

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS
DE BIOENGENHARIA NA PROTEÇÃO E
CONSERVAÇÃO DA COBERTURA FINAL DE
TALUDES EM ATERROS DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
ESTUDO DE CASO PARA O ATERRO SANITÁRIO DE
BELO HORIZONTE, MG

Allan de Freitas Magalhães

Belo Horizonte

2005

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS DE
BIOENGENHARIA NA PROTEÇÃO E
CONSERVAÇÃO DA COBERTURA FINAL DE
TALUDES EM ATERROS DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
ESTUDO DE CASO PARA O ATERRO SANITÁRIO DE BELO
HORIZONTE, MG**

Allan de Freitas Magalhães

Allan de Freitas Magalhães

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS DE
BIOENGENHARIA NA PROTEÇÃO E
CONSERVAÇÃO DA COBERTURA FINAL DE
TALUDES EM ATERROS DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
ESTUDO DE CASO PARA O ATERRO SANITÁRIO DE BELO
HORIZONTE, MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Resíduos Sólidos Urbanos

Orientador: Dr. Gustavo Ferreira Simões

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2005

M725a
2005

Magalhães, Allan de Freitas
Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos:
Estudo de Caso para o Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG. – 2005
169 f.: il.

Orientador: Gustavo Ferreira Simões,
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de
Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.
Inclui bibliografia e anexos.

1. Cobertura final – Aterro sanitário – Revegetação de áreas degradadas –
Teses I. Simões, Gustavo Ferreira. II. Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Universidade Federal
de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos
Hídricos. IV. Título.

CDU: 628.3

PRESENÇA ESCONDIDA

Não estás; não se vê teu rosto.
Estás. Teus raios se projetam em mil direções.
És a Presença escondida.

Ó Presença sempre obscura e sempre clara!
Ó Mistério fascinante para o qual convergem todas as aspirações!
Ó Vinho embriagador que satisfazes todos os desejos!
Ó infinito insondável que aquietas todas as quimeras!

És o Mais Além e o Mais Aquém de tudo.
Estás substancialmente presente em todo o meu ser.
Tu me comunicas a existência e a consistência.
Tu me penetras, me envolves e me amas.
Estás em torno de mim e dentro de mim.

Com tua Presença ativa alcanças até as mais remotas e profundas zonas
de minha intimidade.

És a Alma de minha alma, a Vida de minha vida, mais Eu que eu mesmo;
a realidade total e totalizante dentro da qual estou submergido.
Com tua força vivificante penetras todo quanto sou e tenho.

Toma-me todo inteiro! Ó Tudo de meu todo! E faze de mim uma viva
transparência de teu ser e de teu amor.

Ó meu Pai queridíssimo!

Inácio Larrañaga

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Santíssima Trindade por me conceder a graça de servi-los de todas as formas, e especialmente nesta ciência.

A minha mãe Maria Santíssima como exemplo de serva fiel à Deus e à toda humanidade.

À toda minha família, onde também busco forças para caminhar e aprender a cada dia o verdadeiro sentido da vida.

Ao meu avô paterno (João Rosa) e maternos (José Diogo e Maria) embora ausentes, mas, sempre presentes na minha memória.

Aos meus pais Augusto e Rosa pelo exemplo de perseverança e amor nos momentos difíceis.

Às minhas irmãs Jussara, Denise, Cristiane e Tico pelo dom da alegria, paciência e unidade nos momentos difíceis, e durante esta etapa de estudo.

A todos parentes paternos, especialmente à tia Jovelina, como a grande incentivadora de nossos estudos e sucessos futuros.

A todos parentes maternos, especialmente minhas primithias que amo (Mirtinha, Bárbara, Isabela, Gleice), tios (Chico, Juliana, Agostinho, Domingos e Sônia), minhas afilhadas Gabriela (Bitoka) e Fabiana, pois todos de alguma maneira me incentivaram.

Ao professor Gustavo Ferreira Simões, meu grande incentivador e verdadeiro exemplo de orientador, me dando apoio nos momentos alegres e difíceis na vida acadêmica.

Ao professor Aloísio Rodrigues Pereira pelo grande interesse e apoio durante todas as fases de execução do trabalho, o meu muito obrigado.

Aos funcionários da DEFLOR Ltda, especialmente Carlinhos, Élcio, Faustino, Oswaldo e Luciana, principalmente na fase inicial do trabalho mesmo quando desanimava souberam me ajudar.

Ao pessoal da SLU, especialmente Heuder, Cícero, Carla, Max, Geraldinho, Paulo, Luís, Bernadete, Marcos, Juliana, Lívia, Josiane, Fabiana, Alessandra, Mauro, Kátia, Léo e Simone pois, foram grandes parceiros que contribuíram com a realização deste trabalho.

À grande amiga e companheira de todas as etapas do projeto, Sofia, o meu muito obrigado pelo incentivo e ser um exemplo de profissionalismo além do verdadeiro esforço para a busca do conhecimento.

À professora Terezinha Cássia Galvão de Brito pelo incentivo inicial deste trabalho, mas, o suficiente para concretizar às demais fases do trabalho.

À professora. Queila de Souza Garcia do ICB/UFMG pelo incentivo, confiança e apoio para a realização de um bom trabalho de pesquisa.

Aos funcionários da UFMG, Iara do DESA, Socorro do ICB e Nívea do IGC pelo incentivo e apoio durante a realização das análises de laboratório.

Aos funcionários do CETEC, especialmente à Olguita pelo incentivo e boa vontade na execução das análises químicas.

Aos pesquisadores da EMBRAPA Sete Lagoas, especialmente ao Ramom Costa Alvarenga pelo acolhimento e realização das etapas da pesquisa.

Aos grandes amigos da pós graduação da UFMG, do DESA (Alexânia, Dangelles, Vicente, Nícia, Suzy, Silvia, Vanessa, Norma, Célia, Josye e Henrique), do ICB/UFMG (Cláudia, Marco Aurélio e Diogo) e da Secretaria de Meio Ambiente de Contagem (Eduardo, Alaninha, Cirley e Henrique) pois, todos foram e são grandes incentivadores na realização deste trabalho.

Aos colegas estudantes de graduação da PUC-MG (Andrea) e da UFMG (Frederico, Fernando e Valéria), pois foram pessoas muito importantes para condução do trabalho de campo e laboratório.

Aos eternos amigos e irmãos do PUR, especialmente ao GPP de Belo Horizonte e ex-servos do GOU-Lavras, a minha eterna gratidão mais uma vez pelos grandes momentos vividos juntos durante esta fase de vida.

Aos meus irmãos Evandro, Roginho, Elaine, Dedê, Xaxá e Carla pelos grandes incentivos.

Enfim, a todos que de alguma forma me ensinaram o verdadeiro sentido da realização pessoal e profissional. Muito Obrigado a todos.

RESUMO

O trabalho objetiva avaliar, a partir da implantação de experimento em escala de demonstração, o desempenho de técnicas de bioengenharia na conservação e proteção da cobertura final de taludes de um aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos, contribuindo para o desenvolvimento de uma tecnologia a ser utilizada na revegetação das camadas de cobertura final que atendam às exigências legais e técnicas de um aterro sanitário. O experimento foi constituído de 33 parcelas, representando 10 tratamentos e um testemunho, em triplicata. Os tratamentos foram formados pela combinação de diferentes tipos de adubação química (BM) e orgânica (CM), mistura de espécies vegetais (M1, M2, M3 e M4) e biomanta do tipo biotêxtil (B1) e sintemax (B2). A área experimental está localizada no Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040, em Belo Horizonte. A análise dos resultados revelou um substrato de caráter mais heterogêneo nos aspectos químicos do que nos aspectos físicos do solo. Na caracterização da vegetação, verificou-se que, a produção de fitomassa da parte aérea das leguminosas foi superior à produção das espécies gramíneas. As espécies que se destacaram foram colônio e feijão guandu. Após um período de 12 meses, os maiores teores de fitomassa por área foram alcançados pelos tratamentos B2M1, B1M1 e CM1 e os menores foram obtidos pelos tratamentos ASB, B2M3 e CM2. O maior teor de perda de sedimentos se deu para os tratamentos ASB (M4 + adubação orgânica) e AP (área piloto). O tratamento que recebeu a tela vegetal do tipo biotêxtil, além de reduzir bem a perda de substrato, apresentou uma boa incorporação superficial de resíduos orgânicos ao substrato. No entanto, sua eficiência em reter sedimentos não foi superior à manta do tipo sintemax. A relação direta entre a erosividade das chuvas e a perda de solo foi confirmada pelos resultados observados. Os efeitos deletérios observados foram o ataque de pragas no início do crescimento das plantas e um espalhamento de RSU sobre a vegetação dificultando o seu estabelecimento. Os tratamentos utilizando manta biotêxtil apresentaram uma relação eficiência/custo alta. Para os tratamentos utilizando a biomanta sintemax, embora com um maior custo, os resultados de perdas de solo foram inferiores aos demais tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: aterros sanitários, camadas de cobertura, bioengenharia de solos, revegetação, áreas degradadas.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the performance of bioengineering techniques in conservation and protection of solid waste landfills slopes, contributing to the development of a technology to be used in revegetation of landfill final covers, which can attend the legal and technical criteria. The experiment, implemented in a demonstrative scale, was located at the sanitary landfill of Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) of BR-040, in Belo Horizonte. The experiment was formed by 33 parcels, representing 10 types of treatments, defined as a combination of two types of fertilization, 4 mixes of species and 2 types of rolled erosion controlled products (RECP), and one control area. The characterization of the area showed a more heterogeneous character in the chemical aspects than on physical aspects of the soil. In the characterization of the vegetation it was verified that phytomass production in the aerial part of the herbaceous was greater than the production on the gramineous species. The most representative species were coloniao and guandu bean. After a period of 12 months, the greater quantities of phytomass by area were reached by the B2M1, B1M1 e CM1 treatments and the lesser ones were obtained by the ASB, B2M3 e CM2 treatments. The highest values of sediment loss were given for the ASB and AP treatments. The treatment using vegetable screen, called biotextil, besides reducing the loss of substrate, presented a good superficial incorporation of organic residuals to the substrate. Nevertheless, its sediment retention efficiency was not higher than the one with reinforced vegetable screen, called sintemax. The direct relation between the erodibility of rain and loss of soil was confirmed by the observed results. The deleterious effects observed were the attacks of plagues during the initial growing stage of the plants and the spreading of RSU over the vegetation, which made its establishment difficult. The treatments using vegetable screen biotêxtil presented a high cost/benefit relation. For those using the reinforced vegetable screen sintemax, even though of higher cost, the results on soil loss were inferior to those with the other kinds of treatment.

KEY WORDS: sanitary landfills, final covers, soil bioengineering, revegetation, degraded areas

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1. ÁREAS DEGRADADAS: ASPECTOS GERAIS DO SOLO.....	6
3.2. ATERRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (ADRSU).....	8
3.3. SISTEMA DE COBERTURA FINAL DE ATERROS SANITÁRIOS.....	9
3.3.1. <i>Camada superficial</i>	11
3.3.2. <i>Camada de proteção</i>	13
3.3.3. <i>Camada de drenagem</i>	14
3.3.4. <i>Camada de barreira hidráulica/gás</i>	15
3.3.5. <i>Camada coletora de gás</i>	16
3.3.6. <i>Camada de fundação</i>	17
3.3.7. <i>Interação entre os resíduos e a cobertura final</i>	18
3.3.8. <i>Considerações finais</i>	19
3.4. BIOENGENHARIA DE SOLOS E ENGENHARIA BIOTÉCNICA	21
3.4.1. <i>O uso de geossintéticos na recuperação de áreas degradadas</i>	22
3.5. EROSIÃO DO SOLO	23
3.5.1. <i>Processos erosivos ocasionados pela água da chuva</i>	24
3.5.2. <i>Métodos diretos para determinação de perdas de solo</i>	25
3.5.2.1. Método da chuva natural	25
3.5.2.2. Método da chuva artificial.....	26
3.5.2.3. Determinação de perdas de solo na estabilidade dos agregados	27
3.5.3. <i>Modelagem de perda de solo</i>	28
3.5.3.1. Equação universal de perdas de solo	29
3.6. REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	36
3.6.1. <i>Princípio ecológico para a manutenção e estabelecimento da vegetação</i>	38
3.6.2. <i>Crescimento das plantas</i>	39
3.6.3. <i>Estratégias de adaptação das plantas</i>	40
3.6.4. <i>Importância da vegetação no controle da erosão do solo</i>	41
3.6.5. <i>O papel da vegetação na estabilidade das camadas superficiais dos taludes</i>	42
3.6.6. <i>As espécies vegetais da família Leguminosae</i>	44
3.6.7. <i>As espécies vegetais da família Gramineae</i>	45
3.6.8. <i>Sementes de espécies vegetais</i>	46
3.6.9. <i>O papel da biomassa microbiana</i>	46
3.6.10. <i>Influência de metais pesados</i>	47
3.6.11. <i>Importância dos fertilizantes</i>	48
4. MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	50
4.2. CLIMA E PLUVIOMETRIA.....	51
4.3. COBERTURA FINAL DO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE	51
4.4. DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS	53
4.5. COLETAS, ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS	54
4.5.1. <i>Substrato</i>	54
4.5.1.1. Caracterização química	54
4.5.1.2. Caracterização física	55
4.5.2. <i>Vegetação</i>	56
4.6. SELEÇÃO DAS ESPÉCIES VEGETAIS	59
4.7. AVALIAÇÃO DA PERDA DE SOLO.....	60
4.8. TRATAMENTOS.....	63

