíram 1 amostra composta. Para as recomendações de adubação foram feitas coletas de solo na profundidade de 0 a 15 cm antes de cada cultivo usando-se um trado holandês.

As análises químicas foram feitas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFPR, de acordo com IAPAR (1991). O pH foi determinado em solução de CaCl₂ relação 1:2,5 a 0,01 M por potenciometria; o Al foi extraído usando-se KCl 1 N na relação 1:10 e titulado com NaOH 0,025 N; H + Al foram determinados através da correlação entre o rebaixamento da solução tamponada e os teores tabelados de H + Al (método SMP); Ca + Mg foram extraídos com KCl 1 N na relação 1: 10 e determinados por complexometria com EDTA 0,0125 M; P e K foram extraídos pelo extrator de Mehlich (H₂SO₄ 0,025 N + HCl 0,05 N) na relação 1:10, sendo o P determinado por colorimetria e o K por leitura em fotômetro de chama; o carbono orgânico foi determinado através do método de Walkley & Black (WALKLEY & BLACK, 1934).

Para a interpretação dos resultados das análises efetuadas foram utilizadas as Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 1989), por apresentarem um maior detalhamento nas determinações dos teores de fósforo e potássio, principalmente.

3.8.2. Análises físicas

As amostras para as análises físicas foram coletadas em novembro de 1992 e em novembro de 1993, sendo que todas as análises físicas foram efetuadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFPR. As análises de densidade do solo foram feitas pelo método do anel volumétrico; densidade de partículas usando-se balão volumétrico e álcool etílico; microporosidade através do uso da mesa de tensão a 60 cm; porosidade de aeração pela diferença entre porosidade total e microporosidade, e porosidade total através da fórmula $Pt = 100 * [1 - (Ds/Dp)]$ de acordo com EMBRAPA (1979).

Pt = porosidade total

Ds = densidade do solo

Dp = densidade de partículas

A avaliação da resistência ao cisalhamento pelo penetrômetro de queda livre, modelo simplificado S - 300 SOLOTEST (figura 2), foi feita efetuando-se a penetração de um cone com peso de 90 gramas e ângulo de 30^0 , nas amostras de solo indeformadas, dentro de anéis volumétricos e equilibradas a um teor de umidade correspondente a 60 cm de tensão. Cada análise física foi feita em 2 amostras, caracterizando 2 repetições por subparcela, sendo que na avaliação de resistência ao

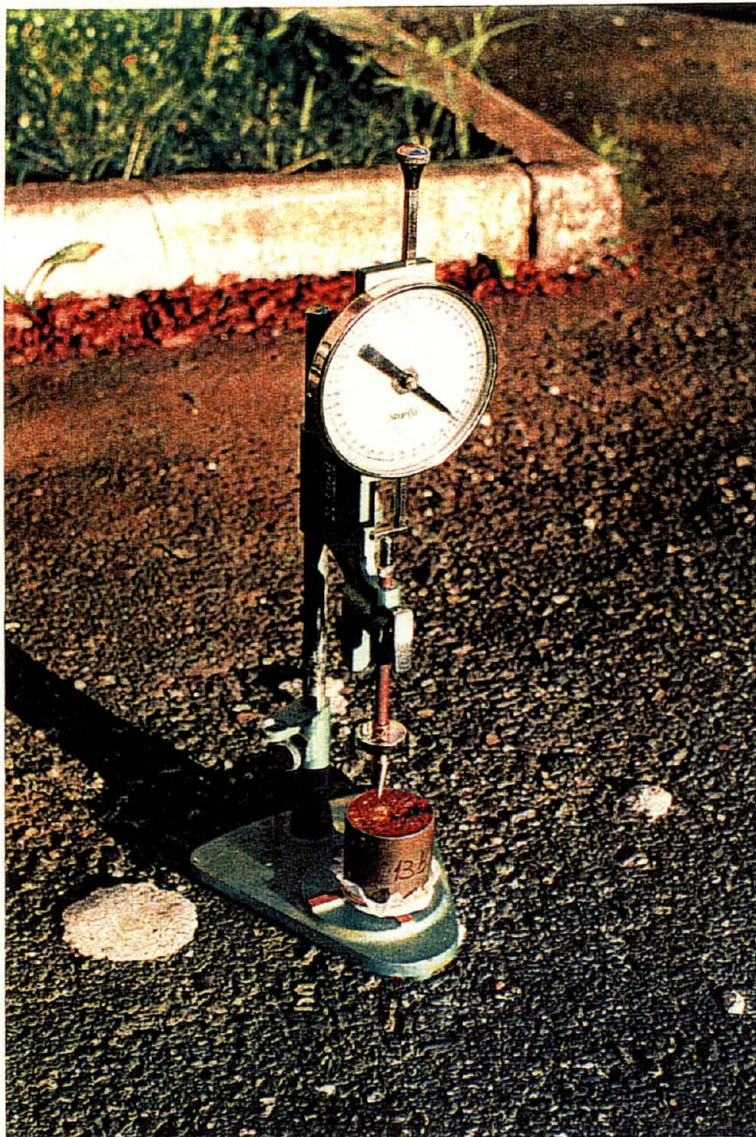
cisalhamento foram feitas 5 determinações em cada uma dessas repetições, sendo os resultados expressos como médias de 10 repetições.

Através dos dados obtidos com o penetrômetro, foi calculada a avaliação da resistência do solo ao cisalhamento através da fórmula proposta por HANSBO (1957).

$$T_f = \frac{KQ}{h^2} * 9,81$$

- T_f = resistência ao cisalhamento (KPa)
 K = fator de proporcionalidade constante (1)
 Q = peso do cone + haste do penetrômetro (tonelada)
 h = penetração (metro)

FIGURA 2. PENETRÔMETRO DE QUEDA LIVRE UTILIZADO NAS DETERMINAÇÕES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.



3.9. ANÁLISES DAS FORRAGEIRAS

3.9.1. Produção de matéria seca

Por ocasião das colheitas todo o material cortado foi pesado usando-se uma balança de gancho manual, sendo que uma amostra do material colhido foi pesado e levado a estufa a 60 °C até peso constante para determinação da percentagem de matéria seca. Foi utilizada uma bordadura de 0,90 m nas subparcelas, restando uma área útil de 49,09 m² por subparcela.

3.9.2. Composição botânica

Utilizou-se o programa computacional para análise de pastagens denominado Botanal (TOTHILL et al., 1978), através do qual se estimou a percentagem de participação de cada espécie na composição botânica e a percentagem de solo descoberto de cada tratamento por ocasião de cada colheita.

3.10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F e ao teste de Tukey para comparação de médias de Tukey, utilizando-se para tal o programa SANEST - Sistema de Análises Estatísticas.

3.11. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Para a determinação das equações de regressão entre densidade do solo e resistência ao cisalhamento utilizou-se o Programa Computacional para Ajuste de Equações em Dados Experimentais (ZULLO Jr. & ARRUDA, 1986).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. AVALIAÇÃO DAS FORRAGEIRAS

4.1.1. Composição botânica

Observando a tabela 11 pode-se avaliar a contribuição de cada espécie nas diferentes épocas de corte da parte aérea, obtida através do programa Botanal. Na primeira colheita do consórcio anual não foi feita esta avaliação pelo Botanal, no entanto pôde-se constatar visualmente uma predominância da ervilhaca-peluda em relação à aveia-preta, e uma participação mínima do trevo-vesiculoso.

TABELA 11 - COMPOSIÇÃO BOTÂNICA DOS CONSÓRCIOS DE FORRAGEIRAS (%).

Espécies	Colheita 2 14/12/92		Colheita 3 15/03/93			Colheita 4 10/06/93			Colheita 5 20/10/93		
	1	2	1	2	anual	1	2	anual	1	2	anual
Pensacola	39,0	4,0	49,6	-	-	61,3	1,0	0,3	25,0	0,3	1,3
Hemartria	0,6	16,3	-	56,0	-	-	84,7	-	-	34,0	7,3
Trevo branco	26,0	35,3	1,8	1,7	-	0,7	3,0	1,7	15,7	16,0	-
Cornichão	20,0	26,3	3,3	2,3	-	0,7	0,3	-	0,3	1,7	-
Guandu	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-
Sorgo	-	-	-	-	12,7	-	-	12,0	-	-	-
Aveia-preta	-	-	-	-	-	-	-	60,7	-	-	1,7
Ervilhaca	-	-	-	-	-	0,3	0,3	15,7	6,3	4,0	15,7
Trevo-vesiculoso	-	-	-	-	-	-	-	3,3	-	-	18,3
Azevém	-	2,6	-	-	-	-	-	-	26,7	32,0	41,0
Outras gramíneas	11,9	2,0	45,3	40,0	84,7	25,3	7,7	3,0	3,7	3,7	2,0
Leguminosas	0,9	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inços	1,6	5,6	-	-	-	11,7	3,0	3,3	22,3	8,3	12,7

Como pode ser observado na segunda colheita a pensacola foi a espécie dominante no consórcio perene 1, o que não aconteceu com a hemartria no consórcio perene 2, devido ao fato do seu plantio ter sido feito posteriormente à pensacola, que foi semeada por LUCCHESI (1988). Já na terceira colheita essas duas espécies passam a ser

dominantes, porém a população de outras gramíneas (*Paspalum paniculatum*, *Andropogon bicornis*, *Paspalum urvillei* e *Setaria geniculata*) aumentou, provavelmente, pela maior eficiência na competição com o trevo-branco e com o cornichão, espécies de melhor desempenho no inverno. No consórcio anual a predominância foi de outras gramíneas, visto que por ocasião da semeadura e do estabelecimento do sorgo-forrageiro e do guandu houve ocorrência de déficit hídrico (apêndice 1).

Na quarta colheita as espécies dominantes nos consórcios perenes 1 e 2 foram a pensacola e a hemartria, respectivamente. As leguminosas desses consórcios não conseguiram se recuperar da competição exercida pelas gramíneas. No entanto, no consórcio anual as espécies semeadas dominaram, juntamente com o sorgo-forrageiro que rebrotou após a terceira colheita.

A quinta colheita caracterizou-se por uma maior ocorrência de azevém em todos os consórcios. Esta gramínea havia sido semeada anteriormente por LUCCHESI (1988) e pelo fato de ser uma espécie agressiva apresenta a tendência de ir tornando-se dominante nesta época do ano (primavera).

Nos consórcios perenes nota-se que o trevo-branco foi mais eficiente do que o cornichão em recuperar a sua população, sendo que no consórcio anual o trevo-vesiculoso apresentou um melhor desempenho em relação ao cultivo de inverno anterior. A aveia-preta proporcionou uma menor contribuição em relação à quarta colheita, sendo que isto pode ter ocorrido porque a aveia apresentou uma fraca rebrota após o corte anterior.

A diferença no rendimento final das leguminosas perenes (trevo-branco e cornichão) pode ser explicada pelas diferenças morfofisiológicas existentes entre ambas as espécies. Segundo COSTA (1992) apesar do trevo-branco ser mais exigente em pH do

solo do que o cornichão, exigindo valores ótimos próximos de 6.0 a 6.5, o cornichão é uma espécie que não tolera o sombreamento por espécies de porte mais alto, além de ter um crescimento inicial lento, o que reduz a sua competitividade. Já o trevo-branco além de ser mais tolerante ao sombreamento, é uma espécie mais agressiva e de hábito estolonífero, o que lhe confere uma maior capacidade de rebrotar após os cortes.

4.1.2. Produção de matéria seca

As adubações proporcionaram diferentes produtividades para os consórcios de forrageiras, sendo que a adubação química + esterco foi a que atingiu o maior valor. No entanto, a adubação química + esterco só diferiu significativamente da adubação química, conforme pode ser observado na tabela 12.

TABELA 12 - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA POR ADUBAÇÃO.