4.8.1.	<i>Fertilização do substrato</i>	64
4.8.1.1.	Adubação orgânica.....	64
4.8.1.2.	Adubação química.....	65
4.8.2.	<i>Misturas de espécies vegetais</i>	66
4.8.3.	<i>Materiais geossintéticos</i>	66
4.8.3.1.	Tela Biotêxtil – 400UP SÉRIE ARP-440 (B1).....	66
4.8.3.2.	Tela Sintemax – 400TF (B2).....	67
4.9.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	67
4.10.	IMPLANTAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS PARCELAS NO CAMPO.....	68
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.1.	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE O EXPERIMENTO.....	70
5.2.	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SUBSTRATO.....	71
5.2.1.	<i>Fertilidade do solo</i>	71
5.2.2.	<i>Metais pesados</i>	76
5.3.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SUBSTRATO.....	79
5.3.1.	<i>Teor de umidade</i>	79
5.3.2.	<i>Densidade do solo</i>	79
5.3.3.	<i>Porosidade do solo</i>	81
5.3.4.	<i>Permeabilidade do solo</i>	81
5.3.5.	<i>Granulometria do solo</i>	82
5.3.6.	<i>Limite de liquidez e Limite de plasticidade</i>	82
5.3.7.	<i>Estabilidade dos agregados</i>	83
5.4.	CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	85
5.4.1.	<i>Germinação</i>	85
5.4.2.	<i>Crescimento e desenvolvimento</i>	86
5.4.3.	<i>Densidade populacional, produção de matéria fresca e seca da parte aérea da planta</i>	92
5.4.4.	<i>Taxa de cobertura vegetal</i>	106
5.5.	PERDA DE SOLO.....	111
5.6.	EFEITOS DELETÉRIOS OBSERVADOS NA REVEGETAÇÃO.....	119
5.7.	ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	121
6.	CONCLUSÕES.....	123
6.1.	CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATO.....	123
6.2.	CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	124
6.3.	PERDA DE SOLO.....	126
6.4.	EFEITOS DELETÉRIOS.....	127
6.5.	CUSTO.....	127
6.6.	SUGESTÃO DE CRITÉRIOS DE IMPLANTAÇÃO DE CAMADAS DE COBERTURA FINAL.....	127
6.6.1.	<i>Construção da camada de cobertura final</i>	127
6.6.2.	<i>Revegetação da camada de cobertura final</i>	129
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	131
8.	REFERÊNCIAS.....	133
9.	ANEXOS.....	141

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Aspectos a serem considerados na seleção da técnica mitigadora	8
FIGURA 3.2 – Configuração típica da camada de cobertura final de ADRSU	11
FIGURA 3.3 – Sistemas de camadas para coleta de gases com geossintéticos e solo.....	17
FIGURA 3.4 – Camada de cobertura final de ADRSU para baixas percolações de líquidos	20
FIGURA 3.5 – Camada de cobertura final de ADRSU para médias percolações de líquidos.....	20
FIGURA 3.6 – Camada de cobertura final de ADRSU para altas percolações de líquidos.....	20
FIGURA 3.7 – Tipos de RECP: (a) material fibroso ou linho; (b) material de palha vegetal; (c) material sintético.	23
FIGURA 3.8 – Método da chuva natural para avaliação de perda de solo por sistemas de coletores	26
FIGURA 3.9 – Método artificial de avaliar perda de solo através do simulador de chuva	27
FIGURA 3.10 – Sistema hidrológico, erosivo e de nutrientes relatados no papel da bioengenharia	44
FIGURA 3.11 – Aspecto geral da família <i>Leguminosae</i>	45
FIGURA 3.12 – Aspecto geral da família <i>Gramineae</i>	46
FIGURA 4.1 – Localização da área de disposição de resíduos sólidos urbanos aterro sanitário de Belo Horizonte: (a) construção da cobertura final; (b) área das parcelas do experimento.....	50
FIGURA 4.2 – Aspecto heterogêneo do material depositado na cobertura final do ADRSU de Belo Horizonte	52
FIGURA 4.3 – Corte vertical da cobertura final do ADRSU de Belo Horizonte	53
FIGURA 4.4 – Detalhe das parcelas construídas: (a) vista lateral; (b) vista frontal.....	54
FIGURA 4.5 – Teste de germinação em laboratório: (a) caixa de germinação - Gerbox; (b) germinador de semente.....	57
FIGURA 4.6 – Avaliação da cobertura vegetal com o método do quadrante.....	58
FIGURA 4.7 – Detalhes dos canalizadores de sedimento: (a) parcela individual com o canalizador na base do talude; (b) canalizadores ao longo das parcelas no talude.	60
FIGURA 4.8 – Coleta da perda de solo: (a) medição do volume; (b) coleta da alíquota.	61
FIGURA 4.9 – Distribuição dos tratamentos no experimento.....	64
FIGURA 4.10 – Detalhe do coletor de sedimento: (a) conexão dos conjuntos de coletores (canalizador + tubo + coletor); (b) coletor na base da parcela.....	69
FIGURA 4.11 – Detalhe esquemático de uma parcela	69
FIGURA 5.1 – Perfil de variação da precipitação pluviométrica e temperatura	70
FIGURA 5.2 – Perfil de variação da umidade relativa	71
FIGURA 5.3 – Teores químicos do substrato: (a) teores de M.O.; (b) variação de pH em água.	73
FIGURA 5.4 – Teores químicos do substrato: (a) teores de P e K; (b) teores de Al, Ca e Mg	74
FIGURA 5.5 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Cr; (b) teores Cu.	77
FIGURA 5.6 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Ni; (b) teores de Pb.....	77
FIGURA 5.7 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Zn; (b) teores de Hg.....	78
FIGURA 5.8 – Teores químicos do substrato: (a) variação de densidade do solo; (b) variação porosidade e umidade do solo.....	80
FIGURA 5.9 – Caracterização física do substrato de parcelas em diferentes posições no talude: (a) variação de densidade aparente do solo; (b) variação de umidade do solo.....	81
FIGURA 5.10 – Teores químicos do substrato: (a) variação de granulometria do solo; (b) variação de plasticidade do solo.	82
FIGURA 5.11 – Distribuição média dos agregados do solo por classe de diâmetro	84

FIGURA 5.13 – Porcentagem de germinação de sementes em laboratório das espécies vegetais utilizada na pesquisa	86
FIGURA 5.14 – Caracterização inicial fisiológica das espécies vegetais: (a) Engrossamento e crescimento lateral da raiz primária do nabo forrageiro; (b) amarelecimento foliar de braquiária; (c) presenças de rizóbio em raiz de feijão guandu.	89
FIGURA 5.15 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade da raiz de feijão guandu; (b) densidade da raiz de c. juncea.	90
FIGURA 5.16 – Aspecto geral da densidade de raiz: (a) raízes de b. decumbens; (b) raízes de feijão guandu. ..	91
FIGURA 5.17 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade de raiz de b. decumbens; (b) densidade de raiz de colômbio.	91
FIGURA 5.18 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade de raiz de feijão-de-porco; (b) densidade de raiz de c. breiflora.	92
FIGURA 5.19 – Valores médios dos teores de fitomassa seca total da parte aérea e densidade populacional dos diferentes tratamentos após 30 dias de implantação.....	96
FIGURA 5.20 – Boxplot do teor de fitomassa seca da parte aérea dos diferentes tratamentos após 12 meses de implantação	97
FIGURA 5.21 – Teores de fitomassa seca de b. brizantha e b. humidicola: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.....	99
FIGURA 5.22 – teores de fitomassa seca de colômbio: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.	100
FIGURA 5.23 – Teores de fitomassa seca de feijão-de-porco: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.	100
FIGURA 5.24 – Histograma dos teores de fitomassa seca de c. breiflora: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.....	101
FIGURA 5.25 – Histograma dos teores de fitomassa seca de feijão guandu: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.....	102
FIGURA 5.26 – Histograma dos teores de fitomassa seca de b. ruziziens: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.....	102
FIGURA 5.27 – Histograma dos teores de fitomassa seca de c. juncea: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.	103
FIGURA 5.28 – Histograma dos teores de fitomassa seca (a) e comprimento da parte aérea de c. ochroleuca (b)	103
FIGURA 5.29 – Histograma dos teores de fitomassa seca (a) e comprimento da parte aérea de b. decumbens (b)	104
FIGURA 5.30 – Aspecto geral da revegetação da cobertura final com espécies Gramínea em janeiro de 2005: (a) altura da vegetação; (b) densidade da vegetação.....	104
FIGURA 5.31 – Aspecto geral da revegetação da cobertura final com espécies Leguminosas em janeiro de 2005: (a) altura da vegetação; (b) densidade da vegetação.....	105
FIGURA 5.32 – Incorporação natural de matéria orgânica ao solo pelo consórcio de vegetação após um período de 4 meses	106
FIGURA 5.33 – Variação da cobertura vegetal em outubro de 2004.....	107
FIGURA 5.34 – Variação da cobertura vegetal em março de 2005	109
FIGURA 5.35 – Correlação entre a teor de fitomassa e a cobertura vegetal após 12 meses de implantação	110
FIGURA 5.36 – Variação média da cobertura vegetal para as diferentes período de avaliação	110
FIGURA 5.37 – Aspecto geral da taxa de recobrimento: (a) recobrimento com manta biotêxtil – B1M1; (b) recobrimento com manta sintemax – B2M1.....	112
FIGURA 5.38 – Aspecto geral das erosões em sulcos das parcelas: (a) ausência de manta vegetal - ASB; (b) ausência de manta e semente - AP.....	112
FIGURA 5.39 – Aspecto geral das falhas de recobrimento e presença de erosões: (a) recobrimento com manta biotêxtil - B1M3; (b) recobrimento com manta sintemax - B1M2.....	113

FIGURA 5.40 – Índices de erodibilidade do solo	114
FIGURA 5.41 – Perda de solo em evento pluviométrico acumulado para os diferentes tratamentos	115
FIGURA 5.43 – Aspecto geral da perda de solo nas alíquotas para os diferentes tratamentos: (a) Área sem biomanta; (b), Área piloto; (c) Área com B1; (d) Área com B2.....	116
FIGURA 5.43 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.....	117
FIGURA 5.44 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.....	117
FIGURA 5.45 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.....	118
FIGURA 5.46 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.....	118
FIGURA 5.47 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.....	119
FIGURA 5.48 – Caracterização da principal praga e hospedeiro: (a) estágio larval da lagarta-do-cartucho; (b) desfolhamento no feijão-de-porco após 35 dias de implantação; (c) estágio adulto da lagarta-do-cartucho.....	120
FIGURA 5.49 – Aspectos gerais negativos: (a) ataque constante de saúvas na espécie feijão guandu; (b) recobrimento da vegetação com resíduos sólidos urbanos.	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Classe de interpretação para índices de erosividade.....	32
TABELA 3.2 – Classe de interpretação para os valores de erodibilidade	33
TABELA 3.3 – Valores de LS para as diferentes classes de talude.....	34
TABELA 3.4 – Valor do fator de cobertura para situações de solo natural e culturas agrícolas	35
TABELA 3.5 – Valores de práticas conservacionistas para perda de solo	36
TABELA 3.6 – Perda anual de solo e água sob diferentes sistemas de cultura	41
TABELA 4.1 – Métodos utilizados para caracterização química do substrato.....	55
TABELA 4.2 – Métodos de caracterização física do substrato	56
TABELA 4.3 – Caracterização geral das espécies vegetais utilizadas no experimento.....	59
TABELA 4.4 – Análises do composto orgânico coletado em novembro de 2003.....	65
TABELA 4.5 – Grupos de espécies vegetais separadas em Mistura 1, 2, 3 e 4.....	66
TABELA 4.6 – Especificação técnica do material de recobrimento	67
TABELA 4.7 – Especificação técnica do material de recobrimento	67
TABELA 5.1 – Caracterização geral química do substrato	75
TABELA 5.2 – Resultados médios do grau de acidez e teor de nutrientes para as diferentes posições no talude.	75
TABELA 5.3 – Resultados médios da umidade e densidade aparente do substrato para as diferentes posições no talude	80
TABELA 5.3 – Resultados médios da estabilidade dos agregados em água e testes dos teores de agregados para as diferentes posições no talude, por classe de tamanho	84
TABELA 5.4 – Testes estatísticos dos resultados médios do lote de sementes testados em laboratórios (Kruskal & Wallis, 1952).	86
TABELA 5.5 – Resultados do comportamento das espécies aos 40 dias após a implantação: facilidade de atravessar a tela vegetal (FATV), crescimento inicial (CI), emissão de flor e fruto (EFF)	88
TABELA 5.6 – Valor médio de densidade populacional, produção de matéria fresca e seca da parte aérea de Gramíneas e Leguminosas após 30 dias de implantação	94
TABELA 5.7 – Valores médios de densidade populacional e fitomassa verde e seca aos 30 dias pós implantação: tratamento experimental (TRAT), espécies vegetais (EV), número de indivíduos/m ² (NI), peso da massa verde (PMV), peso da massa seca (PMS).....	95
TABELA 5.8 – Estatística básica da concentração de fitomassa seca da parte aérea aos 12 meses	98
TABELA 5.9 – Dados dos teores de cobertura vegetal aos 7 meses de implantação	108
TABELA 5.10 – Dados dos teores de cobertura vegetal aos 12 meses de implantação	109
TABELA 5.11 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas de crescimento da taxa de cobertura vegetal avaliadas em duas épocas distintas	111
TABELA 5.12 – Custos de implantação e manutenção dos diferentes tratamentos	122
TABELA 6.1 – Resultados gerais das espécies vegetais na cobertura final no ADRSU e Belo Horizonte – EV (espécie vegetal), TGL (Taxa de germinação em laboratório), DIC (Densidade Inicial em Campo). FAB (Facilidade de atravessar a biomanta), EFF (Emissão de flores e frutos), TF (Teor de fitomassa), PAP (Parte aérea da planta), DRP (Densidade de raiz da planta), CIMOS (Capacidade de incorporar M.O. ao solo), FS (Facilidade simbiótica).	129
TABELA 6.2 – Resultados gerais dos tratamentos experimentais no ADRSU de Belo Horizonte - Germinação inicial (GI), TFA (Teor de fitomassa por área), TCA (Taxa de cobertura por área) e RPS (Redução na perda de solo).....	130

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADRSU	Aterro de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos
ASTM	American Society for Testing and Materials
BT	Baixo do talude
CETEC-MG	Centro Tecnológico de Minas Gerais
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DEFLOR	Defesa Florestal Ltda
DDC	Deep Dynamic Compaction
DMP	Diâmetro Médio Ponderado
DMG	Diâmetro Médio Gravimétrico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GCL	Geosynthetic Clay Liners
H : V	Horizontal : Vertical
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MT	Médio do talude
NBR	Norma Brasileira Registrada
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PRCE	Produto em Rolo para Controle de Erosão
PVC	Polivinil Clorídrico
RAD	Revegetação de Área Degradada
RECP	Rolled Erosion Control Products
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SLU	Superintendência de Limpeza Urbana
SMLU	Secretaria Municipal de Limpeza Urbana
TT	Topo do talude
USDA	Soil Conservation Service
USLE	Universal Soil Loss Equation
400 UP	Especificação da biomanta (1 rede polipropileno + Palha)
400 TF	Especificação da biomanta (3 rede polipropileno + Fibra)
SÉRIE ARP – 440	Número do registro da biomanta (Biotêxtil)

LISTA DE SÍMBOLOS

Al ³⁺	Alumínio
C	Carbono
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Ca ²⁺	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Hg	Mercúrio
IP	Índice de plasticidade
ind.	indivíduo
K	Potássio
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
m	Índice de Saturação de Alumínio
Mg ²⁺	Magnésio
ML	Textura silte arenosa
M.O.	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
NPK	Nitrogênio Fósforo Potássio
pH	Potencial de hidrogênio
P	Fósforo
Pb	Chumbo
ρ	Peso específico aparente
ρ_s	Massa específica dos grãos
ρ_d	Massa específica dos grãos seco
Sd	Desvio padrão
SB	Soma de Bases Trocáveis
SC	Textura areia argilosa
T	Capacidade efetiva de troca de cátions
UFC	United Faecal Coliforms
V	Valor de saturação em base
Zn	Zinco

1. INTRODUÇÃO

O número crescente de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos (ADRSU) atualmente desativados, em desativação, ou em processo de remediação, aumenta a preocupação quanto ao uso futuro dessas áreas e sua recuperação para benefício da população, a qual deve ser compensada pelos prejuízos sofridos durante o período de operação do aterro. A implantação e a operação desses empreendimentos envolve constantes atividades de remoção, adição e/ou substituição do solo, tornando-os bastante adversos e provocando profundas modificações no equilíbrio ambiental dos ecossistemas dos solos, podendo demandar dezenas de anos para adquirir níveis adequados de equilíbrio ambiental (Sousa et al.,2002).

Esses solos, os quais podemos chamar de substrato, ao fazer parte das camadas de cobertura final dos ADRSU, além de estarem desprovidos de atributos físicos e químicos que permitam a colonização biológica, apresentam-se suscetíveis à ação dos processos erosivos.

Existem muitas dificuldades técnicas para a reabilitação ambiental desse ambiente, uma vez que envolvem fatores dependentes de características biológicas, climáticas e ambientais, intrínsecas ao local de estudo. Além do fato de existirem nos resíduos sólidos urbanos (RSU), poluentes como gases e metais tóxicos, propiciando um ambiente ainda mais adverso.

Portanto, são necessários os diagnósticos, análises e monitoramentos dos impactos e medidas remediadoras no intuito de verificar a situação real para não resultar em custos desnecessários. Em um adequado planejamento conservacionista, é necessário que se conheça no local os fatores que influenciam no sucesso das técnicas a serem implantadas. Por essa razão, torna-se imperativo o estudo de alguns fatores como a chuva, o solo e a vegetação, de tal maneira que esses conhecimentos possam fornecer subsídios para a implementação de estratégias de manejo que visem à manutenção dos recursos naturais.

Assim como a maioria dos outros países, a legislação brasileira exige que áreas degradadas por atividade antrópicas devam ser remediadas, para minimizar a interferência ambiental e restaurar essas áreas. No caso específico dos ADRSU, as áreas deverão ser utilizadas para outros fins, como parques ecológicos, campo de futebol e/ou estacionamentos (Andrade & Mahler, 2000). Diante disso, algumas técnicas têm sido utilizadas dentro de programas de

recuperação ambiental para este tipo de ambiente. A bioengenharia parece ser uma solução adequada para esses fins e sua adequabilidade a ambientes diversificados precisa ser testada e monitorada.

Há tentativas de ajustar práticas de preparo do solo e de manejo de restos culturais para mantê-lo com características físicas desejáveis ao desenvolvimento vegetal e à conservação do solo e da água, o que é objetivo de muitos pesquisadores.

Práticas de manejo e conservação, como o emprego de plantas de cobertura, são relevantes para a manutenção ou melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos. A adubação verde consiste no emprego de espécies de diferentes famílias botânicas, nativas ou introduzidas, que cobrem o terreno em períodos de tempo ou durante todo o ano.

Portanto, o uso da cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais para as camadas de cobertura final de ADRSU poderá ser uma opção coerente, prática e econômica, embora apresente dificuldades de adaptação em função das características geométricas da área (declividade do terreno) e da composição física e química do substrato. Nesse caso, é necessário conhecer as espécies vegetais que podem ser incluídas em determinado sistema de utilização de culturas, bem como as suas características individuais como raízes, folhas, caules, crescimento e cobertura, visando adequá-las corretamente no local onde serão implantadas.

Embora existam muitas metodologias que instrumentalizam o objetivo de construir ou reorganizar um ecossistema vegetal, uma abordagem científica dessa questão implica em se conhecer a complexidade dos fenômenos que se desenvolvem nesse ambiente e compreender os processos que levam a estruturação e manutenção desses ecossistemas no tempo (Rodrigues, 1999).

A remediação de áreas degradadas com a utilização de espécies vegetais, além do efeito visual e protetor, é geralmente uma exigência legal e um compromisso social que precisam ser executados, criando uma enorme demanda tecnológica, oportunidades de pesquisa científica e oferecendo grandes possibilidades de negócios (Accioly & Siqueira, 2000).

A preocupação de se conhecer melhor os ADRSU iniciou-se ao longo destas últimas décadas, devido não somente ao grande volume de resíduos que estavam sendo dispostos de maneira

incorreta, mas também às possíveis influências desse tipo de ambiente para as demais áreas próximas. Estas preocupações se tornam cada vez maiores, à medida que esses aterros têm suas atividades encerradas, o que tem obrigado os municípios a terem junto ao órgão ambiental competente um projeto de controle ambiental aprovado e com uma seqüência de condicionantes para evitar grandes danos ao meio ambiente.

A reabilitação da superfície desses ADRSU é um dos critérios condicionantes para a obtenção do seu licenciamento ambiental. No entanto, existem no nosso país poucas técnicas conhecidas e que demonstram soluções eficientes para esse tipo de ambiente.

Boa parte das administrações dessas áreas não possui uma preocupação com a implantação da cobertura vegetal dessas superfícies, causando então grandes transtornos à população que tem acesso direto e indireto a elas.

Hoje, no Brasil, existem poucos trabalhos com o objetivo de desenvolver técnicas com espécies vegetais ou até mesmo selecionar espécies que sejam adaptadas a esse tipo de ambiente. Talvez seja pela pouca disponibilidade de áreas que já tenham encerrado suas atividades de disposição de RSU, ou até mesmo pela dificuldade de conhecer espécies que se adaptam a esse ambiente, que é bastante diversificado. Portanto, para um programa de recuperação de ambientes degradados, vários tipos de técnicas de revegetação podem ser planejadas, dependendo, basicamente, das potencialidades locais e dos objetivos a serem atingidos.

Portanto, o trabalho a ser realizado vem demonstrar a importância de se conhecer o impacto ambiental dessas áreas, além de um estudo que busca contribuir para o estabelecimento de critérios técnicos/científicos na construção dessas camadas de cobertura final bem como a utilização das técnicas de bioengenharia como solução de reabilitação ambiental.

A estrutura desta dissertação é constituída de objetivo geral e específicos, revisão bibliográfica, onde são descritos, de maneira sucinta os critérios técnicos utilizados no projeto de ADRSU, sua importância, bem como a caracterização dos métodos utilizados para a reabilitação ambiental de áreas degradadas. No capítulo Material e Métodos, são descritas as técnicas que foram selecionadas e aplicadas em campo. No capítulo Resultados e Discussão, são apresentados e comentados os dados obtidos em campo e em laboratório. Por fim, são

apresentadas as conclusões do trabalho e as recomendações para a ampliação e aprofundamento da pesquisa iniciada.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo geral*

Avaliar, a partir da implantação de experimento em escala de demonstração, o desempenho de técnicas de bioengenharia na conservação e proteção das camadas de cobertura final dos taludes de um aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos, contribuindo para o desenvolvimento de uma tecnologia a ser utilizada na revegetação das camadas de cobertura final que atendam às exigências legais e técnicas de um aterro sanitário.

2.2. *Objetivos específicos*

- Caracterizar os substratos utilizados nas camadas de cobertura final dos taludes estudados, nos aspectos agronômicos e geotécnicos;
- Avaliar os teores de metais pesados na camada superficial da cobertura final do aterro sanitário;
- Avaliar, no campo e em laboratório, a porcentagem de germinação das espécies vegetais que foram implantadas;
- Verificar o teor de fitomassa para os diferentes consórcios de espécies vegetais;
- Avaliar a sobrevivência das espécies vegetais em relação ao seu crescimento e desenvolvimento na camada de cobertura final;
- Verificar a capacidade de recobrimento vegetal nos diferentes consórcios de espécies gramíneas e leguminosas;
- Avaliar a eficiência de diferentes tipos de biomantas e misturas de espécies vegetais quanto à capacidade de diminuir a perda de solo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. *Áreas degradadas: aspectos gerais do solo*

O conceito de degradação do solo é bastante amplo e, de maneira geral, é resultado das atividades humanas depredadoras e sua interação com o ambiente natural. Na ciência do solo tem-se procurado solucionar essa dificuldade a partir da premissa de que a degradação do solo está associada à própria definição de qualidade do solo, ou seja, à medida que as características que determinam a qualidade de um solo forem alteradas, estabelece-se um processo de degradação (Dias & Griffith, 1998).

A degradação do solo está relacionada também à alteração das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto aos seus potenciais (ABNT, 1989). Outros autores citam a degradação do solo como um declínio da qualidade causada pelo mau uso humano, ocasionando, portanto, uma certa dificuldade de crescimento e adaptação de plantas (Lal e Stuart, 1990 apud Reinert, 1998).

Segundo Reinert (1998), há três principais tipos de degradação do solo, sendo elas a degradação física, que se refere às condições ligadas à forma e estabilidade da estrutura do solo, a degradação biológica, que está relacionada com a redução da matéria orgânica, atividade e diversidade de organismos, e a degradação química, que é reflexo da retirada e saída de nutrientes por acúmulo de elementos tóxicos e/ou desbalanceados no solo.

A degradação do solo tem sido alvo de mais estudos, na medida que grandes áreas vão sendo incorporadas ao processo produtivo, tanto em nível de produção, propriamente dita, quanto em ampliação da infra-estrutura, tais como: aterros, barragens, estradas e conjuntos habitacionais.

Os fundamentos legais da obrigação de reabilitar as áreas degradadas dispõem sobre a regulamentação de que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (Castro, 1998; PNMA, 1989).

A reabilitação de áreas degradadas, portanto, se fundamenta na obrigação de reparar danos causados ao meio ambiente. Esse dano, inclusive em atividades exigidas por lei, como por

exemplo, a disposição final de RSU, visa tanto quanto seja possível repor a área degradada a sua condição anterior.

Mais especificamente para os ADRSU, há exigências legais onde o projeto do sistema de cobertura final deve ser elaborado de forma a minimizar a infiltração de água para o interior do aterro, demandar pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, suportar recalques/assentamento e possuir coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro. A vegetação deve ser implantada, uma vez que pode melhorar as condições ambientais da área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, formação de poeira e transporte de odores (ABNT, 1997; ABNT, 1987).

De acordo com a Norma Americana (CFR, 2002) a camada de cobertura final deve ter permeabilidade inferior à permeabilidade de um solo natural, ou seja, um coeficiente de permeabilidade inferior à 1×10^{-5} cm/s. Esta norma regulamenta também que deve construir uma camada de solo que contenha no mínimo 45 cm de profundidade. Nesta camada superficial adicionar uma camada mínima de 15cm de solo que tenha condições mínimas de promover o crescimento de plantas.

A recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com o plano preestabelecido para uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa, também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (IBAMA, 1990).

Dentro do objetivo de recuperar um solo, o seu processo de manejo deve ser elaborado de tal forma a criar condições para que uma área perturbada ou mesmo natural, seja adequada a seus usos. Para determinar a melhor solução técnica é preciso considerar uma série de fatores que podem influenciar diretamente e indiretamente o meio, ou seja, é um processo complexo e específico a cada situação, devendo ser considerados diversos aspectos; como mostrado na FIG. 3.1.

No caso dos ADRSU, esta recuperação demanda um trabalho intenso, devido a grande variabilidade do material existente na cobertura final, uma vez que é constituído de solo, resíduos de construção civil e, muitas vezes, do próprio RSU, contribuindo então para dificultar a revegetação da área em questão.

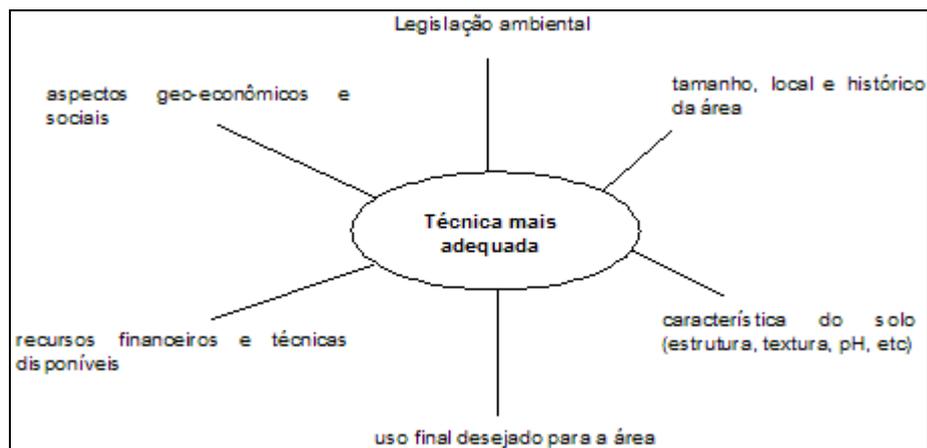


FIGURA 3.1 – Aspectos a serem considerados na seleção da técnica mitigadora
 Fonte: Adaptado de Accioly & Siqueira, (2000).