Adubação	Colheita	Colheita	Colheita	Colheita	Colheita	MS total
	1*	2**	3***	4***	5***	
	23/10/92	14/12/92	15/03/93	10/06/93	20/10/93	
	Kg matéria seca / ha					
Química + palhada	4.038,09 a	1.534,17 a	7.876,68 a	3.412,52 A	3.986,46 a	17.644,46 ab
Química + esterco	4.567,31 a	1.769,83 a	11.270,35 a	3.494,22 A	4.784,21 a	22.251,11 a
Química	3.239,14 a	1.751,97 a	6.768,13 a	1.785,65 B	3.099,06 b	13.900,53 b

médias nas colunas seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5%, e maiúsculas a 1% pelo teste Tukey. * consórcio 3 (4 rep.) ** consórcios 1 e 2 (8 rep.) *** consórcios 1, 2 e 3 (12 rep.)

Outro ponto a ser observado é que tanto a adubação química + palhada quanto a adubação química + esterco só apresentaram diferenças em relação à adubação química, nas produtividades a partir da quarta colheita, o que pode ser atribuído a uma maior disponibilidade de nutrientes proporcionada pelo esterco e pela palhada a partir desta época, sendo que esta última pode ter contribuído com uma maior retenção de água no solo, através de um acúmulo gradativo de material na superfície.

A produção de matéria seca total proporcionada pelas adubações foi superior às obtidas por LUCCHESI (1988), devido a um melhor nível de fertilidade em que se encontra a área experimental atualmente, e ao manejo efetuado com intervalos de corte maiores. Com relação aos consórcios, estes não diferiram na produção de matéria seca total, no entanto nas colheitas 2, 3 e 4 apresentaram diferenças entre si (Tabela 13).

TABELA 13 - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA POR CONSÓRCIO.

Consórcio	Colheita 1*	Colheita 2**	Colheita 3***	Colheita 4***	Colheita 5***	MS total
	23/10/92	14/12/92	15/03/93	10/06/93	20/10/93	
Kg matéria seca / ha						
Consórcio perene 1	-	1.524,40 b	9.738,90 A	2.225,90 b	4.224,52 a	17.713,72 a
Consórcio perene 2	-	1.846,26 a	10.019,47A	3.418,78 a	3.822,87 a	19.107,38 a
Consórcio anual	3.948,18	-	6.156,79 B	3.047,71 a	3.822,33 a	16.975,01 a

médias nas colunas seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5%, e maiúscula a 1% pelo teste Tukey. * consórcio 3 (4 rep.) ** consórcios 1 e 2 (8 rep.) ***consórcios 1, 2 e 3 (12 rep.)

Na segunda colheita pode-se notar a maior produção do consórcio perene 2 (hematria + trevo-branco + cornichão), o que demonstra maior eficiência desse consórcio, visto que foi implantado posteriormente ao consórcio perene 1 (pensacola + trevo-branco + cornichão), já implantado no experimento de LUCCHESI (1988), sendo feita somente uma ressemeadura para este trabalho.

O consórcio anual (verão: guandu + sorgo-forrageiro) apresentou a menor produção na terceira colheita, o que pode ser explicado pelo baixo stand proporcionado por estas culturas, devido às baixas precipitações ocorridas nos meses de novembro e de dezembro de 1992, época do estabelecimento das espécies plantadas. Como essas espécies apresentaram um baixo stand, contribuindo com cerca de 15,4 % na composição botânica do tratamento, a produção de matéria seca efetiva do sorgo-

forageiro e do guandu foi de 948,14 kg/ha, sendo considerada baixa quando comparada com aquelas obtidas por MELO (1994).

A menor produtividade do consórcio perene 1 na quarta colheita ocorreu pelo fato da espécie dominante neste consórcio ser uma espécie de verão (pensacola), sendo a temperatura o fator limitante para o desenvolvimento desta espécie. No entanto a espécie dominante do consórcio perene 2 (hemartria) também é uma espécie de verão, parecendo ser mais tolerante às baixas temperaturas, proporcionando rendimento semelhante ao consórcio anual de inverno (aveia-preta + ervilhaca + trevo-vesiculososo).

Para fins de comparação com outros trabalhos são citados na tabela 14 rendimentos das espécies que mais se destacaram neste experimento. Conforme pode ser observado, a hemartria apresentou rendimento semelhante ao obtido em solo não degradado ou com menor grau de degradação, mostrando grande potencial desta espécie para fins de produção de forragem neste tipo de solo.

O consórcio envolvendo a pensacola reflete na sua produção a melhoria de fertilidade do solo, visto que o resultado de LUCCHESI (1988) foi obtido neste mesmo solo nos seus estágios iniciais de recuperação. Já o consórcio anual de inverno não proporcionou uma produção satisfatória de matéria seca, devido à baixa população de plantas existente principalmente na quinta colheita.

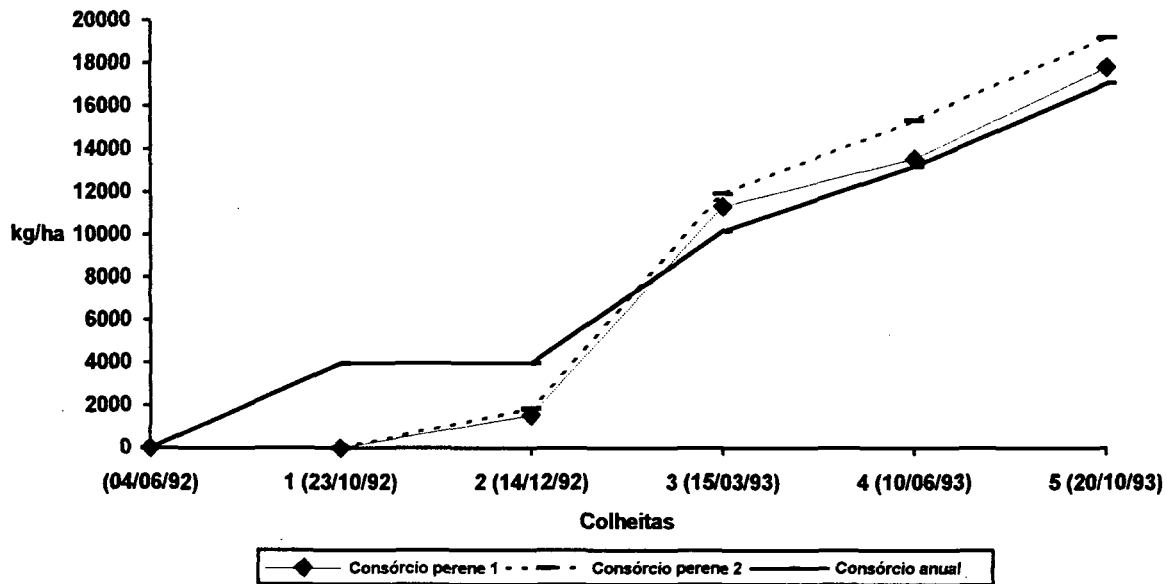
TABELA 14 - RENDIMENTO EFETIVO DE MATÉRIA SECA DAS FORRAGEIRAS.

Forrageira	Rendimento efetivo (kg/ha)	Rendimento (kg/ha)	Fonte
Aveia-preta + Ervilhaca-peluda	3.843,00	7.500,00	MONEGAT (1991)
Pensacola + Trevo-branco + Cornichão	9.494,00	4.120,00	LUCCHESI (1988)
Hemartria	10.112,00	7.386,00	POSTIGLIONI (1983)

Outra observação importante é o fato do consórcio anual (inverno: aveia-preta + ervilhaca + trevo-vesiculososo) ter proporcionado uma cobertura de solo mais rápida,

tendo sido colhido 52 dias antes dos demais consórcios, o que é interessante quando se pensa numa estratégia de recuperação de solos degradados (Figura 3).

FIGURA 3. PRODUÇÃO ACUMULADA DE MATÉRIA SECA DOS CONSÓRCIOS DE FORRAGEIRAS.



4.1.3. Cobertura do solo

Desde as primeiras colheitas pode-se notar uma eficiente cobertura do solo proporcionada pelas diferentes adubações e consórcios (Tabela 15). As diferenças entre as adubações aparecem a partir da quarta colheita, quando principalmente o efeito da palhada torna-se mais evidente. A pior cobertura de solo foi proporcionada pela adubação química, como conseqüência de uma menor produção de fitomassa aérea.

TABELA 15 - COBERTURA DO SOLO PELA VEGETAÇÃO OU PALHADA (%).

ADUBAÇÃO	Colheita 2	Colheita 3	Colheita 4	Colheita 5
	14/12/92	15/03/93	10/06/93	20/10/93
Química + palhada	94 a	99 a	99 A	99 a
Química + esterco	91 a	99 a	95 AB	97 ab
Química	92 a	99 a	90 B	93 b
CONSÓRCIO				
Consórcio perene 1	90 a	100 a	98 A	99 a
Consórcio perene 2	95 a	99 a	97 A	99 a
Consórcio anual	-	100 a	89 B	91 b

médias nas colunas seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5% e maiúscula a 1% pelo teste Tukey.

Com relação aos consórcios, o consórcio anual foi o que apresentou a maior área de solo desnudo, nas duas últimas colheitas. Isto é uma consequência do fato de ser um consórcio anual, replantado sucessivamente a um espaçamento de 50 cm entre linhas.

No entanto, mesmo o valor de cobertura de solo mais baixo encontrado (adubação química, colheita 4 : 89 %) proporciona uma boa proteção do solo contra processos erosivos. De acordo com BERTOL et al. (1987) uma cobertura de solo equivalente a 60 % da área total promove uma redução de 80 % nas perdas de solo por erosão.

4.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO

Os resultados das análises efetuadas nas amostras coletadas estão nas tabelas 16, 17, 18 e 19 a seguir, mostrados como médias de 12 repetições.

4.2.1. Propriedades químicas

TABELA 16 - ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1^a E 2^a COLETAS* (MÉDIAS DE 12 REP.).

ADUBAÇÃO	Coleta	pH	pH	Al^{3+}		$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	K^+	P	C	CTC pH 7,0	V
		CaCl_2	SMP	meq/100 cm ³			meq/100 cm ³	ppm	%	meq/100 cm ³	%	
QUÍMICA + PALHADA	1 ^a	5.2 A	6.1 A	0.04 a	4.7 B	9.3 A	0.42 B	10 B	2.52 a	14.4 a	67.29 A	
	2 ^a	4.9 B	5.8 B	0.14 a	5.9 A	8.3 B	0.52 A	20 A	2.43 a	14.8 b	59.65 B	
QUÍMICA + ESTERCO	1 ^a	5.1 A	6.0 A	0.00 B	5.0 B	8.6 a	0.36 a	8 B	2.55 a	14.0 A	64.02 A	
	2 ^a	4.8 B	5.6 B	0.21 A	6.6 A	8.5 a	0.34 a	19 A	2.68 a	15.4 B	57.02 B	
QUÍMICA	1 ^a	5.3 A	6.0 A	0.00 B	4.4 B	9.3 A	0.43 A	10 B	2.26 a	14.1 a	68.60 A	
	2 ^a	4.9 B	5.8 B	0.17 A	5.9 A	8.1 B	0.28 B	15 A	2.16 a	14.3 a	58.57 B	
CONSÓRCIO												
CONSÓRCIO PERENE 1	1 ^a	5.1 A	5.9 A	0.04 B	5.0 B	9.1 A	0.38 a	9 B	2.60 a	14.5 B	65.16 A	
	2 ^a	4.8 B	5.7 B	0.23 A	6.4 A	8.4 B	0.41 a	20 A	2.65 a	15.3 A	57.95 B	
CONSÓRCIO PERENE 2	1 ^a	5.2 A	6.1 A	0.00 B	4.6 B	9.0 A	0.40 a	9 B	2.46 a	14.0 B	67.05 A	
	2 ^a	4.9 B	5.7 B	0.16 A	6.1 A	8.2 B	0.39 a	17 A	2.36 a	14.7 A	58.49 B	
CONSÓRCIO ANUAL	1 ^a	5.2 A	6.1 A	0.00 b	4.5 B	9.1 A	0.43 A	9 B	2.28 a	14.1 b	67.70 A	
	2 ^a	4.9 B	5.8 B	0.12 a	6.0 A	8.2 B	0.35 B	17 A	2.25 a	14.5 a	58.79 B	

médias nas colunas da 1^a e 2^a coletas para cada tratamento, seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5% e maiúscula a 1% pelo teste Tukey.