Num programa de recuperação de ambientes degradados, vários tipos de revegetação podem ser planejados, dependendo, basicamente, das potencialidades locais e dos objetivos a serem atingidos como exemplo, o uso de espécies vegetais associadas a microrganismos (Moreira & Siqueira, 2002).

Para a revegetação de áreas com subsolo exposto e no caso dos nutrientes cuja principal fonte é a matéria orgânica do solo, o que se busca é adicionar nutrientes suficientes e de tal forma que atenda ao crescimento inicial das plantas e que a própria biomassa, ao ser reciclada, passe a suprir as necessidades do sistema (Siqueira & Franco, 1998).

3.2. Aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos (ADRSU)

Aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar, que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública (IPT, 2000).

Segundo a norma (ABNT, 8419/92), aterro sanitário é “uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário”.

De acordo com a classificação dos resíduos depositados (ABNT, 10004/04), ocorrerão diferentes tipos de impactos no local, devendo ser desenvolvidos projetos adequados a cada tipo de resíduo (Gill et al., 1999).

Portanto, ao se construir um aterro sanitário, o projeto deverá ser concebido a fim de estabilizar o material depositado, influenciando o mínimo possível o ambiente externo. Neste aspecto, segundo IPT (2000), para que um ADRSU possa ser desativado, a meta é estabilizá-lo (física, química e biologicamente) e, após esta estabilização (período geralmente não inferior a 10-15 anos após encerramento da disposição de lixo), destiná-lo a um uso compatível.

Grandes construções, sobretudo para moradias, deverão ser evitadas, utilizando-se o local para áreas de recreação comunitária como parques e campos para práticas esportivas (IPT, 2000). Porém, mesmo durante o uso para as recreações comunitárias, manutenções e reparos são necessários por vários motivos, tais como recalques e fenômenos erosivos.

3.3. Sistema de cobertura final de aterros sanitários

O sistema de cobertura final dos ADRSU faz parte do plano de encerramento das atividades do aterro sanitário e deve ser projetado e implantado de modo a garantir a estabilidade física, química e biológica da área, até que o local se encontre em condições de ser preparado para a sua utilização futura (Koerner & Daniel, 1997; IPT, 2000).

A camada de cobertura final deverá ser concebida de maneira a evitar a proliferação de vetores de doenças, a catação por moradores da região, a infiltração de líquidos e o escape de gases para a atmosfera, reduzir fenômenos erosivos e problemas de poluição atmosférica (poeira), além de possibilitar a reintegração ambiental da área, minimizando os impactos visuais. Para atingir esses objetivos a camada de recobrimento deve apresentar, entre outras uma certa resistência às condições climáticas (variações de temperatura e umidade), capacidade para absorver recalques acentuados, trincas, rupturas e rastejos, capacidade de suporte de sobrecargas oriundas de tráfego de veículos durante as operações de encerramento do aterro e resistência a ataques químicos causado por gases, plantas e resíduos (Koerner & Daniel, 1997).

Segundo Koerner & Daniel (1997), o sistema de cobertura final convencional de um ADRSU deve ser constituído dos seguintes componentes: (1) camada superficial; (2) camada de proteção; (3) camada de drenagem, (4) camada de barreira de gás/hidráulica, (5) camada coletora de gás e (6) camada de fundação, conforme mostrado na FIG. 3.2. A configuração típica inclui essas seis camadas acima dos resíduos, no entanto, alguns projetos empregam só algumas destas camadas (IPT, 2000).

A interação dos elementos que compõem o projeto de aterro sanitário é dependente de características locais específicas. Dentre estas características que têm uma certa influência para o projeto de construção da cobertura final, estão clima, solo, tipo de resíduo, hidrogeologia, produção de gás, ambiente sísmico e destino de uso do aterro (Gill et al., 1999).

O clima está relacionado com a precipitação (chuva, neve, e granizo), radiação solar, temperatura e vento. O fator climático que mais afeta a cobertura final do ADRSU é a precipitação, pois está relacionado principalmente à infiltração de água e, conseqüentemente, na perda de material que foi utilizado para a própria cobertura.

Quanto ao material utilizado para a construção da cobertura final, a sua disponibilidade em local apropriado é uma consideração importante em qualquer projeto de aterro. Os materiais de cobertura são necessários freqüentemente para a fundação, cobertura final e entre camadas de RSU do ADRSU, que serão compactados ao longo da sua disposição na área (Koerner & Daniel, 1997).



FIGURA 3.2 – Configuração típica da camada de cobertura final de ADRSU
 Fonte: Koerner & Daniel, (1997); Gill et al. (1999); IPT, (2000).

No Brasil ainda são raros os aterros que recebem esquemas de recobrimento final tão sofisticados. Em geral, os recobrimentos aqui utilizados caracterizam-se por uma camada de solo argiloso pouco erodível, de espessura variando entre 0,6 a 1,5m, sobre a qual é realizada a implantação da vegetação, normalmente espécies gramíneas.

3.3.1. Camada superficial

A camada mais externa constitui o que se denomina “topsoil”. É uma das mais importantes, camadas de cobertura final de um ADRSU, pois é a camada que forma, protege e dá sustentabilidade à vegetação (Gill et al., 1999). Normalmente esta camada é constituída de uma estrutura de raízes de plantas que cresce e protege o sistema de cobertura final da ação de ventos e chuvas, minimizando, desta forma, os processos erosivos. Este tipo de camada é bastante utilizada em regiões mais áridas para dar condições mínimas de crescimento vegetativo.

Para a camada superficial o material mais comumente usado é o solo fertilizado, ou seja, com os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento da vegetação e que também possua certas propriedades físicas adequadas, como capacidade de armazenamento de água para consumo das plantas (Gill et al., 1999). Em relação à esta qualidade química, os fatores mais importantes são o pH, CTC e alguns macronutrientes como N, P e K.

O melhor sucesso de cobertura tem-se obtido pelo uso de espécies gramíneas ou dicotiledôneas (<100 cm). Em estudos realizados sobre vegetação nestes ambientes têm-se avaliado os tipos de espécie, taxa de germinação, período de germinação e capacidade de adaptação. (Koerner & Daniel, 1997; Gill et al., 1999). Com as espécies implantadas no aterro as considerações que devem ser utilizadas como critério de seleção são a sua capacidade de se manter perene, resistir às temperaturas extremas do aterro, possuir enraizamento acima da camada de drenagem, adaptação sem necessidade de práticas agrícolas como a adubação e ter boa capacidade de recobrimento para o controle de erosão (Koerner & Daniel, 1997).

O “topsoil” vegetado ajuda a minimizar as erosões e promove a evapotranspiração. O principal inconveniente destas camadas para as plantas é a sua pequena espessura (15 cm), que pode comprometer o crescimento de algumas espécies que possuem o enraizamento mais profundo, como arbustos e árvores. A utilização de espécies com essas características, além de comprometer as camadas de drenagem, grandes massas de solos poderão ser mobilizadas (Koerner & Daniel, 1997).

Atualmente, o “topsoil” é o componente mais caro do sistema de cobertura devido à alta demanda e pouca disponibilidade de materiais adequados. Em se tratando de qualidade intrínseca do material a ser utilizado, os solos que promovem e sustentam o crescimento das plantas são aqueles tipicamente de textura franca, ou seja, solos com proporções semelhantes das frações granulométricas (areia, silte e argila). Alguns pesquisadores dizem que o solo mais apropriado para este fim é aquele que possui as características específicas exigidas pela vegetação que será utilizada para a cobertura dessas camadas. Outro fator importante para a seleção do material é a proximidade e disponibilidade no mercado, contribuindo assim para evitar maiores custos de transporte (Koerner & Daniel, 1997).

Outros materiais como resíduos de demolição e construção são utilizados na camada superficial. Na verdade qualquer material que seja considerado seguro e estável para o sistema de cobertura pode ser considerado como material alternativo de cobertura. Materiais muito grosseiros devem ser evitados, pois retêm pouca umidade durante o período de seca e comprometem a sustentabilidade de água por parte da vegetação.

Para a construção dessas camadas, se utilizado o “topsoil”, a compactação na superfície deve ser a mínima possível para facilitar o enraizamento das plantas. A densidade da camada

superficial vai depender de diversos fatores dentre eles o clima, o tipo e taxa de crescimento das espécies e tipo de material utilizado.

Dependendo do tipo de camada localizada abaixo da camada superficial, boa parte da água de chuva poderá entrar no sistema das camadas, comprometendo o desempenho de todo o conjunto. Frequentemente devem ser realizadas rotinas de manutenção nas camadas superficiais, devido à sua suscetibilidade à erosão, especialmente após o encerramento das atividades.

3.3.2. Camada de proteção

A camada de proteção está localizada logo abaixo da camada superficial, normalmente não há uma distinção entre elas. Esta camada deve ser bem separada das camadas de drenagem e de barreira de forma a impedir o excesso de umidade e secagem das demais camadas abaixo, impedir a escavação de animais, o enraizamento de plantas e acesso de catadores de resíduos da região. Sua função básica é armazenar a água que está na camada acima e proteger as camadas que estão abaixo. Nem todos os ADRSU possuem esta camada, neste caso a camada superficial pode estar ligada diretamente na camada de drenagem ou de barreira. As camadas podem ser bastante espessas (>1,5 m) para evitar erosões em sulcos e expor as camadas mais inferiores.

Se acima da camada de proteção existir a camada de cobertura vegetal, a camada de proteção deverá ter as seguintes características: armazenar todo o sistema complexo de raízes de plantas até crescimento máximo esperado, minimizar o contato entre as raízes de plantas e as camadas abaixo da camada de proteção, atuar no equilíbrio entre a drenagem e o armazenamento de água para as plantas durante o período seco, prevenir o acesso de animais escavadores, proteger as camadas abaixo da flutuação de úmido/seco e congelado/descongelado e ter a densidade suficiente para evitar grandes perdas de solo por erosão (Koerner & Daniel, 1997).

O material mais comumente utilizado é o mesmo utilizado para camada superficial, para auxiliar na cobertura vegetal, mais especificamente sustentar a estrutura de raízes de plantas. A utilização de materiais de textura mais fina poderá dificultar o estabelecimento das plantas pelo excesso de água na superfície, durante os períodos intensos de chuva. Materiais muito arenosos podem dificultar a retenção de água e aumentar a lixiviação de nutrientes, empobrecendo as camadas superficiais. Pelo fato da camada de drenagem estar localizada

logo abaixo da camada de proteção, o que se busca é utilizar um material que atue no equilíbrio do armazenamento em todas as camadas.

Um dos grandes problemas dessa camada, dependendo do tipo de material, é a tendência do aumento da capacidade de armazenamento de água e a diminuição da taxa evapotranspiração. Deve-se evitar a utilização de materiais expansivos e suscetíveis à grandes contrações, o que pode provocar trincas no sistema de camadas (Koerner & Daniel, 1997).

Dependendo das condições climáticas do local, podem acontecer ao longo do tempo, algumas instabilidades na interface entre a camada de proteção e de barreira. Portanto, um adequado projeto de sistema de cobertura final deve ser aquele no qual, para todas as camadas, se trabalha com um fator de segurança, evitando assim grandes desastres ambientais. Caso o projeto não tenha nenhuma margem de segurança, as camadas deverão ser preenchidas ou substituídas por materiais mais resistentes, como solo de outras texturas, associados ou não com geomembranas, adicionar camada de drenagem, corrigir declividade de taludes ou reforçar o solo com geogrelha e geotêxtil (Koerner & Daniel, 1997).

3.3.3. Camada de drenagem

A camada de drenagem está localizada entre a camada de proteção e a camada de barreira. Esta camada é muito importante, pois, tem as funções de reduzir a presença de água no sistema de cobertura. Mais especificamente, drenar constantemente a camada de proteção, aumentando a sua capacidade de armazenamento de água, reduzindo as poro-pressões das camadas de barreira e contribuindo para o aumento da estabilidade dos taludes.

Os tipos de materiais mais utilizados são areia ou pedregulho, geossintéticos (geotêxteis e georedes). Normalmente são utilizados materiais granulares, que podem perfurar a geomembrana, comprometendo o seu desempenho. Para evitar este tipo de problema, tem-se utilizado entre as camada de drenagem e barreira, materiais para proteção (Koerner & Daniel, 1997; Marques, 1998).

São utilizados materiais granulares com espessura mínima de 30 cm e condutividade hidráulica superior a $1 \times 10^{-2} \text{ cm.s}^{-1}$. A introdução de filtros geossintéticos sobre a camada drenante pode impedir a a colmatação do próprio geossintético (Koerner & Daniel, 1997).

Para selecionar os tipos de materiais para drenagem, deve ser avaliado o custo e eficiência do material. Os materiais mais comuns utilizados são areia, pedregulho e materiais geossintéticos, onde os líquidos e gases são conduzidos a um local apropriado para liberação e posterior tratamento (IPT, 2002; Gill et al., 1999). Os geossintéticos, como os georedes e os geocompostos, são freqüentemente utilizados, e os pneus inutilizáveis são utilizados como materiais alternativos (Koerner & Daniel, 1997).

O controle do descarte de água pela camada de drenagem é um detalhe importante. Se esses canais de drenagem apresentarem excessivo número de obstáculos, causados por exemplo por congelamento ou capacidade inadequada de funcionamento, poderá se desenvolver uma instabilidade nos taludes pela saturação dessas camadas e, conseqüentemente, aumento das poro-pressões. Portanto, para um adequado projeto, deve-se implantar uma rede de drenos que assegure a capacidade de drenar todo o material líquido presente no sistema de cobertura final.

Um dos problemas mais comumente encontrado para esta camada é a sua possível colmatação a longo prazo. Esta camada se mal projetada, construída e operada, pode apresentar rupturas internas e externas.

Em áreas onde a precipitação pluviométrica é muito baixa, como em regiões áridas, esta camada não é necessária ou caso contrário deverão ser projetadas de acordo com a intensidade e freqüência de eventos pluviométricos e capacidade de absorção pelo sistema de camadas.

3.3.4. Camada de barreira hidráulica/gás

A camada de barreira é considerada pelos técnicos como a que possui os componentes mais críticos do sistema de cobertura final. Esta camada objetiva, basicamente, a diminuição da percolação de água pelo sistema de camadas, bloqueando o fluxo de líquidos, além de promover indiretamente o seu armazenamento e drenagem por escoamento, evapotranspiração e drenagem interna (Marques, 1998). Além disso, a camada de barreira previne o escape de gases para a atmosfera. Estes gases têm sido uma das principais fontes de poluição do ar e destruição da camada de ozônio. Estas camadas, quando bem projetadas e implantadas, promovem a coleta do gás para posterior tratamentos e/ou reutilização.

A camada de barreira consiste em uma única camada, podendo ser utilizadas diversas combinações de materiais de baixa-permeabilidade, cuja função principal é diminuir a infiltração de água e ter baixa condutividade hidráulica (Gill et al., 1999). Dentre estes

materiais, os mais utilizados são as geomembranas, GCL (camada de argila geossintética) e bentonita.

A geomembrana é a parte essencial da camada de barreira, além de ser a mais utilizada para cobertura final de aterros. Estes materiais se caracterizam por diferentes espessuras, elasticidade e rugosidade para resistir às forças de cisalhamento, e baixas permeabilidades. São utilizadas para conter líquidos e gases. A relativa rigidez destes elementos lhes confere um bom comportamento durante a construção e instalação, face às elevadas tensões impostas (Marques, 1998).

As argilas geossintéticas (GCL) também são materiais utilizados atualmente para a contenção de resíduos. Estes materiais consistem de uma fina camada de bentonita (material argiloso expansivo) solidarizada a uma ou mais camadas de geossintéticos. Os GCL's contêm cerca de 5 kg/m^2 de bentonita, a qual possui um coeficiente de condutividade hidráulica de aproximadamente $1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$. A título ilustrativo, pode-se dizer que um processo de percolação gravitacional contínuo, sob um gradiente hidráulico unitário, através de um material com coeficiente de 10^{-9} cm/s , implicará em uma taxa de infiltração de 0,3 mm por ano, ou aproximadamente 30 mm ao longo de 100 anos (Marques, 1998).

Os arranjos alternativos, em termos de substituição e utilização de materiais, são: GCL, ao invés do solo argiloso compactado, georede em lugar da camada de brita/rachão, e geotêxtil ao invés da camada filtrante de areia. Neste sentido, a adoção de geossintéticos, associados ou não a camadas de solo argiloso, apresentam-se como interessantes alternativas técnicas para camadas impermeabilizantes dos recobrimentos finais de aterros sanitários.

3.3.5. Camada coletora de gás

A camada coletora de gás deve ser implantada abaixo da camada de barreira e sobre a camada de resíduo. Os materiais mais utilizados são os materiais granulares em geral, solos e geossintéticos de alta permeabilidade, ou seja, os materiais similares aos da camada de drenagem. Caso se utilize solo para construir esta camada, a espessura mínima deve ser de 30 cm. Os geossintéticos mais utilizados são os geotêxteis, georedes ou geocompostos para drenagem (Koerner & Daniel, 1997).

A coleta de gases é feita por um sistema de tubos verticais distribuídos por toda a massa de resíduos. Estes tubos devem ser implantados em um menor número possível, para evitar a

entrada de água no sistema de camadas. Em projetos alternativos, tem-se utilizado uma rede de tubos perfurados que se distribuem ao longo da profundidade na massa de resíduos (FIG. 3.3). Em alguns projetos, os drenos coletores de gases gerados pelos resíduos são colocados sob a camada de solo para conduzi-los para dispositivos e instalações apropriadas. Estes gases podem ser reutilizados ou descartados naturalmente na atmosfera.

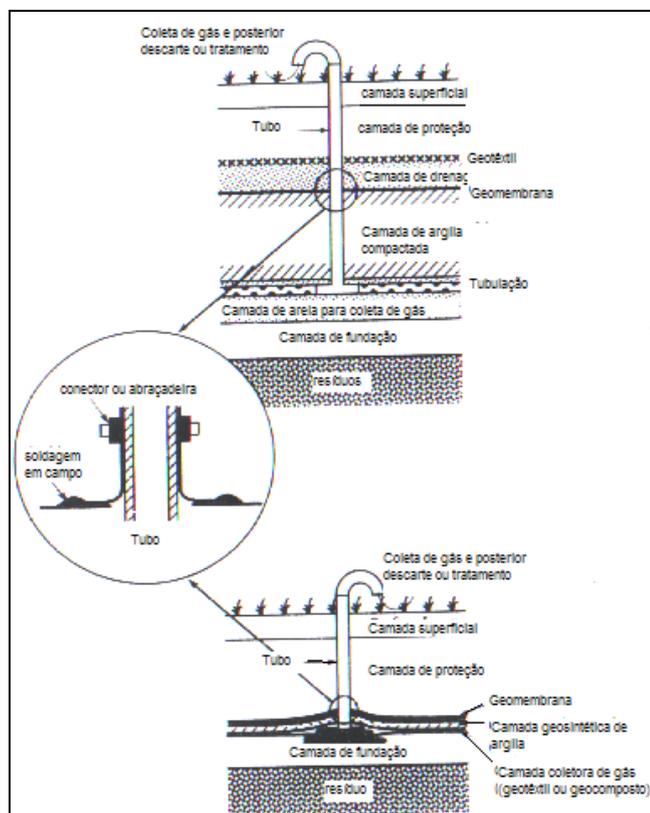


FIGURA 3.3 – Sistemas de camadas para coleta de gases com geossintéticos e solo.
Fonte: Koerner & Daniel, (1997).

3.3.6. Camada de fundação

Esta camada completa todo o sistema de cobertura final dos ADRSU. Dependendo do tipo de material a ser utilizado, a qualidade exigida é bastante considerável. Portanto, é importante encontrá-lo previamente para que a qualidade da cobertura final não seja comprometida. Seu propósito é separar os resíduos da cobertura e estabelecer adequada superfície (Koerner & Daniel, 1997).

Nesta camada, há um trabalho intenso de compactação, por meio de rolo compactadores, que é realizado repetidamente, contribuindo para formação de uma adequada massa de resíduo (Koerner & Daniel, 1997).

Para a camada de fundação, o solo ideal é aquele que possui coeficiente de permeabilidade inferior à $5,0 \times 10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$, e em outros casos, na mesma camada de fundação, pode-se construir uma camada de 30 cm de espessura com material granular para a coleta de gases (Koerner & Daniel, 1997).

3.3.7. Interação entre os resíduos e a cobertura final

Estes materiais de cobertura final, quando misturado à resíduos contaminados, podem ser constituídos de xenobióticos, ou seja, compostos químicos sintéticos, não existentes naturalmente no ambiente.

Essas substâncias antropogênicas têm aplicações domésticas e industriais diversas, resultando em benefícios sociais e econômicos como exemplos, plásticos, pigmentos, fibras, resíduos industriais e de construções. Incorporados à última camada de solo, pode ter início uma série de transformações químicas, físicas e biológicas (Moreira & Siqueira, 2002).

Dentre os efeitos negativos que os resíduos exercem na superfície da camada de cobertura têm-se a suspensão de partículas, surgimento de processos erosivos e, conseqüentemente, a exposição da massa de resíduos contribuindo para o vazamento de líquidos lixiviados (chorume) e gases.

Durante a decomposição dos resíduos têm-se a liberação de odores desagradáveis, que podem causar reações alérgicas por metabólicos microbianos e amônia; liberação ou formação de poluentes orgânicos e de compostos que podem atuar como agentes metanogênicos e carcinogênicos para os seres vivos; liberação de nutrientes inorgânicos como nitratos, fosfatos e metais pesados, que podem contaminar o substrato e corpos d'água; e transmissão de doenças para o homem e animais, além de atuar como atrativos para insetos (Moreira & Siqueira, 2002; Gill et al., 1999).

Os riscos oferecidos por esses resíduos têm sido estudados no mundo todo, porém, são ainda pouco conhecidas as suas influências na revegetação das camadas de cobertura final (Andrade & Mahler, 2000).

3.3.8. Considerações finais

O conjunto de camadas que irá atuar diretamente e indiretamente na sustentabilidade da vegetação é a camada superficial e a camada de proteção, as quais devem possuir os componentes necessários para trabalhar na qualidade do substrato para a revegetação (Koerner & Daniel, 1997). Quanto à espessuras dessas camadas, são normalmente utilizados 15 cm para a camada superficial e 45-60 cm para a camada de proteção (Gill et al., 1993; Koerner & Daniel, 1997).

O custo para a disponibilidade de material em relação à proximidade da área do aterro, que tenha as propriedades necessárias para compor as camadas, deve ser considerado. A instalação de camada de solo com geossintético também pode resultar em alto custo. Portanto, podem ser utilizados sistemas de coberturas alternativas, de tal forma que atendam algumas características que sejam fundamentais e de baixos custos. Estas coberturas alternativas se caracterizam no uso de solos granulares que permitem a infiltração e armazenamento de água e umidade, levando-se em conta a remoção da água que foi armazenada através da evaporação e a evapotranspiração da vegetação. A espessura das camadas depende da infiltração e armazenamento durante um intervalo de tempo. Em climas mais áridos, a quantidade de água a ser armazenada é relativamente pequena, portanto, a profundidade de solo exigido para construir a cobertura é também pequena. Em climas mais úmidos, a quantidade de água a ser armazenada pode ser grande, exigindo grandes espessuras de solo para aumentar a eficiência de remoção de umidade. No entanto, grandes espessuras podem ser antieconômicas (Gill et al., 1999).

Estas coberturas alternativas podem ser por exemplo, camadas que possuem uma baixa permeabilidade a líquidos (FIG. 3.4), camadas com média permeabilidade (FIG. 3.5) e camadas com alta permeabilidade (FIG. 3.6).

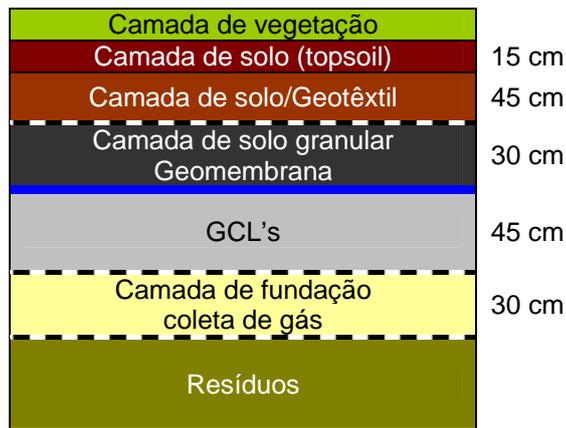


FIGURA 3.4 – Camada de cobertura final de ADRSU para baixas percolações de líquidos
Fonte: Koerner & Daniel, (1997).

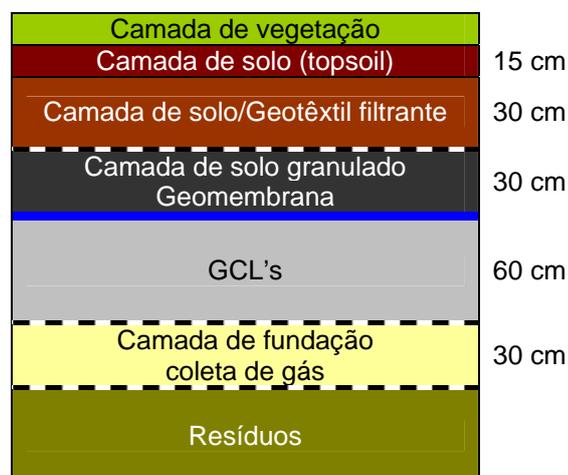


FIGURA 3.5 – Camada de cobertura final de ADRSU para médias percolações de líquidos
Fonte: Koerner & Daniel, (1997).

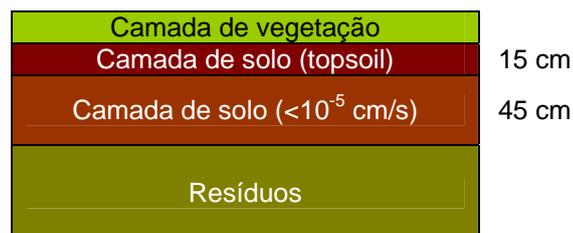


FIGURA 3.6 – Camada de cobertura final de ADRSU para altas percolações de líquidos
Fonte: Koerner & Daniel, (1997).

Outros aspectos que devem ser considerados nos projetos de sistemas de cobertura final são: o comportamento dos geossintéticos face às expansões vertical e horizontal dos aterros sanitários; os mecanismos de degradação devido à exposição aos raios ultra-violeta e o controle de qualidade de fabricação e de sua implantação (Gill et al., 1999).

Portanto, a escolha dos materiais e da configuração de um sistema de cobertura final tem papel decisivo no desempenho desse sistema. Aspectos como facilidade de manutenção e viabilidade econômica devem ser considerados. A utilização de sistemas alternativos demanda a comprovação de sua eficiência a partir de experimentos de campo.

3.4. *Bioengenharia de solos e engenharia biotécnica*

Bioengenharia de solos e engenharia biotécnica são termos comumente encontrados na literatura, porém, suas definições precisas são muito confundidas (Morgan & Rickson, 1995). O termo engenharia biotécnica ou estabilização biotécnica refere-se às técnicas de combinação entre plantas com elementos inertes (blocos de concretos, rochas e solos), bem como estruturas estratégicas que beneficie ambas as partes. Estes benefícios estão associados à correta obra de estabilização das estruturas, sobrevivência da vegetação nessas estruturas e a estética das construções (Gray & Sotir, 1995).