* 1^a coleta: junho/92; 2^a coleta: novembro/93

TABELA 17 - ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1^a E 2^a COLETAS* (MÉDIAS DE 12 REP.)

ADUBAÇÃO	Coleta	pH	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P	C	CTC pH 7,0	V
		CaCl ₂	SMP	meq/100 cm ³			ppm	%	meq/100 cm ³	%	
QUÍMICA + PALHADA	1 ^a	5.4 A	6.3 A	0.00 b	4.1 B	8.8 A	0.27 B	6 b	1.28 a	13.1 a	68.97 A
	2 ^a	5.0 B	6.0 B	0.07 a	5.1 A	7.9 B	0.32 A	7 a	1.34 a	13.3 a	61.81 B
QUÍMICA + ESTERCO	1 ^a	5.3 A	6.1 A	0.07 B	4.5 B	8.2 A	0.24 a	5 b	1.33 a	13.0 a	65.42 A
	2 ^a	4.9 B	5.9 B	0.18 A	5.5 A	7.6 B	0.21 b	6 a	1.40 a	13.3 a	58.71 B
QUÍMICA	1 ^a	5.5 A	6.3 A	0.00 a	3.9 B	8.9 A	0.29 A	5 a	1.23 a	13.2 a	70.00 A
	2 ^a	5.1 B	6.0 B	0.03 a	4.8 A	8.0 B	0.19 B	5 a	1.09 a	12.9 a	63.16 B
CONSÓRCIO											
CONSÓRCIO PERENE 1	1 ^a	5.4 A	6.2 A	0.07 B	4.3 B	8.4 A	0.26 a	3 B	1.33 a	13.0 a	66.75 A
	2 ^a	4.9 B	5.9 B	0.17 A	5.2 A	7.7 B	0.25 a	5 A	1.34 a	13.1 a	60.55 B
CONSÓRCIO PERENE 2	1 ^a	5.4 A	6.2 A	0.00 b	4.1 B	8.8 A	0.26 a	6 a	1.35 a	13.2 a	68.86 A
	2 ^a	5.0 B	5.9 B	0.09 a	5.2 A	7.8 B	0.26 a	7 a	1.31 a	13.3 a	60.78 B
CONSÓRCIO ANUAL	1 ^a	5.4 A	6.3 A	0.00 a	4.0 B	8.7 A	0.28 A	6 a	1.17 a	13.0 a	68.78 A
	2 ^a	5.0 B	6.0 B	0.03 a	4.9 A	8.0 B	0.21 B	6 a	1.18 a	13.1 a	62.36 B

médias nas colunas da 1^a e 2^a coletas para cada tratamento, seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5% e maiúscula a 1% pelo teste Tukey

* 1^a coleta: junho/92; 2^a coleta: novembro/93

4.2.1.1. pH em CaCl₂

O pH determinado em solução aquosa de CaCl₂ (1:2,5) diminuiu em todas as formas de adubação e em todos os tipos de consórcio, nas duas profundidades de coleta, sendo que esta acidificação do solo provavelmente foi ocasionada pela perda do poder neutralizante do calcário (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 1989; SANTOS et al., 1989). O calcário "filler" aplicado para o experimento de LUCCHESI (1988) proporcionou valores de pH em torno de 6,1 em 1986 (Apêndice 16), no entanto verifica-se uma queda gradual ao longo do tempo.

Outras hipóteses para explicar tal fenômeno podem ser atribuídas à remoção das bases do complexo sortivo, à aplicação da adubação nitrogenada na forma de uréia (RAIJ, 1983; SÁ, 1993; CARVALHO et al., 1992; BLEVINS et al., 1983) ou mesmo à liberação de gases pela unidade industrial próxima a área experimental, visto que estes gases possuem na sua composição CO₂ e possivelmente compostos sulfurosos, que poderiam ocasionar chuvas ácidas.

RAIJ (1983) exemplifica como uma das causas de acidificação do solo a seguinte reação: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, ocorrendo preferencialmente em solos com pH em água acima de 5,2.

Um ponto a ser observado é que o pH na profundidade de 3 a 9 cm (P₂) sempre foi aparentemente maior do que na superfície, tanto no início quanto no final do experimento, o que demonstra uma maior intensidade dos processos acidificantes na camada superficial do solo (SÁ, 1993; BLEVINS et al., 1983).

4.2.1.2. Alumínio trocável e Acidez potencial (H + Al)

Os teores de alumínio aumentaram na maioria dos tratamentos, com exceção da adubação química + palhada na profundidade de 0 a 3 cm (P_1), da adubação química e do consórcio anual na P_2 , apresentando nestes casos somente tendências de aumento. Estes incrementos refletem a diminuição do pH do solo conforme discutido anteriormente, no entanto os valores finais não são considerados preocupantes em termos de toxicidade às plantas.

A concentração de H + Al aumentou em todos os tratamentos para as duas profundidades, resultado semelhante ao de SCHJONNING et al. (1994). Na P_1 o pH atingiu valores aparentes mais baixos, ocorrendo também maiores concentrações de H + Al, sendo que na P_2 as concentrações de H + Al foram menores, em comparação com a primeira camada.

4.2.1.3. Cálcio + Magnésio

Os teores de cálcio + magnésio se mantiveram constantes somente para a adubação química + esterco na P_1 , diminuindo nos demais tratamentos em todas as profundidades. Este resultado se deve à aplicação suplementar de esterco neste tratamento (HOLANDA et al., 1984) que adicionou um total de 128 kg/ha de cálcio e 108 kg/ha de magnésio. Entretanto, ao mesmo tempo em que esta suplementação foi suficiente na P_1 , na P_2 ela não foi, o que provavelmente demandará mais tempo para acontecer.

Apesar da diminuição dos teores destes nutrientes na maioria dos tratamentos, mesmo na P_2 estes são considerados altos ($> 5 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$) de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (1989).

4.2.1.4. Potássio

Para a dinâmica deste nutriente ocorre um comportamento diferenciado em função do tratamento aplicado. A adubação química + palhada se mostrou mais eficiente do que as demais, o que é comprovado pelo aumento dos teores de potássio nesta adubação nas duas profundidades estudadas, sendo este resultado concordante com BLEVINS et al. (1983).

Na adubação química + esterco, mesmo com a aplicação de 40 t/ha de esterco, o que resultou num aporte suplementar de 152 kg/ha de potássio, não foi observado um aumento na concentração deste elemento. Outra evidência da eficiência desta reciclagem promovida pela palhada foi a ocorrência de um déficit hídrico de 44,4 mm (IAPAR, 1994) no período compreendido entre a última colheita da parte aérea das plantas e a última coleta de amostras de solo, o que colaborou para reduzir a intensidade de lavagem do potássio da palhada.

Conforme já comentado, a adubação química + esterco manteve os teores de potássio na P₁ mas diminuiu na P₂, resultado da aplicação superficial do esterco. Para a adubação química houve uma diminuição nos teores nas duas profundidades, demonstrando que esta adubação não foi suficiente para manter a disponibilidade deste nutriente no solo, chegando a atingir níveis médios (0,15 a 0,20 meq/100 cm³) na P₂ (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 1989).

Com relação aos consórcios somente o consórcio anual diminuiu os teores de potássio nas duas profundidades estudadas, o que pode ser reflexo de uma extração contínua deste nutriente pelas sucessões de inverno de verão.

4.2.1.5. Fósforo

O fósforo extraível teve os seus teores aumentados entre as duas coletas na maioria dos tratamentos, com exceção da adubação química, do consórcio perene 2 e do anual, todos na P₂. Este aumento geral se deve às adubações realizadas, sendo que a adubação química não foi suficiente para aumentar a disponibilidade na P₂, tendo o seu efeito restrito à P₁.

Estas diferenças entre as adubações podem ser atribuídas à reciclagem do fósforo promovida pela palhada (adubação química + palhada) e às aplicações suplementares de esterco (adubação química + esterco), além de uma redução na fixação do fósforo pelos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio do solo, em consequência da maior presença de ácidos orgânicos provenientes da decomposição da palhada e do esterco nessas duas adubações (HUE, 1991).

No entanto, os aumentos nos teores de fósforo só podem ser considerados relevantes na P₁, já que as pequenas variações ocorridas na P₂ (de 1 a 2 ppm) são insignificantes em se tratando de melhorias na fertilidade do solo.

A concentração do fósforo na superfície devido à sua baixa mobilidade no perfil, proporcionou teores altos (> 8 ppm) na P₁ e teores médios (4,1 a 6 ppm) na P₂ (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 1989), sendo que resultados semelhantes em termos de acumulação superficial de fósforo e de potássio foram alcançados por BLEVINS et al. (1983), MUZZILI (1983), SÁ (1993) e MELO (1994).

4.2.1.6. Carbono orgânico

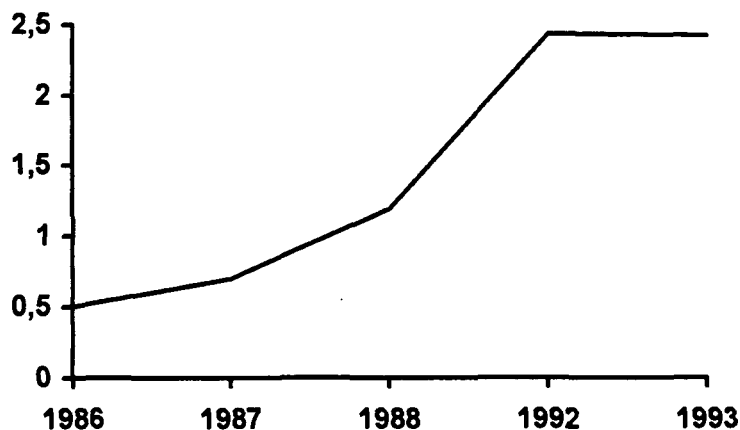
O teores de carbono orgânico não variaram no decorrer do experimento apresentando somente tendências de aumento ou queda nas diferentes profundidades, o que pode ser demonstração de que o sistema começa a atingir um equilíbrio entre adição e mineralização de materiais orgânicos.

Este resultado é similar aos obtidos por LUCCHESI (1988) e MELO (1994) que também não conseguiram aumentos significativos nos teores de carbono orgânico, utilizando forrageiras na recuperação de solos degradados. Por outro lado, analisando-se as diferenças entre os tratamentos (Apêndices 11 e 12) fica evidente o potencial da adubação química + esterco em aumentar os teores de carbono orgânico do solo, o que é consequência da maior produção de matéria seca e do aporte de esterco neste tratamento.

Sendo assim, tomando-se o teor de carbono orgânico do solo por ocasião do início dos trabalhos de recuperação (LUCCHESI, 1988) - que era de 0,5 % - nota-se uma evolução, mas ainda não atingindo o teor original de 4,84 %, conforme levantamento realizado pela EMBRAPA (1984) (Figura 4).

Multiplicando os valores de carbono por 1,72 obtém-se os teores de matéria orgânica, que de acordo com COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (1989) são considerados médios para P₁ (3,21 a 3,71 %) e baixos para P₂ (1,87 a 2,41 %).

FIGURA 4. EVOLUÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.



Fonte: LUCCHESI (1988), SIVIERO et al. (1988).

4.2.1.7. CTC a pH 7,0

As diferenças verificadas apesar de estatisticamente significativas, não refletem necessariamente mudanças na dinâmica da capacidade de troca catiônica do solo, devido às pequenas amplitudes de variação observadas. Na P_1 a CTC a pH 7,0 aumentou em todos os tratamentos com exceção da adubação química, sendo que na P_2 este parâmetro não apresentou diferenças.

Neste experimento os teores de carbono orgânico não apresentaram variações e as alterações observadas na CTC a pH 7,0 foram muito pequenas. Estes resultados são concordantes com TESTA et al. (1992) que encontraram uma correlação muito significativa entre o aumento da CTC (efetiva e a pH 7,0) e o aumento nos teores de carbono orgânico.