A Bioengenharia de solos refere-se ao estudo dos efeitos de uma única planta ou conjunto de plantas na estabilização de solos. Este tipo de estudo visa especificamente conhecer a diversidade de espécies de plantas nas suas características quantitativas como teor de fitomassa, taxa de crescimento e reprodução, e qualitativas como estratégias fisiológicas adaptativas (Morgan & Rickson, 1995; Gray & Sotir, 1995). A bioengenharia de solos atua diretamente no estudo dos efeitos das estruturas (caule, raiz e folha) da planta no solo. Estas estruturas servem de elementos mecânicos para o sistema de proteção de solos e pode ser considerada uma área especializada da estabilização biotécnica. (Gray & Sotir, 1995)

A bioengenharia de solos e a engenharia biotécnica já existem há vários anos. Os países que já trabalham com estas técnicas são a Suíça, Áustria, Alemanha na Europa e Estados Unidos (Morgan & Rickson, 1995).

De maneira criteriosa, tem-se tentado implementar diversas técnicas de obras estruturais de engenharia combinadas com a vegetação e isso, tem permitido uma melhor contribuição no conhecimento das diversas combinações de material inerte e não inerte para ser implantado.

Com estas técnicas, muitos profissionais, como o engenheiro civil e o geomorfologista, ficaram conscientes da importância de utilizar a vegetação como um instrumento de trabalho. Nos aspectos econômicos, muitas técnicas convencionais deixaram de ser utilizadas ou foram aprimoras incluindo a vegetação.

3.4.1. O uso de geossintéticos na recuperação de áreas degradadas

Os geossintéticos normalmente utilizados em obras de proteção ambiental são: geomembranas, GCL's, geotêxteis, georedes, geogrelhas, geocompostos e geotubos (Koerner & Daniel, 1997; Marques, 1998).

Os geossintéticos utilizados como condicionadores de solo, denominados “Rolled Erosion Control Products” (RECP), podem ser combinados com plantas e têm a função básica de proteção do local quanto à erosão, além de auxiliar no crescimento da vegetação e proteção de sementes. O seu uso busca o restabelecimento dos horizontes superficiais do solo, por meio da incorporação de matéria orgânica, adubos químicos, fixação das sementes e conseqüente formação de um estrato arbustivo.

As coberturas mais comumente utilizadas para estas finalidades são: palha, cavacos de madeira, rocha triturada, plantio de sementes, ou o “mulch”, constituído por uma camada de material orgânico que pode conter sementes de gramíneas e/ou leguminosas. Os RECP podem ser subdivididos em temporários, do tipo mantas degradáveis (fotodegradáveis, biodegradáveis) e permanentes, ou seja, com capacidade de decomposição em condições naturais ou não (Morgan & Rickson, 1995). O material ainda pode ser classificado pela sua composição (natural ou sintética) e pelo seu modo de instalação (FIG. 3.7).

Esses materiais possuem diversos efeitos na proteção direta do solo, que são a redução do efeito da chuva no solo, retenção de sedimentos e particulados, redução ou eliminação do encrostamento superficial e reforço mecânico. Na proteção indireta pode atuar na ancoragem de insumos para vegetação, melhoria dos processos fisiológicos da vegetação pela redução das variações térmicas, maior disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta, redução da evapotranspiração e da ocorrência de stress hídrico, redução de danos por predadores, aumento da atividade microbiota simbiótica do solo e retenção de umidade (Morgan & Rickson, 1995; Pereira, 2003; Einloft et al., 2000).

Os retentores de sedimentos consistem numa barreira constituída de materiais fibrosos, resistentes e pré-tratados para o retardamento de sua decomposição. Esta barreira é prensada e envolvida por fios metálicos, sintéticos ou vegetais, com tamanhos, formas e resistências variáveis de acordo com telas ou fios metálicos. Este produto tem dimensões variáveis,

conforme a necessidade do projeto. Este material é mais apropriado em lugares onde existam dificuldades para o estabelecimento da vegetação.

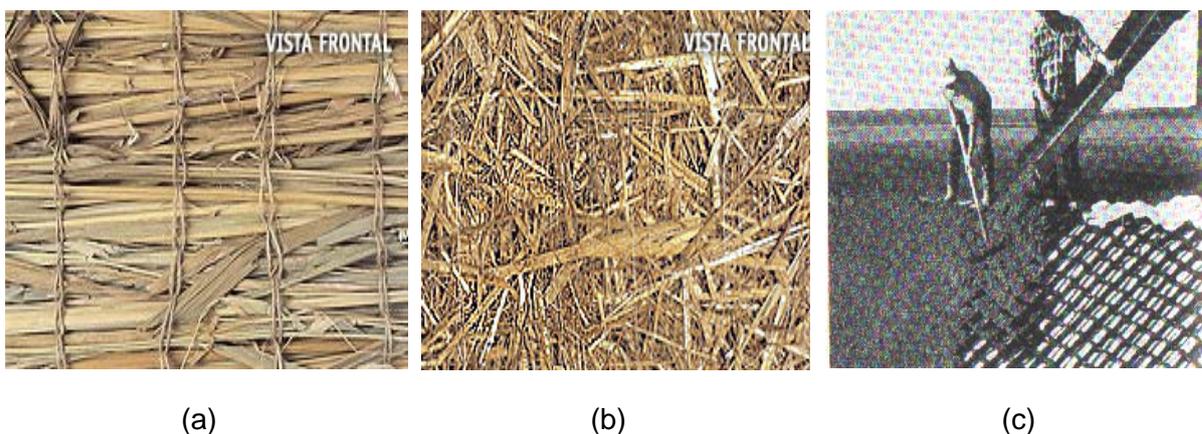


FIGURA 3.7 – Tipos de RECP: (a) material fibroso ou linho; (b) material de palha vegetal; (c) material sintético.

Fonte: Pereira, (2003); Morgan & Rickson, (1995).

Normalmente este material, por ser flexível e permeável, é bastante utilizado como filtros para prevenir o movimento de partículas de solo em sistemas de camada de drenagem de ADRSU (Gill et al., 1999). O tipo de material utilizado poderá influenciar na temperatura, evaporação e luz do ambiente, acarretando conseqüências positivas ou negativas no comportamento das plantas.

3.5. Erosão do solo

A erosão do solo é um processo constituído por três fases. A primeira, é efetuada pelo destacamento das partículas individuais de massa de solo, em seguida ocorrem a mobilização e o transporte. Quando a energia disponível dos agentes erosivos não é mais suficientemente capaz de efetuar o transporte da partícula, ocorre então uma terceira fase – a deposição das partículas (Guerra et al., 1999).

A erosão de taludes é um processo que causa a desagregação dos solos, tendo como principais agentes erosivos a chuva e o vento. A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, além de influenciar no desenvolvimento das plantas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Bertoni & Neto, 1990).

3.5.1. Processos erosivos ocasionados pela água da chuva

A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis dependendo do seu diâmetro, e pelo escoamento da enxurrada. O volume e a velocidade da enxurrada variam com a chuva, com a declividade, comprimento do declive do terreno e com a capacidade do solo em absorver mais ou menos água. A resistência que o solo exerce à ação erosiva da água pode ser determinada por diversas características ou propriedades físicas e químicas, e pela natureza e quantidade do seu revestimento vegetal (Bertoni & Neto, 1990). Além da chuva, outros fenômenos atmosféricos podem atuar na mobilização de sedimentos, como ciclos alternados de hidratação-desidratação, congelamento-degelo, além de processos físico-químicos (Morgan & Rickson, 1995).

Os processos erosivos provocados pela ação das chuvas têm início com o escoamento superficial laminar, que ao concentrar-se, forma sulcos, podendo dar origem a ravinas e posteriormente, a voçorocas, sendo que as voçorocas se constituem no estágio mais impactante e o que causa os maiores danos, estabelecendo um impedimento ao processo de desenvolvimento sustentável de qualquer área. Outro aspecto de grande relevância é que, o aporte de sedimento oriundos de áreas que sofrem erosão promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática, principalmente pela sua eutrofização (Morgan & Rickson, 1995; Guerra et al., 1999; Bertoni & Neto, 1990).

Para um adequado planejamento conservacionista, é necessário que se conheça, no local, os fatores que influenciam a erosão. Por esta razão, torna-se imperativo o estudo das características das chuvas, solo, topografia, cobertura, manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte, podendo este conhecimento ser realizado por meio de mensuração da intensidade dos processos erosivos, em função das diversas variáveis que regulam a perda de solo. Com este objetivo, são utilizadas relações matemáticas para previsão do seu comportamento frente aos agentes erosivos, baseados em diferentes metodologias e locais de aplicação, conhecendo assim elementos para a implementação de estratégias de manejo e visando a manutenção dos recursos naturais como bens coletivos não degradados (Alvarenga et al., 1998; Guerra et al., 1999; Macagnan, 1990; D'agostini, 1999).

3.5.2. Métodos diretos para determinação de perdas de solo

A determinação das perdas sofridas pelo solo por efeito de fenômeno de erosão pode ser realizada de várias maneiras. A escolha de cada processo depende, principalmente, da natureza das perdas a determinar, bem como do tipo de práticas conservacionistas a estudar, das condições ecológicas locais e das possibilidades do pesquisador (Bertoni & Neto, 1990). Os métodos diretos são todos aqueles que se baseiam na coleta, na medição e na análise do material erodido, com auxílio de instalações coletoras e medidoras especiais.

3.5.2.1. Método da chuva natural

O estudo da erosão por meio da medição do volume do material erodido é um dos mais fáceis e úteis para a avaliação do efeito de diferentes tipos de solo e, sobretudo, da eficiência das diferentes práticas de controle da erosão (Lal, 1994).

O sistema de determinação do volume da perda varia grandemente com a área do terreno considerada e com as modalidades de uso do solo. Varia desde pequenas instalações de laboratórios com coleta total do material erodido, até estudo de perdas em grandes bacias hidrográficas por meio de medições de vazão e de análises periódicas de material transportado em grandes cursos d'água. Na coleta de uma fração, apenas uma alíquota da enxurrada é coletada e, por essa fração, avalia-se o volume total (Cogo, 1978). Nas enxurradas mais volumosas esse tanque de decantação extravasa e, no seu vertedouro, instala-se um divisor especial que separa e conduz uma fração alíquota do extravasado para um segundo tanque ou para um segundo divisor (Bertoni & Neto, 1990), conforme FIG. 3.8.

Um ponto importante no estudo da erosão é a determinação da qualidade das perdas. O caso mais simples de estudo das perdas por erosão é aquele em que se faz medição apenas da quantidade de lama e de enxurrada arrastadas, sem determinar os teores de substâncias e elementos nutritivos. Esse método serve para fins de comparação prática dos efeitos de tipos de solo, de cobertura, de tratamentos do solo ou de práticas conservacionistas diversas. Pelos totais de lama e enxurrada arrastados, pode-se avaliar, com alguma aproximação, os efeitos da erosão, sobretudo se tratar de comparação de tratamento sob condições semelhantes de solo (Bertoni & Neto, 1990).



FIGURA 3.8 – Método da chuva natural para avaliação de perda de solo por sistemas de coletores

Fonte: Lekha, 2003.

Embora com pequeno erro de avaliação das perdas, resultante do fracionamento da amostra medida, permite determinações satisfatórias para áreas de tamanho bastante grande, sendo usado talhões de até 10.000 m² (Cogo, 1978).

O método mais utilizado na determinação das perdas por erosão é aquele em que se coleta, em tanque especiais, uma fração alíquota ou toda a enxurrada escorrida em cada talhão experimental (Bertoni & Neto, 1990).

3.5.2.2. Método da chuva artificial

Devido ao estudo da perda de solo pelo método de chuva natural se caracterizar na coleta de grande número de dados e submeter à condições naturais, torna-se muito mais demorado e difícil a sua conclusão. Neste aspecto, houve a necessidade de criar um método que simulasse uma condição natural de chuva. Este método foi desenvolvido por pesquisadores que dependiam diretamente desta condição, o qual chamamos de simuladores de chuva.

Os simuladores de chuva foram desenvolvidos para acelerar a avaliação das práticas de manejo, cultivo e estudar os processos mecânicos de erosão sobre condições controladas (FIG. 3.9).

As pesquisas mais comuns com simulador de chuva são a intensidade de enxurrada e erosão para vários tratamentos da superfície do solo; avaliação do efeito da cobertura morta; distribuição do tamanho de partículas e agregação de materiais do solo carregados na

enxurrada, comprimento e grau de declive; movimento de pesticidas, herbicidas e fertilizantes pela enxurrada (Guerra et al., 1999).

Segundo Stocking (1985), os simuladores de chuva nunca apresentam as taxas reais de perda de solo nos lotes experimentais, devido aos efeitos de escala menor, mas apresentam vantagens em proporcionar uma boa idéia dos graus de erosão relativos, comparadas sob condições diferentes.



FIGURA 3.9 – Método artificial de avaliar perda de solo através do simulador de chuva
Fonte: Guerra et al. 1999.

3.5.2.3. Determinação de perdas de solo na estabilidade dos agregados

Para Lier & Albuquerque (1997), a estabilidade dos agregados da camada superficial é um parâmetro físico cuja importância é reconhecida por aqueles que estudam o processo de erosão do solo. Agregado é um conjunto coeso de partículas primárias do solo, com forma e tamanho definidos. Assim, a consistência e a estabilidade dessas estruturas são extremamente importantes na definição da taxa de erosão que poderá ocorrer em um determinado solo (Guerra et al., 1999). A formação e estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias e partículas sólidas que agem na agregação e na estabilização. Entre essas, as principais são: argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, exsudados orgânicos e substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos (Silva & Mielniczuk, 1997).

No sistema solo, pode-se considerar que os parâmetros físicos, e dentre eles, a estabilidade de agregados, constituem bons indicadores de qualidade de solo (Guerra et al., 1999). Um solo

bem agregado favorece a penetração das raízes das plantas, a aeração, a infiltração e o armazenamento de água (Gomes et al., 2000). Portanto, uma maior estabilidade de agregados, como é convencionalmente referida, não é importante no controle da erosão somente por atribuir uma maior resistência intrínseca ao agregado, mas principalmente pelo que ela representa na manutenção do solo (D'agostini, 1999).

As propriedades físicas do solo no sistema de semeadura direta, associadas à menor rugosidade superficial, podem facilitar o escoamento superficial da água das chuvas, especialmente se a quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo for pequena e se não forem adotadas práticas conservacionistas de suporte (Schick et al., 2000).

3.5.3. Modelagem de perda de solo

Há vários métodos que visam à quantificação do fenômeno da erosão sob os aspectos reais e atuais numa determinada área de estudo.

A intensidade da erosão pode ser avaliada qualitativamente pelo conjunto de informações de intensidade de remoção e acúmulo de sedimento numa superfície, taxa de cobertura do solo e pela representação do tamanho, densidade e profundidade de ocupação em um período de tempo (Silva et al., 2004). Pode ser estimada por medidas quantitativas (peso, volume, profundidade) de solo carregado, isto é, efeitos quantitativos da erosão no solo, variações e perdas (Zachar, 1982).

Os estudos qualitativos sobre erosão são válidos para um zoneamento inicial de áreas suscetíveis a esse fenômeno. Entretanto, a quantificação das perdas de solo possibilita uma análise mais aprofundada sobre o grau de degradação por erosão e o seu controle. Além disto, análises puramente qualitativas não permitem comparações de diferentes cenários de planejamento conservacionista, nem fornecem dados para estudos de sedimentação. Desta forma, evidencia-se a necessidade de utilizar ferramentas que levem à quantificação da erosão, o que pode ser obtido por meio de alguns modelos preditivos (Chaves, 1996).

Os modelos de simulação, como os modelos matemáticos de predição de erosão, são ferramentas poderosas na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois quando aplicados a situações de campo auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (Chaves, 1996). Se, entretanto, essas

determinações usassem apenas resultados experimentais, elas seriam seriamente limitadas tanto em termos de custos e de tempo, como também pela imprevisibilidade da natureza.

Outro ponto importante refere-se o tipo de modelo, pois, existem diferentes maneiras de representar a realidade da erosão do solo. Os dois principais tipos de modelos são os físicos ou matemáticos e os empíricos ou estatísticos.

Os modelos físicos ou matemáticos tentam modelar os processos reais de erosão. Uma gota de chuva golpeando a terra ocasiona uma transferência de energia – um modelo físico irá, portanto, provavelmente usar energia cinética para descrever esse processo. Esta facilidade de extrapolação e de interpolação é a maior vantagem dos modelos físicos dentro da sua capacidade de previsão. A principal desvantagem é a de que os processos físicos geralmente são muito pouco compreendidos devido à sua complexidade, e são, portanto extremamente difíceis de serem representados em termos matemáticos. Esta desvantagem torna impraticável o uso no campo, de um modelo puramente físico (Stocking, 1985).

Os modelos empíricos ou estatísticos vêm sendo construídos puramente pela experiência. Na prática, o pesquisador utiliza um relacionamento estatístico, como por exemplo uma equação de regressão múltipla e acrescenta o maior número possível de dados na equação (variáveis independentes), junto com resultados conhecidos (variáveis dependentes da perda de solo), para que possam ser determinados os componentes fixos do relacionamento estatísticos (as constantes em uma equação de regressão). A principal vantagem deste tipo de modelo é a de que, desde que os componentes fornecidos ao sistema natural permaneçam dentro dos limites das variáveis das quais o modelo foi derivado, será possível obter-se uma boa aproximação. As desvantagens incluem a incapacidade de extrapolar a grande quantidade de informações necessárias e o longo período necessário para se estabelecer um modelo acurado (Stocking, 1985). A maior ou menor eficiência do modelo a ser utilizado irá depender da quantidade de informações precisas a serem determinadas e aplicadas dentro das atuais condições de conhecimentos, facilidades de pesquisa, recursos e apoio.

3.5.3.1. Equação universal de perdas de solo

A abordagem ainda dominante, se não hegemônica, é a da descoberta e da dissecação do efeito de cada fator que promove ou afeta o processo erosivo. Uma vez conhecidos os efeitos de cada um dos inúmeros fatores nas inúmeras condições possíveis, consideradas ainda as interações entre fatores, saber-se-ia não apenas como controlar o processo erosivo, mas

também prever o seu resultado. Faltaria, ainda, no entanto, compreender por que se controla tão insatisfatoriamente a erosão, quando técnicas elementares e reconhecidamente eficientes estão disponíveis e poderiam se adotadas (D'agostini, 1999).

De acordo com os estudos de erosão o objetivo principal é classificar e caracterizar as áreas erodidas e desenvolver programas de medidas de controle de erosão que reduzam o processo a níveis aceitáveis e levem a contínuo aumento da fertilidade do solo e a uma melhoria no “ambiente humano” (Zachar, 1982).

A equação universal de perdas de solo (USLE) tem o objetivo de estimar o valor médio anual de erosão que poderá ocorrer em determinada área. Portanto, constitui valiosa ferramenta para o correto estabelecimento do uso, manejo e conservação do solo (Bertoni & Neto, 1990). Um plano para a conservação do solo e água requer o conhecimento das relações entre os fatores que causam perdas de solo e água e as práticas que reduzem tais perdas.

A equação desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978) é expressa como:

$$A = R K L S C P \quad \text{equação (3.1)}$$

Em que:

A = perda de solo calculada por unidade de área, t/ha/ano;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico (MJ/ha.mm/ha);

L = fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e comprimento de rampa;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições em que o fator K é avaliado;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

Todos os valores e fórmulas tabelados dos fatores relacionados à USLE contudo não exclui a necessidade de continuidade das pesquisas para determinar pelo método tradicional o valor definitivo e mais acurado a ser utilizado.

a) O fator de erosividade (R)

O fator R representa a capacidade erosiva da precipitação e é função de características físicas das chuvas, ou seja, intensidade, duração e distribuição das gotas. Para chuvas tropicais de alta intensidade, o índice que melhor correlaciona com a perda de solo é o produto da quantidade de chuva precipitada pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de “m” minutos consecutivos. O fator R é o índice que melhor correlaciona com as perdas de solo (Alvarenga, 1998).

Portanto, o fator R da equação universal de perdas do solo é um parâmetro importante na avaliação da erodibilidade dos solos, bem como das práticas mecânicas e vegetativas de controle da erosão hídrica (Wischmeier & Smith, 1978).

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator mais importante e, juntamente com a duração, determina a chuva total (Silva et al., 2004). Quanto maior a intensidade de chuva, maior a perda por erosão (Bertoni & Neto, 1990).

O índice de erosividade, originalmente denominado de EI_{30} , que é o produto da energia cinética pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos é considerado uma das melhores estimativas de perda de solo (Wischmeier & Smith, 1978; Alvarenga, 1998).

Embora, no Brasil, existam inúmeros dados referentes à precipitação pluviométrica, informações quanto à variabilidade temporal e espacial das chuvas são raras, o que tem sido um fator limitante na determinação da erosividade das chuvas com um grau satisfatório de precisão (Alvarenga, 1998).

De acordo com os estudos de erosividade, muitos autores desenvolveram diversos métodos para se conhecer este fator e classificá-los conforme a sua intensidade (TAB 3.1).

TABELA 3.1 – Classe de interpretação para índices de erosividade

Intervalo (tm mm ha⁻¹ ano⁻¹)	Interpretação
R < 250	Erosividade fraca
250 < R < 500	Erosividade média
500 < R < 750	Erosividade média a forte
750 < R < 1000	Erosividade forte
R > 1000	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho, (1994) apud Silva et al. (2004)

b) O fator de erodibilidade (K)

A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face aos processos erosivos. Está intimamente ligada à propriedade individual do próprio solo mesmo que a chuva, a declividade, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas (Bertoni & Neto, 1990; Silva et al., 2000).

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, que é a recíproca da sua resistência à erosão. Um solo com alta erodibilidade sofrerá mais erosão que um com baixa erodibilidade, se ambos estiverem expostos à uma mesma chuva.

No Brasil, um número considerável de solos já tem seu valor de erodibilidade determinado, principalmente com uso do simulador de chuvas (Guerra et al., 1999).

A suscetibilidade do solo à erosão de maneira geral depende tanto de características climatológicas e geométricas quanto de suas propriedades intrínsecas. A textura, estrutura, permeabilidade e as avaliações do conteúdo de matéria orgânica e da estabilidade dos agregados do solo são as principais propriedades que influenciam a sua erodibilidade (Lepsch et al., (1991); Lal, (1994).

Diferenças nas susceptibilidade naturais de solo à erosão são de difícil quantificação em campo. Até mesmo um solo com baixa erodibilidade pode mostrar sinais de erosão séria quando ocorre em declives longos ou íngremes ou em localidades com numerosas intensidades de chuvas (Wischmeier & Smith, 1978).

Portanto, a erodibilidade de solo deve ser avaliada dependentemente dos efeitos dos demais fatores (TAB. 3.2).

TABELA 3.2 – Classe de interpretação para os valores de erodibilidade

Intervalo de valores de K (t ha ano/tm/ha/mm)	Classes de interpretação
< 0,15	Erodibilidade baixa
0,15 - 0,30500	Erodibilidade média
> 0,30	Erodibilidade alta

Fonte: Carvalho, (1994) apud Silva et al., (2004)

c) O fator de declividade (LS)

O tamanho e a quantidade de material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, que, por sua vez, é uma resultante do comprimento do talude e do grau de declividade do terreno (Bertoni & Neto, 1990).

A inclinação do declive do terreno é outro fator que influencia fortemente as perdas de solo por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo (TAB 3.3). Com isso, aumenta a capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno (Cogo et al., 2003).

O comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois, à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente e a maior energia resultante se traduz em maior erosão (Silva et al., 2004).

Declives de superfície maior que 10% às vezes são também usados em superfícies de aterros sanitários. Em superfícies de aterro sanitários, qualquer declive maior que zero tem sério potencial para erosão hídrica. Métodos de conservação de solo como bermas, terraços de divisão, diques juntamente com drenos, calhas e bacia de contenção são freqüentemente recomendados para controle de erosão na superfícies de aterro sanitários (Gill et al., 1999). Declives íngremes podem requerer especial técnicas para estabilizar a solo de cobertura protegendo-o contra deslizamentos.

TABELA 3.3 – Valores de LS para as diferentes classes de talude

Relação de declividade (H:V)	Gradiente do talude LS (%)	Valores de LS para determinados comprimentos de talude L (m)						
		3,0	9,1	15,2	30,5	91,0	152,0	305,0
20 : 1	5	0,17	0,29	0,38	0,53	0,93	1,20	1,69
10 : 1	10	0,43	0,75	0,97	1,37	2,37	3,06	4,33
8 : 1	12,5	0,61	1,05	1,36	1,92	3,33	4,30	6,08
6 : 1	16,7	0,96	1,67	2,15	3,04	5,27	6,80	9,62
5 : 1	20	1,29	2,23	2,88	4,08	7,06	9,12	12,90
4 : 1	25	1,86	3,23	4,16	5,89	10,20	13,17	18,63
3 : 1	33,5	2,98	5,17	6,67	9,43	16,33	21,09	29,82
2,5 : 1	40	4,00	6,93	8,95	12,65	21,91	28,29	40,01
2 : 1	50	5,64	9,76	12,60	17,82	30,87	39,85	56,36
1,75 : 1	57	6,82	11,80	15,24	21,55	37,33	48,19	68,15
1,550 : 1	66,7	8,44	14,61	18,87	26,68	46,22	59,66	84,38
1,25 : 1	80	10,55	18,28	23,60	33,38	57,81	74,63	105,55
1 : 1	100	13,36	23,14	29,87	42,24	73,17	94,46	133,59

Fonte: Israelson, (1980) apud Gray & Sotir, (1995); Lal, (1994).

d) O fator de proteção e/ou cobertura vegetal (C)

Qualquer corpo, vivo ou não, que cubra o solo contra o impacto das gotas de chuva constitui-se em cobertura do solo. Evidentemente, conforme o tipo de cobertura sobre o solo, será maior ou menor a efetividade de proteção do solo, algumas favorecendo mais o processo de infiltração da água no solo e outras impermeabilizando totalmente o solo, como é o caso de pavimentação (Silva et al., 2004).

O fator cobertura sobre do solo é de grande importância na prevenção e controle da erosão e dos agravamentos do processo erosivo (Silva et al., 2004). Ela é a defesa natural e/ou artificial de um terreno contra a erosão.

A cobertura do solo proporcionada pelos restos culturais deixados na superfície tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas da chuva, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e selamento superficial e aumenta a infiltração de água (TAB. 3.4).

Este fator afetará a intensidade dos processos erosivos através da cobertura vegetal, da biomassa decaída decomposta e em decomposição (Gray & Sotir, 1994)

TABELA 3.4 – Valor do fator de cobertura para situações de solo natural e culturas agrícolas

Tipo de recobrimento	Recobrimento vegetativo (%)	Tipo de consórcio	Valores de C					
			Taxa de recobrimento (%)					
			0	20	40	60	80	95-100
Solo exposto	-		1,0					
Floresta ou vegetação densa	-		0,01					
Campo com boa cobertura	-		0,01					
Campo para pastagem sem recuperação	-		0,10					
Café	-		0,2					
algodão	-		0,60					
Semeio e espécies de ciclo curto:								
90% de recobrimento com gramíneas anuais sem orgânico	-		0,1					
Mulch de fibra de madeira (1,875 mg/ha), com semeio	-		0,5					
Manta Excelsior, malha de juta (taludes acima de 2:1)	-		0,3					
Mulch de palha 3,4 mg/ha	-		0,2					
Mulch de palha 9,0 mg/ha	-		0,05					
Recobrimento insignificante	0 - 25	G	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,090	0,043	0,011
Herbáceas e arbustivas até 0,5 m de altura	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
75	G	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003	
	W	0,17	0,12	0,09	0,067	0,038	0,011	
Arbustivas até 2,0 m de altura	25	G	0,40	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		W	0,40	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,09	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,077	0,040	0,011
Arbóreas de 4,0 m de altura	25	G	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	75-100	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,014	0,011

G: Presença de espécies gramíneas

W: Presença de espécies leguminosas

Fonte: adaptado de Gray & Sotir, (1994); Bertoni & Neto, (1990); Carvalho, (1994) apud Silva et al. (2004)

e) O fator de prática conservacionista (P)

A prática conservacionista é a relação entre as perdas de solo esperadas de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista e as perdas quando se planta no sentido do declive (Silva et al., 2004) (TAB. 3.5).