Conforme pode ser visto em SCHJONNING et al. (1994), mesmo a CTC a pH 7,0 aumentando na maioria dos tratamentos, na P_1 houve uma queda generalizada da saturação

de bases (V %), devido à lixiviação e à extração dos nutrientes promovida pelas forrageiras.

4.2.1.8. Análise geral

Os diferentes tratamentos não se diferenciaram com relação às características de acidez do solo e, conseqüentemente, com relação ao conteúdo de H + Al. Se por um lado as diferentes adubações não foram suficientes neste sentido, houveram diferenças com relação ao comportamento das bases trocáveis e do fósforo.

Apesar dos teores de carbono orgânico não terem variado durante este experimento, pode-se notar diferenças entre adubações e consórcios, comprovando-se o potencial de recuperação de solos degradados por parte das adubações e das plantas forrageiras utilizadas, principalmente quando se observa o teor de carbono orgânico por ocasião do início dos trabalhos de recuperação deste solo em 1986.

As adubações química + palhada e química + esterco apresentaram maior eficiência com relação aos teores de potássio e de fósforo, sendo que a adubação química foi a de pior desempenho neste sentido. Nota-se a ocorrência de valores mais elevados na P₁, principalmente para o fósforo que possui reduzida mobilidade no perfil do solo.

Para os totais de cálcio + magnésio destaca-se a adubação química + esterco que manteve o suprimento destes na P₁ em quantidades equivalentes aos extraídos pelas forrageiras. A adubação química + palhada não conseguiu efetivar uma reciclagem satisfatória destes nutrientes no período de tempo estudado.

Com relação aos consórcios, o consórcio anual apresentou o pior desempenho, proporcionando a diminuição dos teores de potássio nas duas profundidades.

Provavelmente isto ocorreu devido à extração contínua deste elemento pelas sucessões de inverno e de verão das forrageiras anuais. Nas demais propriedades os consórcios não apresentaram grandes diferenças entre si.

Analisando-se as interações entre adubações e consórcios (Apêndices 6 e 15) pode-se concluir que o melhor tratamento com relação à fertilidade química do solo foi a adubação química + palhada / consórcio perene 2 (hemartria + trevo-branco + cornichão), devido aos melhores resultados proporcionados principalmente com relação aos teores de potássio na P_1 e na P_2 . Por outro lado, a adubação química / consórcio anual foi o tratamento de pior desempenho.

Apesar de ter ocorrido modificações nos teores de alumínio, de $H + Al$, de cálcio + magnésio, de potássio e na CTC a pH 7,0, tendo estas importância com relação às variações detectadas na análise estatística, não existem diferenças no aspecto técnico e prático relacionado ao manejo da fertilidade deste solo.

4.2.2. Propriedades físicas

Conforme procedimento executado para as análises químicas, as propriedades físicas também serão discutidas em separado, com exceção da porosidade total, da porosidade de aeração e da microporosidade, que possuem aspectos em comum, facilitando assim a abordagem.

TABELA 18 - ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1^A E 2^A COLETAS*. (MÉDIAS DE 12 REP.)

ADUBAÇÃO	Coleta	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade de partículas (g/cm ³)	Densidade do solo (g/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	1 ^a	44.06 a	2.50 a	0.80 A	67.88 B	47.60 B	20.28 A
	2 ^a	29.12 a	2.48 a	0.69 B	72.43 A	57.96 A	14.47 B
QUÍMICA + ESTERCO	1 ^a	63.13 a	2.54 A	0.84 A	67.11 B	47.34 B	19.77 A
	2 ^a	38.99 a	2.38 B	0.70 B	71.49 A	56.94 A	14.55 B
QUÍMICA	1 ^a	43.07 a	2.55 a	0.79 a	68.61 B	49.20 B	19.41 A
	2 ^a	57.95 a	2.50 b	0.72 b	71.18 A	56.12 A	15.06 B
CONSÓRCIO							
CONSÓRCIO PERENE 1	1 ^a	33.32 a	2.55 A	0.82 A	67.97 B	47.10 B	20.86 A
	2 ^a	37.85 a	2.46 B	0.69 B	72.12 A	57.67 A	14.45 B
CONSÓRCIO PERENE 2	1 ^a	34.23 a	2.52 A	0.80 A	68.39 B	47.47 B	20.92 A
	2 ^a	48.01 a	2.46 B	0.71 B	71.62 A	56.23 A	15.09 B
CONSÓRCIO ANUAL	1 ^a	82.71 A	2.52 A	0.81 A	67.24 B	49.56 B	17.68 A
	2 ^a	40.20 B	2.45 B	0.70 B	71.36 A	56.81 A	14.54 B

médias nas colunas da 1^a e 2^a coletas para cada tratamento, seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5% e maiúscula a 1% pelo teste Tukey.

* 1^a coleta: novembro/92; 2^a coleta: novembro/93

TABELA 19 - ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1^a E 2^a COLETAS*. (MÉDIAS DE 12 REP.)

ADUBAÇÃO	Coleta	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade de partículas (gr/cm ³)	Densidade do solo (gr/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	1 ^a	63.46 a	2.63 a	1.09 A	58.74 B	33.82 B	24.92 A
	2 ^a	50.37 a	2.64 a	0.99 B	62.60 A	41.81 A	20.80 B
QUÍMICA + ESTERCO	1 ^a	90.75 A	2.63 a	1.14 A	56.69 B	31.91 B	24.79 A
	2 ^a	45.78 B	2.63 a	0.98 B	62.35 A	42.00 A	20.32 B
QUÍMICA	1 ^a	59.01 a	2.65 a	1.09 A	58.71 b	33.55 B	25.16 A
	2 ^a	44.09 a	2.65 a	0.99 B	62.38 a	42.15 A	20.24 B
CONSÓRCIO							
CONSÓRCIO PERENE 1	1 ^a	47.83 a	2.65 a	1.10 A	58.45 B	32.29 B	26.17 A
	2 ^a	46.81 a	2.65 a	0.97 B	63.33 A	43.15 A	20.18 B
CONSÓRCIO PERENE 2	1 ^a	56.99 a	2.64 a	1.12 A	57.57 B	31.89 B	25.68 A
	2 ^a	43.83 a	2.64 a	1.00 B	61.87 A	40.79 A	21.04 B
CONSÓRCIO ANUAL	1 ^a	108.40 A	2.62 a	1.10 A	58.12 B	35.09 B	23.02 A
	2 ^a	49.61 B	2.62 a	0.99 B	62.14 A	42.01 A	20.14 B

médias nas colunas da 1^a e 2^a coletas para cada tratamento, seguidas da mesma letra minúscula não diferem a 5% e maiúscula a 1% pelo teste Tukey.

* 1^a coleta: novembro/92; 2^a coleta: novembro/93

4.2.2.1. Densidade de partículas

A densidade de partículas diminuiu na maioria dos tratamentos na P_1 , sendo que a adubação que apresentou a maior variação foi a adubação química + esterco (Apêndice 13), concordando com os resultados de SCHJONNING et al. (1994), o que deve ter sido causado pela maior produção de material vegetal e pela adição do esterco, acarretando num maior aporte de matéria orgânica nestes tratamentos.

Na profundidade P_2 não houveram variações, o que pode ser explicado pelos menores teores de matéria orgânica por unidade de volume de solo, fazendo com que prevaleça a influência da parte mineral. Em se tratando de solos intemperizados, com prevaecimento de mineralogia oxidico-caulinítica, como é o caso deste estudo, os minerais presentes no perfil possuem densidade em torno de $2,65 \text{ g/cm}^3$ (BRADY, 1989), o que justifica este resultado.

4.2.2.2. Densidade do solo

A densidade do solo diminuiu em todos os tratamentos nas duas profundidades estudadas, contribuindo para um melhor arejamento e infiltração de água no solo. Os valores encontrados na primeira profundidade (0.69 a 0.72 g/cm^3) são inferiores aos encontrados por ELTZ et al. (1989) (0.88 a 0.97 g/cm^3), provavelmente pela presença de um grande número de raízes nesta profundidade.

4.2.2.3. Porosidade total, porosidade de aeração e microporosidade

Tanto a porosidade total quanto a de aeração aumentaram em todos os tratamentos nas profundidades P_1 e P_2 , com reflexos na diminuição da densidade do solo, sendo este

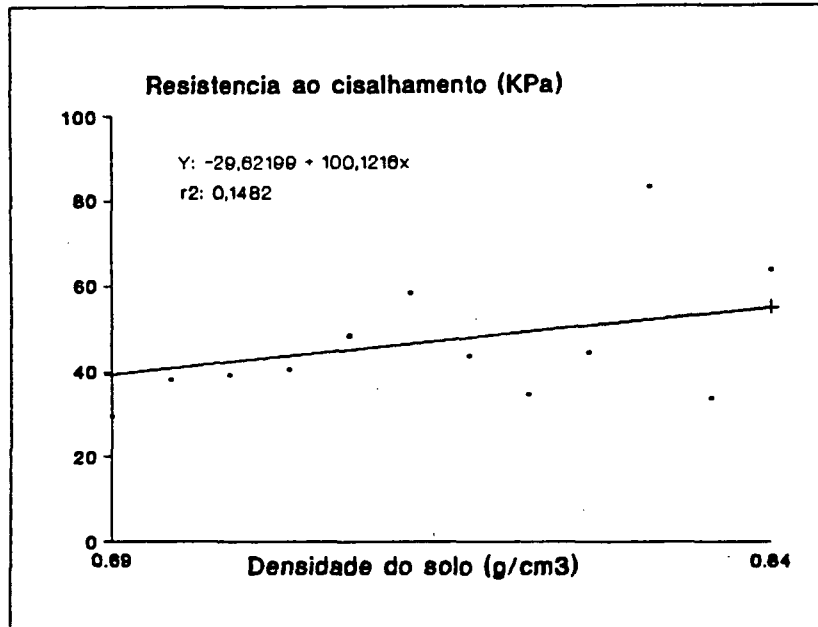
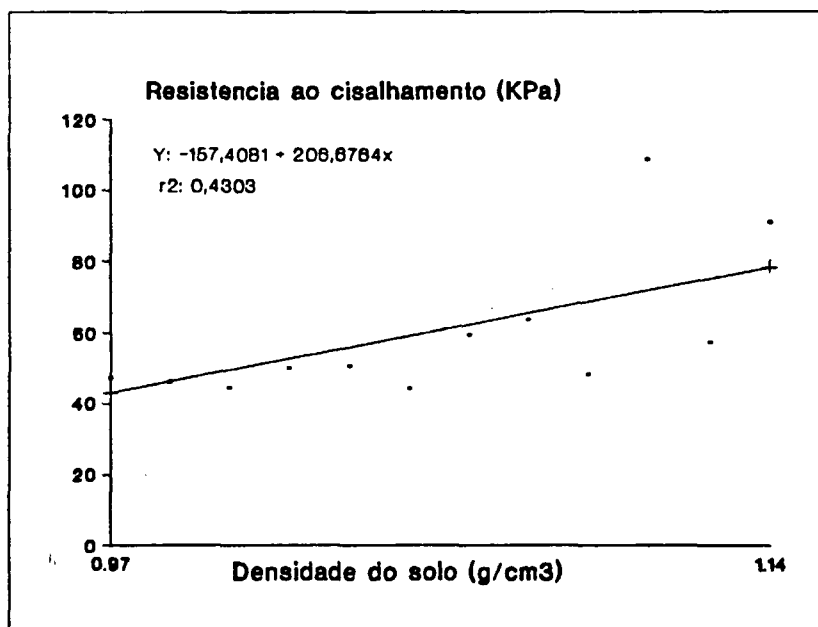
resultado concordante com PINZON & AMESQUITA (1991). As menores variações na densidade do solo e na porosidade total se deram na adubação química na P₁, o que é explicado pela menor produção de matéria seca deste tratamento, traduzindo-se numa menor produção de raízes e de matéria orgânica, o que resultou em uma menor estruturação do solo quando comparado aos demais tratamentos.

A microporosidade diminuiu em todos os tratamentos, sendo que um reflexo dessa diminuição poderia ser um aumento na condutividade hidráulica e uma diminuição na retenção de água (SILVA et al., 1986).

4.2.2.4. Resistência ao cisalhamento

A resistência do solo ao cisalhamento, medida através do penetrômetro de queda livre, pode ser entendida como sendo a resistência do solo à desagregação, provocada pelo impacto da gota d'água (NEARING & BRADFORD, 1985). Embora a estabilidade dos agregados não tenha sido medida, foi feita uma correlação entre os valores de resistência ao cisalhamento e a densidade do solo, nas duas profundidades (Figura 5).

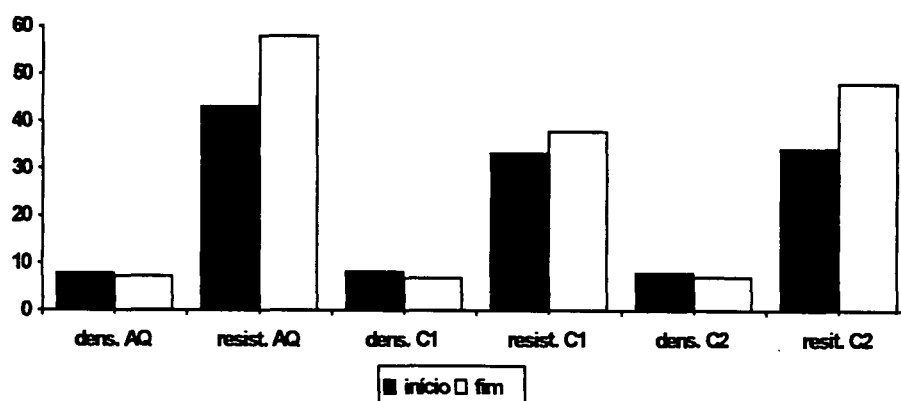
FIGURA 5. DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM (P₁) E NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM (P₂).

P₁P₂

Através da inclinação das retas pode-se concluir que à medida em que aumenta a penetração do cone no solo, indicando uma diminuição da resistência ao cisalhamento, diminui a densidade do solo, o que corrobora os resultados de SCHJONNING et al. (1994). Embora a correlação tenha sido positiva, os valores dos coeficientes foram baixos, principalmente na P_1 (r^2 : 0,1482), devido a dificuldade de penetração do cone pelo grande número de raízes existentes nesta profundidade, acarretando em erros de determinação.

Este fato fica mais claro quando se observa que a resistência ao cisalhamento apresentou tendências de aumento na adubação química e nos consórcios perenes na P_1 , sendo que a densidade do solo diminuiu estatisticamente em todos os tratamentos nas duas profundidades (figura 6).

FIGURA 6 . EVOLUÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO* E DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARA ADUBAÇÃO QUÍMICA (AQ), CONSÓRCIOS PERENES 1 E 2 (C1 E C2) NA PROF. DE 0 A 3 CM (P1).



* Os valores de densidade do solo foram multiplicados por 10 para melhor visualização no gráfico.

Além disso, por ocasião da realização dessas análises pode-se notar grande variabilidade de resultados (coeficientes de variação 65,041 % e 57,837 % para P_1 e P_2 - apêndices 13 e 14), devido à presença de pequenos fragmentos de rocha ou material vegetal na subsuperfície, que alteravam os resultados, ocasionando em erro de difícil controle. Portanto, apesar de ter havido uma tendência geral de diminuição da resistência ao cisalhamento, para este tipo de situação alguns dados obtidos parecem não ser totalmente confiáveis.

4.2.2.5. Análise geral

De um modo geral a densidade e a porosidade do solo sofreram melhoras significativas, considerando-se o curto período de tempo (12 meses) em que o estudo foi conduzido, comprovando o potencial dessas espécies forrageiras e das adubações na melhoria das condições físicas do solo.

Essas mudanças acarretarão numa maior infiltração de água no solo e numa redução da compactação, decorrente do trânsito de máquinas por ocasião da reconstituição deste solo após a mineração.

As mudanças menos expressivas se deram na adubação química para a densidade do solo e para a porosidade total, o que é justificado pela menor produção de fitomassa aérea e radicular deste tratamento. Embora tenham ocorrido variações na porosidade total e na porosidade de aeração, em termos práticos estas alterações assumem menor importância do que em termos estatísticos, visto que os valores se modificaram muito pouco.

Vários autores relacionam a agregação e a estrutura do solo como reflexo do teor de matéria orgânica (ELTZ et al., 1989; RAIJ, 1983; BRADY, 1989), no entanto não se

conseguiu explicar a melhoria das condições físicas do solo por esta variante, visto que os teores de matéria orgânica não variaram durante o experimento.

Por outro lado TISDALL et al. (1978), PIKUL & ZUZEL (1994), CARTER et al. (1994) e BAVER et al. (1973) justificam a melhoria da estrutura do solo também pelo efeito do sistema radicular, na forma de pressão mecânica, desidratação e contração do solo e secreção de substâncias (moléculas orgânicas, polissacarídeos), sendo que estas substâncias com poder de agregação podem não ter sido detectadas pelo método de análise química empregado (LUCCHESI, 1988).

Com relação às modificações na resistência ao cisalhamento, devido aos altos coeficientes de variação e ao baixo coeficiente de correlação encontrado na P_1 , levanta-se uma hipótese de que a metodologia utilizada não é adequada para este caso.

5. CONCLUSÕES

5.1. Conclusão geral

a) Considerando-se que só houveram interações significativas entre adubações e consórcios para as variações nos teores de fósforo e potássio, conclui-se que a adubação química + palhada / consórcio perene 2 (hemartria + trevo-branco + cornichão) foi o melhor tratamento na recuperação deste tipo de solo.

5.2. Conclusões parciais

5.2.1. Avaliação das forrageiras

a) A adubação química + esterco foi a que mais se destacou com relação à produção de matéria seca, sem no entanto diferir estatisticamente da adubação química + palhada. Com relação aos consórcios, estes não diferiram entre si com relação à produção de matéria seca total.

b) As espécies que mais se destacaram em termos de produtividade e dominância na composição botânica, foram a pensacola (consórcio perene 1), a hemartria (consórcio perene 2), a aveia-preta e a ervilhaca-peluda (consórcio anual), sendo que as demais leguminosas não lograram sucesso provavelmente devido à competição com outras espécies invasoras.

c) Todos os tratamentos proporcionaram excelentes coberturas de solo, colaborando para diminuir o risco do desencadeamento de processos erosivos. O pior desempenho foi da adubação química e do consórcio anual.

5.2.2. Avaliação das propriedades químicas do solo

a) O pH do solo diminuiu e os teores de H + Al aumentaram em todos os tratamentos ao longo do tempo. Pode-se encarar este fenômeno como sendo um reflexo principalmente da perda do poder neutralizante do calcário, além da diminuição da saturação de bases no complexo sortivo do solo e da aplicação superficial de uréia.

Estes resultados demonstram que na estratégia de recuperação de um solo degradado, o comportamento do solo deve ser avaliado ao longo do tempo, efetuando-se sempre que necessário a reposição dos nutrientes através de adubações de manutenção e aplicações de corretivos.

b) Os teores de carbono orgânico não variaram durante este experimento, o que sugere que com o passar do tempo as variações se tornam menos intensas, tomando-se como base os teores iniciais do solo em 1986. No entanto ficou evidenciada uma superioridade da adubação química + esterco em aumentar os teores de carbono orgânico do solo.

c) A adubação química + palhada se mostrou mais eficiente com relação ao aumento dos teores de potássio no solo. Já com relação aos teores de fósforo, a adubação química + palhada e a adubação química + esterco provocaram os maiores aumentos nos teores deste elemento no solo, com visível acúmulo na superfície do solo.

d) A adubação química + esterco foi o único tratamento a manter os teores de cálcio + magnésio, evitando a sua redução na P₁.

e) Foi observado um ligeiro incremento na CTC a pH 7,0 na maioria dos tratamentos na P₁.

5.2.3. Avaliação das propriedades físicas do solo

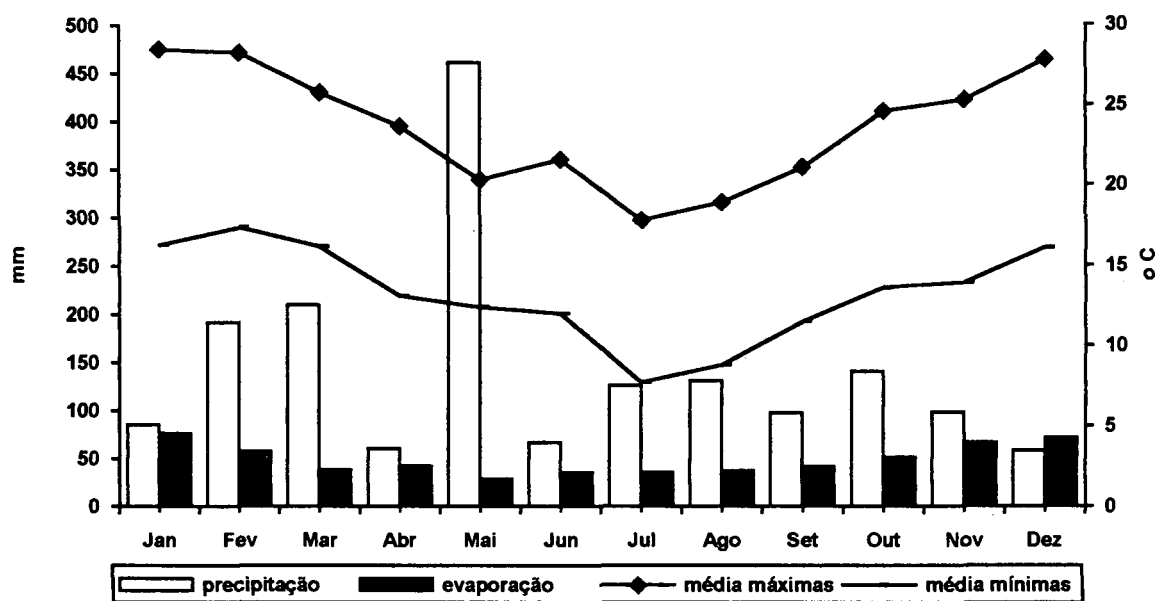
- a) A densidade de partículas diminuiu na maioria dos tratamentos na P₁, sendo que na P₂ não houveram variações. Por outro lado, a adubação química + esterco mostrou-se como a mais eficiente.
- b) A densidade do solo e a microporosidade diminuíram em todos tratamentos, com reflexos no aumento da porosidade total e da porosidade de aeração, contribuindo para uma melhor dinâmica do ar e da água e reduzindo os riscos do desencadeamento de processos erosivos.
- c) Os valores encontrados para densidade do solo foram considerados baixos, e os valores para porosidade total foram considerados altos, sendo reflexo da presença de um abundante sistema radicular na subsuperfície, o que comprova mais uma vez a eficiência das espécies forrageiras na recuperação de solos degradados.
- d) Embora tenha apresentado uma tendência de diminuição na maioria dos tratamentos, a resistência ao cisalhamento não se apresentou como parâmetro adequado para este tipo de estudo, de acordo com a metodologia utilizada. Por ocasião de avaliações futuras recomenda-se a readequação dos materiais e métodos empregados, principalmente com relação ao peso do cone e ao número de repetições feitas em cada amostra.

SUMMARY

An experiment was conducted during 18 months in an oil shale mining spoil area at PETROBRÁS-SIX plant in São Mateus do Sul (PR) to test the effect of forage species and fertilization combinations on land reclamation. The treatments arranged in a split-plot complete randomized block design consisted of three fertilizer practices: **Fertilization 1** - chemical fertilization + straw mulch; **Fertilization 2** - chemical fertilization + cattle manure; **Fertilization 3** - chemical fertilization. Each plot received three combinations of forage species: **Combination 1** - *Paspalum sauriae* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*; **Combination 2** - *Hemarthria altissima* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*; **Combination 3** - *Vicia villosa* + *Avena strigosa* + *Trifolium vesiculosum* / *Sorghum bicolor* + *Cajanus cajan*. The botanical composition, percent soil cover and biomass production was evaluated at the end of the experiment. The chemical (pH, Al, Ca + Mg, K, P, C, CTC pH 7,0 and V) and physical (real and bulk density, macro, micro and total porosity and shear strength) soil properties were measured at two depths (0-3 cm and 3-9 cm) at the end of 18 and 12 months, respectively. Chemical fertilization + cattle manure produced greater biomass with no significant differences among plant associations. All treatments provided good soil cover and resulted in lower pH, and higher H + Al. Cattle manuring resulted in higher Ca + Mg content, while straw mulching increased K, P supply was higher in both treatments although it was lower at 3-9 cm depth. There were no differences in soil C, but cattle manuring resulted in higher C increase. An increase in CTC at 0-3 cm and an overall decrease in V % in all treatments. Soil real density decreased only at the surface. At two depths, soil microporosity and bulk density decreased. Total porosity and macroporosity increased. There was a tendency towards a decrease in the soil shear strength, but contradictory results suggest inadequacy of the methodology used. The best treatment on this soil reclamation process was cattle manuring + forage combination 2.

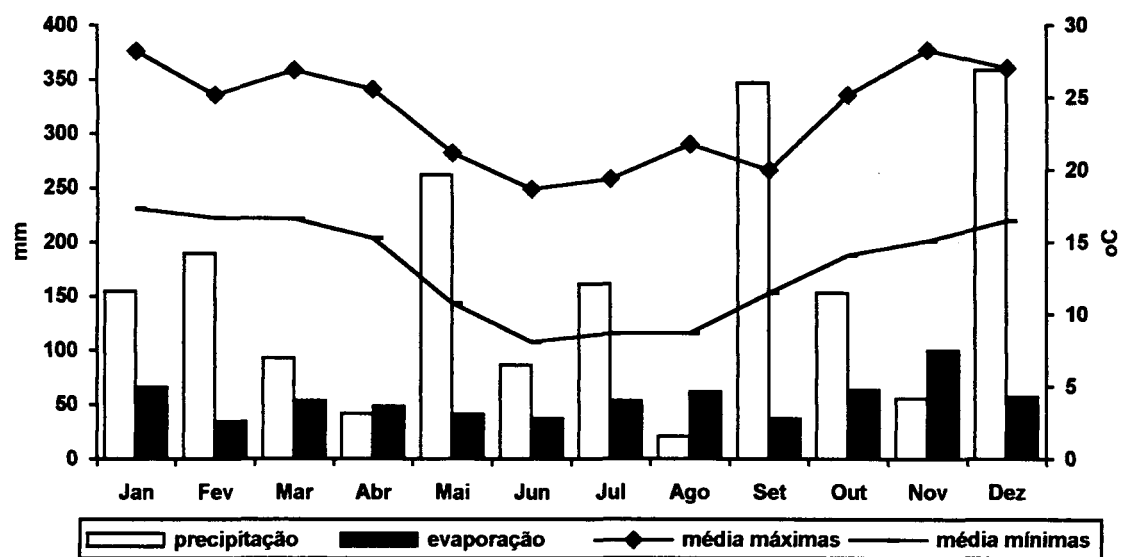
ANEXO

APÊNDICE 1. DADOS METEOROLÓGICOS DO ANO DE 1992.



Fonte: IAPAR (1994)

APÊNDICE 2. DADOS METEOROLÓGICOS DO ANO DE 1993.



Fonte: IAPAR (1994)

APÊNDICE 3. CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL

1	<i>T8</i>	4	<i>T1</i>	7	<i>T4</i>	10	<i>T9</i>	13	<i>T3</i>	16	<i>T4</i>
2	<i>T7</i>	5	<i>T3</i>	8	<i>T5</i>	11	<i>T7</i>	14	<i>T2</i>	17	<i>T6</i>
3	<i>T9</i>	6	<i>T2</i>	9	<i>T6</i>	12	<i>T8</i>	15	<i>T1</i>	18	<i>T5</i>
19	<i>T6</i>	22	<i>T8</i>	25	<i>T3</i>	28	<i>T7</i>	31	<i>T2</i>	34	<i>T5</i>
20	<i>T4</i>	23	<i>T7</i>	26	<i>T2</i>	29	<i>T8</i>	32	<i>T1</i>	35	<i>T6</i>
21	<i>T5</i>	24	<i>T9</i>	27	<i>T1</i>	30	<i>T9</i>	33	<i>T3</i>	36	<i>T4</i>

Cada n° indica uma subparcela, sendo que cada 3 subparcelas consecutivas compõem uma parcela e cada 3 parcelas consecutivas compõem um bloco.

T1: Adubação química + palhada; consórcio perene 1

T2: Adubação química + palhada; consórcio perene 2

T3: Adubação química + palhada; consórcio anual

T4: Adubação química + esterco; consórcio perene 1

T5: Adubação química + esterco; consórcio perene 2

T6: Adubação química + esterco; consórcio anual

T7: Adubação química; consórcio perene 1

T8: Adubação química; consórcio perene 2

T9: Adubação química; consórcio anual

APÊNDICE 4. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS QUANTIDADES DE MATÉRIA SECA DA 1^A E 2^A COLHEITA.

Fator	GL	QM Colheita 1	QM Colheita 2
Bloco	3		
Adubação	2	1788306,449 ^{ns}	137722,802 ^{ns}
Resíduo (a)	6	566052,570	94405,104
Parcelas	11		
Consórcios	1		621569,525 *
Adub. / Cons.	2		191926,332 ^{ns}
Resíduo (b)	9		80161,158
CV (%)		19,056	16,800

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS QUANTIDADES DE MATÉRIA SECA DA 3^A, 4^A, 5^A COLHEITA E MATÉRIA SECA TOTAL.

Fator	GL	QM Colheita 3	QM Colheita 4	QM Colheita 5	QM Matéria seca total
Bloco	3				
Adubação	2	66031788,875 ^{ns}	11145132,574 **	8527286,109 **	209940870,473 **
Resíduo (a)	6	15236536,553	341332,945	410907,633	15707498,116
Parcelas	11				
Consórcios	2	55661014,325 **	4472097,164 **	646178,460 ^{ns}	14070020,769 ^{ns}
Adub. / Cons.	4	2662384,030 ^{ns}	1183163,347 ^{ns}	209168,827 ^{ns}	4823005,045 ^{ns}
Resíduo (b)	18	2921107,965	435194,512	601879,265	6322492,792
CV (%)		19,785	22,768	19,608	14,022

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM.

Fonte	GL	QM pH CaCl ₂	QM pH SMP	QM Al	QM H+Al	QM Ca+Mg	QM K	QM P	QM C	QM CTC pH 7,0	QM V %
Bloco	3										
Adubação	2	0,112 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,003 ^{ns}	2,821 *	0,400 ^{ns}	0,106 **	37,625 ^{ns}	1,007 **	1,755 *	72,478 ^{ns}
Resíduo (a)	6	0,049	0,065	0,011	0,342	0,770	0,008	46,903	0,044	0,199	22,482
Parcelas	11										
Consórcios	2	0,039 ^{ns}	0,134 *	0,037 ^{ns}	1,508 **	0,132 ^{ns}	0,001 ^{ns}	24,667 ^{ns}	0,808 **	2,462 **	18,169 ^{ns}
Adub./ Cons.	4	0,002 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,032 **	97,917 **	0,093 ^{ns}	0,183 ^{ns}	3,097 ^{ns}
Resíduo (b)	18	0,012	0,024	0,014	0,192	0,216	0,006	17,852	0,113	0,282	6,537
Subparcelas	35										
Tempo	1	1,837 **	1,742 **	0,451 **	37,296 **	10,427 **	0,011 ^{ns}	1467,014 **	0,009 ^{ns}	7,677 **	1218,122 **
Tempo/Adub.	2	0,054 **	0,020 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,167 ^{ns}	1,623 **	0,082 **	48,264 *	0,106 ^{ns}	2,361 **	15,333 *
Tempo/Cons.	2	0,003 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,154 ^{ns}	0,019 **	21,055 ^{ns}	0,033 ^{ns}	0,287 ^{ns}	4,818 ^{ns}
Tempo/Adub. / Cons.	4	0,002 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,008 *	63,555 **	0,037 ^{ns}	0,156 ^{ns}	1,777 ^{ns}
Resíduo (c)	27	0,007	0,020	0,015	0,057	0,185	0,003	12,320	0,038	0,222	2,953
CV (%)		1,698	2,415	133,430	4,403	4,963	13,482	25,449	8,066	3,245	2,748

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 7. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS ANÁLISES QUÍMICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM.

Fonte	GL	QM pH CaCl ₂	QM pH SMP	QM Al	QM H+Al	QM Ca+Mg	QM K	QM P	QM C	QM CTC pH 7,0	QM V %
Bloco	3										
Adubação	2	0,327 ^{ns}	0,187 ^{ns}	0,079 ^{ns}	2,387 ^{ns}	2,005 ^{ns}	0,031 ^{**}	14,680 ^{ns}	0,272 [*]	0,188 ^{ns}	131,482 ^{ns}
Resíduo (a)	6	0,112	0,075	0,068	1,031	1,586	0,002	10,255	0,035	0,460	63,308
Parcelas	11										
Consórcios	2	0,038 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,419 ^{ns}	0,580 ^{ns}	0,001 ^{ns}	27,264 [*]	0,199 ^{**}	0,307 ^{ns}	22,464 ^{ns}
Adub./ Cons.	4	0,015 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,120 ^{ns}	0,219 ^{ns}	0,010 [*]	8,701 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,193 ^{ns}	6,063 ^{ns}
Resíduo (b)	18	0,019	0,014	0,037	0,182	0,362	0,002	6,815	0,022	0,114	12,451
Subparcelas	35										
Tempo	1	3,294 ^{**}	1,361 ^{**}	0,101 ^{**}	15,652 ^{**}	12,417 ^{**}	0,012 ^{**}	18,000 ^{**}	0,001 ^{ns}	0,104 ^{ns}	857,049 ^{**}
Tempo/Adub.	2	0,017 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,034 ^{**}	4,542 ^{ns}	0,087 ^{ns}	0,415 ^{ns}	0,307 ^{ns}
Tempo/Cons.	2	0,013 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,102 ^{ns}	0,172 ^{ns}	0,009 ^{**}	4,875 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,002 ^{ns}	6,285 [*]
Tempo/Adub. / Cons.	4	0,001 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,003 [*]	1,854 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,086 ^{ns}	2,187 ^{ns}
Resíduo (c)	27	0,005	0,003	0,007	0,037	0,119	0,001	2,213	0,031	0,173	1,852
CV (%)		1,394	0,952	136,240	4,160	4,194	11,702	25,997	13,803	3,169	2,104

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 8 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM .

Fonte	GL	QM Densidade real	QM Densidade do solo	QM Porosidade total	QM Porosidade de aeração	QM Micro porosidade	QM Resistência cisalhamento
Bloco	3						
Adubação	2	0,022 *	0,002 ^{ns}	4,623 ^{ns}	2,786 ^{ns}	0,285 ^{ns}	1612,723 ^{ns}
Resíduo (a)	6	0,002	0,004	7,690	21,433	4,132	843,429
Parcelas	11						
Consórcios	2	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	4,234 ^{ns}	8,760 ^{ns}	24,276 *	4453,052 *
Adub./ Cons.	4	0,002 ^{ns}	0,011 ^{ns}	14,744 ^{ns}	29,605 ^{ns}	4,261 ^{ns}	377,947 ^{ns}
Resíduo (b)	18	0,003	0,007	8,206	26,056	6,810	965,354
Subparcelas	35						
Tempo	1	0,101 **	0,211 **	264,577 **	1445,158 **	472,986 **	1171,950 ^{ns}
Tempo/Adub.	2	0,031 **	0,008 ^{ns}	7,203 ^{ns}	19,478 ^{ns}	3,180 ^{ns}	2495,204 ^{ns}
Tempo/Cons.	2	0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,666 ^{ns}	16,516 ^{ns}	18,294 *	5466,171 **
Tempo/Adub. / Cons.	4	0,001 ^{ns}	0,007 ^{ns}	7,046 ^{ns}	20,372 ^{ns}	4,039 ^{ns}	132,543 ^{ns}
Resíduo (c)	27	0,002	0,004	4,942	14,202	3,746	897,242
CV (%)		1,934	8,716	3,186	7,175	11,215	65,041

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 9 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS ANÁLISES FÍSICAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM.

Fonte	GL	QM Densidade real	QM Densidade do solo	QM Porosidade total	QM Porosidade de aeração	QM Micro porosidade	QM Resistência cisalhamento
Bloco	3						
Adubação	2	0,001 ^{ns}	0,004 ^{ns}	9,488 ^{ns}	6,192 ^{ns}	0,569 ^{ns}	1747,556 ^{ns}
Resíduo (a)	6	0,005	0,007	7,523	14,967	1,958	1139,122
Parcelas	11						
Consórcios	2	0,004 ^{ns}	0,004 ^{ns}	8,482 ^{ns}	29,907 ^{ns}	22,950 **	7326,098 **
Adub./ Cons.	4	0,007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,834 ^{ns}	1,045 ^{ns}	0,644 ^{ns}	194,249 ^{ns}
Resíduo (b)	18	0,003	0,004	6,846	12,467	1,797	1176,499
Subparcelas	35						
Tempo	1	0,001 ^{ns}	0,249 **	348,084 **	1422,933 **	365,175 **	10651,066 **
Tempo/Adub.	2	0,001 ^{ns}	0,005 ^{ns}	7,237 ^{ns}	7,019 ^{ns}	0,991 ^{ns}	1922,855 ^{ns}
Tempo/Cons.	2	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1,135 ^{ns}	23,266 ^{ns}	14,535 **	5566,977 *
Tempo/Adub. / Cons.	4	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2,143 ^{ns}	7,591 ^{ns}	3,156 ^{ns}	1045,826 ^{ns}
Resíduo (c)	27	0,004	0,006	10,573	18,366	2,290	1161,042
CV (%)		2,441	7,523	5,397	11,417	6,665	57,837

ns: diferenças não significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE 10 - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DOS CONSÓRCIOS DE FORRAGEIRAS (kg/ha).

PARCELA Adubação	SUBPARCELA Consórcio	Colheita 1	Colheita 2	Colheita 3	Colheita 4	Colheita 5	Matéria seca total
Química + palhada	Consórcio 1	-	1.320,21	7.972,65	3.096,48	4.087,45	16.476,80
	Consórcio 2	-	1.748,13	9.461,86	3.601,70	3.818,97	18.630,67
	Consórcio 3	4.038,09	-	6.195,52	3.539,36	4.052,95	17.825,92
Química + esterco	Consórcio 1	-	1.487,49	12.965,83	2.361,37	5.206,46	22.021,16
	Consórcio 2	-	2.052,17	12.260,69	4.706,16	4.782,12	24.201,15
	Consórcio 3	4.567,31	-	8.184,52	3.415,13	4.364,06	20531,03
Química	Consórcio 1	-	1.765,48	8.278,20	1219,83	3.379,67	14.643,19
	Consórcio 2	-	1.738,46	7.935,85	1.948,49	2.867,53	14.490,33
	Consórcio 3	3.239,14	-	4.090,33	2.188,64	3.049,97	12.568,07

APÊNDICE 11 - ANÁLISES QUÍMICAS EFETUADAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1^A E 2^A COLETAS. COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS (MÉDIAS DE 12 REPETIÇÕES).

1 ^A COLETA										
ADUBAÇÃO	pH CaCl ₂	pH SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P ppm	C %	CTC pH 7,0 meq/100 cm ³	V %
			meq/100 cm ³							
QUÍMICA + PALHADA	5.2 a	6.1 a	0.04 a	4.7 ab	9.3 a	0.42 a	10 a	2.52 a	14.4 a	67.29 a
QUÍMICA + ESTERCO	5.1 a	6.0 a	0.00 a	5.0 a	8.6 a	0.36 a	8 a	2.55 a	14.0 a	64.02 a
QUÍMICA	5.3 a	6.0 a	0.00 a	4.4 b	9.3 a	0.43 a	10 a	2.26 b	14.1 a	68.60 a
CONSÓRCIO										
CONSÓRCIO PERENE 1	5.1 a	5.9 b	0.04 a	5.0 A	9.1 a	0.38 a	9 a	2.60 a	14.5 a	65.16 B
CONSÓRCIO PERENE 2	5.2 a	6.1 a	0.00 a	4.6 B	9.0 a	0.40 a	9 a	2.46 ab	14.0 a	67.05 AB
CONSÓRCIO ANUAL	5.2 a	6.0 ab	0.00 a	4.5 B	9.1 a	0.43 a	9 a	2.28 b	14.1 a	67.70 A
2 ^A COLETA										
ADUBAÇÃO	pH CaCl ₂	pH SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P ppm	C %	CTC pH 7,0 meq/100 cm ³	V %
			meq/100 cm ³							
QUÍMICA + PALHADA	4.9 a	5.8 a	0.14 a	5.9 a	8.3 a	0.52 A	20 a	2.43 AB	14.8 AB	59.65 a
QUÍMICA + ESTERCO	4.8 a	5.6 b	0.21 a	6.6 b	8.5 a	0.34 B	19 a	2.68 A	15.4 A	57.02 a
QUÍMICA	4.9 a	5.8 a	0.17 a	5.9 a	8.1 a	0.28 B	15 a	2.16 B	14.3 B	58.57 a
CONSÓRCIO										
CONSÓRCIO PERENE 1	4.8 a	5.7 b	0.23 a	6.4 a	8.4 a	0.41 a	20 a	2.65 A	15.3 A	57.95 a
CONSÓRCIO PERENE 2	4.9 a	5.7 ab	0.16 a	6.1 ab	8.2 a	0.39 a	17 a	2.36 AB	14.7 B	58.49 a
CONSÓRCIO ANUAL	4.9 a	5.8 a	0.12 a	6.0 b	8.2 a	0.35 a	17 a	2.25 B	14.5 B	58.79 a

APÊNDICE 12 - ANÁLISES QUÍMICAS EFETUADAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1^A E 2^A COLETAS. COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS (MÉDIAS DE 12 REPETIÇÕES)

1 ^A COLETA										
ADUBAÇÃO	pH CaCl ₂	pH SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P	C	CTC pH 7,0	V
			meq/100 cm ³				ppm	%	meq/100 cm ³	%
QUÍMICA + PALHADA	5.4 a	6.3 a	0.00 a	4.1 a	8.8 a	0.27 a	6 a	1.28 a	13.1 a	68.97 a
QUÍMICA + ESTERCO	5.3 a	6.1 a	0.07 a	4.5 a	8.2 a	0.24 a	5 a	1.33 a	13.0 a	65.42 a
QUÍMICA	5.5 a	6.3 a	0.00 a	3.9 a	8.9 a	0.29 a	5 a	1.23 a	13.2 a	70.00 a
CONSÓRCIO										
CONSÓRCIO PERENE 1	5.4 a	6.2 a	0.07 a	4.3 a	8.4 b	0.26 a	3 B	1.33 AB	13.0 a	66.75 a
CONSÓRCIO PERENE 2	5.4 a	6.2 a	0.00 a	4.1 a	8.8 a	0.26 a	6 A	1.35 A	13.2 a	68.86 a
CONSÓRCIO ANUAL	5.4 a	6.3 a	0.00 a	4.0 a	8.7 ab	0.28 a	6 A	1.17 B	13.0 a	68.78 a
2 ^A COLETA										
ADUBAÇÃO	pH CaCl ₂	pH SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P	C	CTC pH 7,0	V
			meq/100 cm ³				ppm	%	meq/100 cm ³	%
QUÍMICA + PALHADA	5.0 a	6.0 a	0.07 a	5.1 a	7.9 a	0.32 A	7 a	1.34 ab	13.3 a	61.81 a
QUÍMICA + ESTERCO	4.9 a	5.9 a	0.18 a	5.5 a	7.6 a	0.21 B	6 a	1.40 a	13.3 a	58.71 a
QUÍMICA	5.1 a	6.0 a	0.03 a	4.8 a	8.0 a	0.19 B	5 a	1.09 b	12.9 a	63.16 a
CONSÓRCIO										
CONSÓRCIO PERENE 1	4.9 a	5.9 a	0.17 a	5.2 a	7.7 a	0.25 ab	5 a	1.34 a	13.1 a	60.55 a
CONSÓRCIO PERENE 2	5.0 a	5.9 a	0.09 a	5.2 a	7.8 a	0.26 a	7 a	1.31 ab	13.3 a	60.78 a
CONSÓRCIO ANUAL	5.0 a	6.0 a	0.03 a	4.9 a	8.0 a	0.21 b	6 a	1.18 b	13.1 a	62.36 a

APÊNDICE 13 - ANÁLISES FÍSICAS EFETUADAS NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1^A E 2^A COLETAS. COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS (MÉDIAS DE 12 REPETIÇÕES)

1 ^A COLETA						
ADUBAÇÃO	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade real (g/cm ³)	Densidade do solo (g/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	44.06 a	2.50 a	0.80 ab	67.88 a	47.60 a	20.28 a
QUÍMICA + ESTERCO	63.13 a	2.54 a	0.84 a	67.11 a	47.34 a	19.77 a
QUÍMICA	43.07 a	2.55 a	0.79 b	68.61 a	49.20 a	19.41 a
CONSÓRCIO						
CONSÓRCIO PERENE 1	33.32 b	2.55 a	0.82 a	67.97 a	47.10 a	20.86 a
CONSÓRCIO PERENE 2	34.23 b	2.52 a	0.80 a	68.39 a	47.47 a	20.92 a
CONSÓRCIO ANUAL	82.71 a	2.52 a	0.81 a	67.24 a	49.56 a	17.68 b
2 ^A COLETA						
ADUBAÇÃO	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade real (g/cm ³)	Densidade do solo (g/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	29.12 b	2.48 A	0.69 a	72.43 a	57.96 a	14.47 a
QUÍMICA + ESTERCO	38.99 ab	2.38 B	0.70 a	71.49 a	56.94 a	14.55 a
QUÍMICA	57.95 a	2.50 A	0.72 a	71.18 a	56.12 a	15.06 a
CONSÓRCIO						
CONSÓRCIO PERENE 1	37.85 a	2.46 a	0.69 a	72.12 a	57.67 a	14.45 a
CONSÓRCIO PERENE 2	48.01 a	2.46 a	0.71 a	71.62 a	56.23 a	15.09 a
CONSÓRCIO ANUAL	40.20 a	2.45 a	0.70 a	71.36 a	56.81 a	14.54 a

APÊNDICE 14 - ANÁLISES FÍSICAS EFETUADAS NA PROFUNDIDADE DE 3 A 9 CM, 1^A E 2^A COLETAS. COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS (MÉDIAS DE 12 REPETIÇÕES)

1 ^A COLETA						
ADUBAÇÃO	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade real (gr/cm ³)	Densidade do solo (gr/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	63.46 a	2.63 a	1.09 a	58.74 a	33.82 a	24.92 a
QUÍMICA + ESTERCO	90.75 a	2.63 a	1.14 a	56.69 a	31.91 a	24.79 a
QUÍMICA	59.01 a	2.65 a	1.09 a	58.71 a	33.55 a	25.16 a
CONSÓRCIO						
CONSÓRCIO PERENE 1	47.83 B	2.65 a	1.10 a	58.45 a	32.29 a	26.17 A
CONSÓRCIO PERENE 2	56.99 AB	2.64 a	1.12 a	57.57 a	31.89 a	25.68 A
CONSÓRCIO ANUAL	108.40 A	2.62 a	1.10 a	58.12 a	35.09 a	23.02 B
2 ^A COLETA						
ADUBAÇÃO	Resistência ao cisalhamento (KPa)	Densidade real (gr/cm ³)	Densidade do solo (gr/cm ³)	Porosidade total (%)	Porosidade de aeração (%)	Micro porosidade (%)
QUÍMICA + PALHADA	50.37 a	2.64 a	0.99 a	62.60 a	41.81 a	20.80 a
QUÍMICA + ESTERCO	45.78 a	2.63 a	0.98 a	62.35 a	42.00 a	20.32 a
QUÍMICA	44.09 a	2.65 a	0.99 a	62.38 a	42.15 a	20.24 a
CONSÓRCIO						
CONSÓRCIO PERENE 1	46.81 a	2.65 a	0.97 a	63.33 a	43.15 a	20.18 a
CONSÓRCIO PERENE 2	43.83 a	2.64 a	1.00 a	61.87 a	40.79 a	21.04 a
CONSÓRCIO ANUAL	49.61 a	2.62 a	0.99 a	62.14 a	42.01 a	20.14 a

APÊNDICE 15 - ANÁLISES QUÍMICAS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 CM, 1^a E 2^a COLETAS (MÉDIAS DE 4 REPETIÇÕES).

Elemento	Coleta	TRATAMENTO								
		química + palhada perene 1	química + palhada perene 2	química + palhada anual	química + esterco perene 1	química + esterco perene 2	química + esterco anual	química perene 1	química perene 2	química anual
K	1 ^a	0,36 B	0,44 B	0,47 a	0,36 B	0,32 A	0,41 A	0,42 A	0,44 A	0,42 A
	2 ^a	0,45 A	0,61 A	0,49 a	0,44 A	0,25 B	0,34 B	0,33 B	0,31 B	0,22 B
P	1 ^a	9,5 B	10,7 B	10 B	8,7 B	7,5 b	8 B	10 B	10 B	9 a
	2 ^a	16,2 A	24,2 A	19,7 A	26 A	10,7 a	21,2 A	19,2 A	15,5 A	11,7 a

APÊNDICE 16 - ANÁLISES QUÍMICAS DO INÍCIO (1986) E DO FIM (1987) DO EXPERIMENTO DE LUCCHESI (1988).

Ano	Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	Al ³⁺	H+Al	Ca+Mg	K	CTC a pH 7,0	P	C	V
				meq/100 cm ³					ppm	%
1986	0 a 15	5,0	0,2	1,81	7,5	0,07	9,38	1	0,5	80,1
1987	0 a 5	6,1	0,0	2,2	10,4	0,31	12,9	13	0,7	83
1987	5 a 10	6,2	0,0	2,2	9,8	0,17	12,2	4	0,5	82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 101-108, 1994.
- ANGULO, R.J.; ROLLOF, G.; SOUZA, M.L.P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 8: 133-0138, 1984.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 139-145, 1994.
- BARBER, R.G.; ROMERO, D. Effects of bulldozer and chain clearing on soil properties and crop yields. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 1768-1775, 1994.
- BERNARDES, L.R.M.; GODOY, H.; CORRÊA, A.R. O Clima do Estado do Paraná. In: Curso de Atualização em Pastagens. **Anais**. Cascavel, OCEPAR, 1991. p. 47-60.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 267-271, 1994.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações de erosão hídrica com métodos de preparo de solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 11: 187-192, 1987.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; CORNELIUS, P.L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil Tillage Res.**, 3: 135-146, 1983.
- BLUE, W.G.; GRAETZ, D.A. The effect of split nitrogen applications on nitrogen uptake by Pensacola Bahiagrass from an Aeric Haplaquod. **Soil Sci. Am. J.**, 41: 927-930, 1977.
- BOLLMANN, H.A.; PORTO ALEGRE, H.K. Considerações sobre o impacto causado ao ambiente pela exploração do xisto na região de São Mateus do Sul - PR. In: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais**. Curitiba, FUPEF/UFPR, 1992. p.210- 18.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. FIGUEIREDO FILHO, A.B.N. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- BRASIL. Ministério do Interior, IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

- CABEDA, M.S.V. Degradação física e erosão do solo. In: Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil, 1., e Simpósio de conservação de solos do planalto, 3., Passo Fundo, 1983. **Anais**. Passo Fundo, PIUCS / Faculdade de Agronomia, UPF, 1984. p. 28-33.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUCK, J.; Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. bras. Ci. Solo**, 14: 99-105, 1990.
- CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; KUNELIUS, H.T. Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 1194-1199, 1994.
- CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; SIQUEIRA, C.; SARAIVA, O.F. Crescimento de uma espécie de braquiária na presença da calagem em cobertura e de doses de N. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16: 96-74, 1992.
- CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A.; SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 215-220, 1994.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2. ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo regional Sul / EMBRAPA - CNPT, 1989. 128 p.
- COSTA, M.B.B. **Adubação orgânica; nova síntese e novo caminho para a agricultura**. São Paulo, ICONE, 1985. 104 p.
- COSTA, B.B.da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1992. 346 p.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. V. Rate of loss of total nitrogen from the soil profile and changes in carbon: nitrogen ratios. **Aust.J. Soil Res.**, 24: 301-309, 1986.
- DA ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia - ervilhaca. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 17: 257-261, 1993.
- DAVIS, G. Oil shale. In: SCHALLER, F.W. & SUTTON, P. **Reclamation of drastically disturbed lands**. Madison, American Society of Agronomy, 1978. p.609-18.
- DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. de. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em latossolo roxo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 5: 133-137. 1981.
- DEDECECK, R.A. A dinâmica dos solos em áreas degradadas. In: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais**. Curitiba, FUPEF/UFPR, 1992. p.44-57.

- DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: Simpósio de Manejo de Solo e Plantio Direto do Sul do Brasil. 1. & Simpósio de Conservação de Solos do Planalto, 3; Passo Fundo, 1984. **Anais**. Passo Fundo, PIUCS - UPF, 1984. p.107-123.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 13: 259-267, 1989.
- FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales**. Turrialba, CATIE, Departamento de Recursos Naturales Renovables, 1987. 475 p.
- FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986. 1838 p.
- FONTES, M.P.F. Estudo pedológico diminui impactos da mineração. **Ambiente** 5(1): 58-62, 1991.
- HANSBO, S. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. **Royal Swedish Geotechnical Institute. Proceedings nº 14**. Stockholm, 1957. 47 p.
- HOLANDA, J.S.; TORRES FILHO, J.; BEZERRA NETO F. Alterações na fertilidade de dois solos adubados com esterco de curral e cultivados com caupi. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 8: 301-304, 1984.
- HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, 152: 463-471, 1991.
- IAPAR. Área de Ecofisiologia. **Dados meteorológicos da estação de Teixeira Soares (PR)**. Curitiba, IAPAR, 1994.
- IBRAM. **Mineração e meio ambiente**. Brasília, IBRAM, 1992. 126p.: il.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 15: 237-240, 1991.
- LUCCHESI, L.A.C. **Influência de sucessões de culturas forrageiras e adubações sobre a recuperação de algumas características de um solo degradado pela mineração do xisto e sobre a sua mesofauna edáfica (Acari e Collembola)**. Curitiba, 1988. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 252p.
- MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 2:81-84, 1978.
- MEDEIROS, J.C.; MIELNICZUCK, J.; PEDÓ, F. Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 11: 199-204, 1987.

- MELLA, S.C. Recuperação de pastagens. In: Curso de Atualização em Pastagens. **Anais**. Cascavel, OCEPAR, 1991. p. 165-173.
- MELO, E.F. R. Q. **Recuperação de áreas degradadas da Itaipu Binacional com forrageiras e adubações**. Foz do Iguaçu, Itaipu Binacional, 1994. 158 p.
- MINEROPAR. Gerência de Fomento e Economia Mineral. **Mineração e meio Ambiente**. Curitiba, 1991. 115 p.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características de manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, Ed. do autor, 1991. 337 p.
- MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 7: 95-102, 1983.
- NASCIMENTO Jr., D.do; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.dos. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.de; FARIA, V.P.de. Simpósio sobre manejo de pastagens, 11. **Anais**. Piracicaba, FEALQ, 1994. 325 p. il.
- NEARING, M.A.; BRADFORD, J.M. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 49: 547-552, 1985.
- OLIVEIRA, E.L.de. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 235-341, 1994.
- PALADINI, F.L.S.; MIELNICZUCK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo podzólico vermelho-escuro afetado por um sistema de culturas. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 15:135-140, 1991.
- PIKUL Jr., J.L.; ZUZEL, J.F. Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 1524-1530, 1994.
- PINZON, A.; AMESQUITA, E. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piepemente amazonico de Colombia. **Past. Trop.**, 13 (2): 21-26, 1987.
- POPP, J.H. Mineração e proteção ambiental: o único caminho possível. In: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais**. Curitiba, FUPEF/UFPR, 1992. p.467-70.
- POSTIGLIONI, S. R. **Hemartria altissima: uma forrageira para a região dos Campos Gerais do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1983. 19 p. (Circular IAPAR n° 36).
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 142 p.

- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Resposta do capim-pensacola à adubação fosfatada e à micorrização em solo com diferentes valores de pH. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 201-205, 1994.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. de. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 491-497, 1994.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C. de; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 15: 241-248, 1991.
- SÁ, J.C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro, Fundação ABC, 1993. 96 p.
- SANTOS, H.P.dos; ROMAN, E.S. Rotação de culturas. XIV. Efeito de culturas de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica do solo, no período agrícola de 1980 a 1986. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 13: 303-310, 1989.
- SCHJONNING, P.; CHRISTENSEN, B.T.; CARSTENSEN, B. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. **European Journal of Soil Science**, 45: 257-268, 1994.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 8: 265-268, 1984.
- SILCOCK, R.G. **Pastures, trees and shrubs for rehabilitating mines in Queensland. Impediments to their use on opencut coal and alluvial mines in 1990**. Brisbane, Queensland Department of Primary Industries, 1991. 74 p.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 10: 91-95, 1986.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 541-547, 1994.
- SILVA, M.S.L. da, RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16: 397-402, 1992.
- SIVIERO, A.G.; PETTERSEN NETO, C.; AMARAL, M.B. do. **Efeitos de sucessões de culturas sobre propriedades químicas, físicas e biológicas de solo degradado pela mineração do xisto, em São Mateus do Sul - PR**. Curitiba. Trabalho de introdução à pesquisa em solos (Graduação em Agronomia) - Departamento de Solos, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1988. 42 p. (não publicado).

- STAMFORD, N.P.; ALBUQUERQUE, M.H.; SANTOS, D.R. Aproveitamento do nitrogênio pelo sorgo em sucessão a leguminosas incorporadas em diferentes épocas de corte. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 221-227, 1994.
- STONE, L.F.; DA SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 533-539, 1994.
- SYMES, R.F. **Rochas e minerais**. São Paulo, Ed. Globo, 1990. 63p.
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18: 207-214, 1994.
- TERABE, K. Programa de reabilitação das áreas degradadas pela mineração do xisto PETROBRÁS-SIX. In: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais**. Curitiba, FUPEF/UFPR, 1992. p.458-61.
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUCK, J. Características químicas de um podzólico vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16:107-114, 1992.
- TISDALL, J.M.; COCKROFT, B.; UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. **Aust. J. Soil Res.** 16: 9-17, 1978.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Aust. J. Soil Res.** 17: 429-441, 1979.
- TOTHILL, J.C.; HARGREAVES, J.N.G.; JONES, R.M. **Botanal. A comprehensive sampling and computing method for estimating pasture yield and composition. I - Field sampling**. Brisbane, CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures. 1978. 99p. (Agronomy Technical Memorandum, 8).
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of chromic acid titration method. **Soil Science**, 37: 29-38, 1934.
- ZULLO Jr., J.; ARRUDA, F.B. **Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 23 p. (Boletim Técnico nº 113).