As práticas devem ser aplicadas após o conhecimento integrado das potencialidades e limitações dos recursos de solo e água em uma área qualquer. A escolha das técnicas deve,

necessariamente, adaptar-se às características físicas e químicas do solo, à declividade e ao comprimento da encosta e ao tipo de cultivo (Guerra et al., 1999).

Diversas pesquisas têm demonstrado a eficácia dos preparos conservacionistas de solo no controle da erosão, com reduções de 50 a 95% nas perdas de solo, em relação ao preparo convencional. E, dentre os preparos conservacionistas mais investigados, as perdas de solo na semeadura direta têm, de modo geral, sido menores do que nos preparos reduzidos (Amabile et al., 2000).

TABELA 3.5 – Valores de práticas conservacionistas para perda de solo

Grau de declividade (%)	Condições de superfície			
	Plantio morro abaixo	Plantio em contorno	Cordões de vegetação permanente	Terraceamento
1-2	1,0	0,6	0,30	0,12
3-8	1,0	0,5	0,25	0,10
9-12	1,0	0,6	0,30	0,12
13-16	1,0	0,7	0,35	0,14
17-20	1,0	0,8	0,40	0,16
21-25	1,0	0,9	0,45	0,18
Superfície lisa e compactada				
1,3				
Superfície cultivada com palha				
0,9				
Superfície rugosa e irregular				
0,9				
Solo solto com camada de 30 cm de profundidade				
0,8				
Barreira de madeira/galhada				
0,70				
Enrocamento, rip-rap, filtros				
0,60				
Hidromulch à base de 3t/ha				
0,40				
Retentores de sedimentos em nível e mulch				
0,15				
Galhada seca, folhas, ramos (300t/ha)				
0,10				
Biomanta antierosivas (fibra de coco)				
0,05				
Biomanta antierosivas e retentores de sedimentos				
0,02				

Fonte: Wischmeier & Smith, (1978); Bertoni & Neto, (1990); Goldman et al. (1986) apud Gray & Sotir, (1995).

3.6. **Revegetação de áreas degradadas**

A crescente preocupação de recuperar áreas degradadas por meio da revegetação, visa basicamente restaurar o equilíbrio dos sistemas florestais, da fauna e da flora. A utilização de espécies vegetais é uma opção interessante em função de sua importância ecológica.

Independentemente da finalidade, as ações recuperadoras pressupõem o uso de medidas de proteção do solo, dentre as quais a formação de uma vegetação de cobertura tem sido imprescindível. Nesse aspecto, a grande dificuldade consiste no fato de que, quase sempre, a degradação traz como consequência a criação de condições físicas, químicas e/ou biológicas bastante desfavoráveis ao crescimento de plantas no solo ou substrato da área. Idealmente, busca-se o crescimento de plantas com baixa demanda de insumos externos e capazes de criar condições favoráveis aos mecanismos de regeneração natural da área (Coelho et al., 2001; Coelho, 1999).

A revegetação é o primeiro passo para a reabilitação dessas áreas, não só como fonte de matéria orgânica, mas também como fator importante no controle da erosão do solo. A proteção proporcionada pelas plantas de cobertura, evitando o impacto da chuva diretamente sobre a superfície do solo, dissipando a sua energia cinética e impedindo a desagregação e a formação de crostas superficiais de baixa permeabilidade, depende do tipo da planta, da morfologia e tamanho das folhas e das raízes. Plantas rasteiras e de grande área foliar são mais efetivas na proteção do solo que plantas eretas e de folhas estreitas. Os restos de culturas deixados sobre o solo também conferem maior proteção que quando incorporados (Franco, 1997). A adubação verde consiste no emprego de espécies de diferentes famílias botânicas, nativas ou introduzidas, que cobrem o terreno em períodos de tempo ou durante todo ano (Amabile et al., 2000).

Plantas que produzem raízes profundas, com crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados. Muitas vezes, deve-se adotar o consórcio de duas ou mais espécies, ou mesmo a densidade adequada de indivíduos, para que os resultados sejam rapidamente evidenciados (Nuernberg et al., 1986)

As raízes são importantes agentes agregantes com ação física e biológica, mas seus efeitos são temporários. A matéria orgânica e os microrganismos estabilizam a estrutura, que por sua vez protege fisicamente a matéria orgânica e os microrganismos do solo, formando um circuito complexo e intimamente ligado entre agregação, microbiota e matéria orgânica (Moreira e Siqueira, 2002).

Do ponto de vista nutricional, o solo sem cobertura vegetal é um grande deserto para os microrganismos heterotróficos. É nas imediações das raízes, isto é, na rizosfera, que eles

encontram os substratos que necessitam para sua proliferação. Conseqüentemente, vários processos importantes do solo que influenciam a produção vegetal e a qualidade ambiental são maximizados na rizosfera (Siqueira e Franco, 1998).

A maior atividade biológica do solo situa-se, de modo geral, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, pois neste local ocorre maior acumulação da matéria orgânica do solo pela deposição de material vegetal da parte aérea, além do efeito das raízes. Assim, a matéria orgânica e o efeito rizosférico são a função da cobertura vegetal que, portanto, tem grande influência sobre os organismos (Moreira & Siqueira, 2002).

No entanto, esse tipo de estudo é dificultado pela carência de conhecimentos acerca do comportamento das espécies e de suas relações externas e internas com o solo para determinados tipos de ambiente, como é o caso das camadas de cobertura finais de ADRSU.

3.6.1. Princípio ecológico para a manutenção e estabelecimento da vegetação

Além da zona climática, combinações de outros fatores influenciam no sucesso do estabelecimento e gerenciamento da vegetação. Dentre estes fatores, a ecologia e o meio ambiente têm sido associados na biotecnologia. Antes da escolha dos métodos para revegetação dois aspectos devem ser considerados: (1) local modificado ou condições ambientais de adaptação da vegetação. Este é mais apropriado quando há uma situação específica de um tipo de vegetação, (2) seleção de espécies apropriadas para adaptar a locais de determinadas condições ambientais (Morgan & Rickson, 1995).

Algumas condições locais podem ser modificadas facilmente tal como, a fertilidade do solo, enquanto outras não permitem intervenção, como o clima. A regra em termos gerais, é a menor modificação, menor gerenciamento ou utilização de processos naturais de desenvolvimento de vegetação (Morgan & Rickson, 1995).

O estabelecimento da vegetação envolve o processo de obtenção da cobertura necessária usando semeadura e técnicas de plantio, incluindo o período de adaptação até que a vegetação esteja totalmente estabelecida. Em algumas situações o período de adaptação pode ser bastante longo (Morgan & Rickson, 1995; Accioly, 2001).

Conforme Heinrichs et al. (2001), as principais vantagens dessa modalidade de cultivo das plantas de cobertura, em relação ao cultivo isolado, são: (1) maior rendimento de matéria seca

e maior acúmulo de nutrientes; (2) gramínea no consórcio irá esgotar o nitrogênio disponível do solo e estimulará a fixação biológica de N₂ pela leguminosa; (3) água e nutrientes do solo podem ser mais eficientemente utilizados mediante a exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com distribuição distinta, e (4) a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo fitomassa com relação C/N intermediária àquela das culturas isoladas, proporcionando, simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de nitrogênio à cultura em sucessão.

Antes de considerar o processo de estabelecimento é necessário compreender a natureza de organização da vegetação, como é o seu comportamento natural, e quais os fatores necessários para selecionar a melhor vegetação (Morgan & Rickson, 1995).

3.6.2. Crescimento das plantas

O crescimento caracteriza-se por aumento de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo. O termo desenvolvimento é mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativa (crescimento) experimentadas pela planta.

A análise de crescimento baseia-se fundamentalmente no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética. O restante resulta da absorção de nutrientes minerais e são indispensáveis ao crescimento e ao desenvolvimento do vegetal. Apesar de não se poder quantificar a importância da fotossíntese e dos nutrientes separadamente, existe uma estreita relação entre os dois, de tal forma que deficiências em um, prejudica o outro direto e/ou indiretamente (Oliveira, 2002).

A análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diversos métodos no crescimento total. Pode-se inferir também a atividade fisiológica, isto é, determinar estimativas de forma bastante precisa dos fatores que influenciam no crescimento de plantas geneticamente diferentes ou mesmas plantas crescendo em ambientes diversificados.

Desta forma, a análise de crescimento pode ser muito útil na seleção de espécies vegetais ou espécie que apresente características funcionais mais apropriadas aos objetivos do pesquisador.

A análise quantitativa de crescimento vegetal é considerada como método padrão para estimativa da produtividade biológica e primária das comunidades vegetais. Destina-se a avaliação da produção líquida das plantas, derivada do processo fotossintético, além de ser um resultado do desempenho do sistema assimilatório durante um certo período de tempo (Oliveira, 2002).

3.6.3. Estratégias de adaptação das plantas

A vegetação é mais do que uma coleção de indivíduos, é um complexo, comunidade de plantas dinâmicas com muitas interações entre os indivíduos. O meio ambiente preferencial e o comportamento individual das plantas ou espécies são freqüentemente bem estudados, mas estes comportamentos dentro da dinâmica da comunidade são bem menos avaliados. Na prática, o trabalho experimental visa investigar em situações particulares conhecer espécies de plantas que se desenvolvem e persistem em uma dada situação (Morgan & Rickson, 1995; Carneiro et al., 2002).

Segundo Gray & Sotir (1995) o sucesso das espécies individualmente dentro da comunidade irá depender das estratégias que elas mesmas desenvolvem para o seu estabelecimento. Estas estratégias estão relacionadas à intensidade do estresse ambiental tais como o ambiente natural (disponibilidade de luz, água, nutrientes e temperatura), ação antrópicas (erosão, introdução de patógenos e fogo) e a própria competição entre indivíduos (tolerância a estresse e rusticidade).

Para que haja uma melhor adaptação, às vezes é necessário artificializar o ambiente antes do estabelecimento das plantas para que então possa aliviar o estresse e diminuir os distúrbios. As plantas podem se propagar por sementes, brotos, estolões e rizomas, mas, dentre elas a propagação mais eficiente é por sementes, que rapidamente alcançam novas áreas (Alvarenga, 1993).

Além disso, são necessários cuidados que assegurem a supressão da vegetação espontânea, até que as plantas se estabeleçam. Por iso, o sucesso da vegetação introduzida depende, dentre outros fatores, da taxa de crescimento dessas plantas, de forma que possam competir efetivamente com a vegetação espontânea (Perin et al., 2004).

3.6.4. Importância da vegetação no controle da erosão do solo

De acordo com Franco (1997), a proteção proporcionada pelas plantas de cobertura, evitando o impacto da chuva diretamente sobre a superfície do solo, dissipando a sua energia cinética e impedindo a desagregação e a formação de crostas superficiais de baixa permeabilidade depende do tipo da planta, da morfologia e tamanho das folhas e das raízes, além do tipo de consórcio a que estas plantas estão compreendidas (TAB. 3.6).

TABELA 3.6 – Perda anual de solo e água sob diferentes sistemas de cultura

Sistema de cultivo (Verão/Inverno)	Perda		
	Total de solo (t/ha ⁻¹)	Total (mm)	Água (%)
Solo descoberto	220,14	519,4	30,1
Milho/Pousio	9,63	289,3	16,8
Milho + mucuna/Resíduos	1,42	28,3	1,6
Milho/Aveia+ervilhaça	0,85	25,7	1,5

Fonte: Seganfredo et al. (1997).

As raízes das plantas exercem função de estabilização das partículas do solo, através de diversos mecanismos como: aumento da resistência cisalhamento, promovida especialmente pelas radículas, que mantêm maior relação superfície/volume radicular; estabilização de movimentos de massa pelo efeito das raízes pivotantes, que atuam de maneira semelhante à “tirantes vivos”, promovendo o ancoramento de grandes massas de solo, especialmente aquelas com diferenças significativas entre resistência ao cisalhamento ao longo do perfil do solo (Gray & Sotir, 1995; Lal, 1994). Esta atuação está vinculada diretamente à transferência das tensões de cisalhamento, para a resistência das raízes à tração, promovendo, assim, incrementos consideráveis na resistência ao cisalhamento dos solos por transferência de forças, com conseqüente redução da erodibilidade e do aumento da estabilidade do solo frente à ação de agentes erosivos. Este efeito é denominado reforço radicular (Gray & Sotir, 1995; Morgan & Rickson, 1995; Coelho, 1999).

Raízes com diâmetro entre 1 e 12 mm, retêm fisicamente partículas do solo contra a ação erosiva da gravidade, impacto das gotas de chuva e do vento. O crescimento radicular lateral é mais efetivo na redução da erosão por processos desta natureza que o crescimento vertical das raízes (Coelho, 1999).

O papel exercido pelo sistema radicular no reforço dependerá dos valores de resistência à tensão cisalhante, das propriedades da interface entre as raízes e o solo, da concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo – também denominada arquitetura do solo (Coelho, 1999).

A morfologia radicular e sua distribuição ao longo do solo é controlada por fatores genéticos e ambientais. O desenvolvimento de uma arquitetura radicular em resposta a estes fatores rege a contribuição das raízes com relação à estabilização de solos. Em geral, sistemas radiculares com fibras radiculares fortes, de aprofundamento vertical e com raízes adventícias que penetrem nas superfícies de cisalhamento, são de elevada eficácia em situações de carreamentos superficiais (Coelho, 1999).

Uma elevada concentração de fibras radiculares de pequeno diâmetro é mais efetiva do que poucas raízes de diâmetro maior para o aumento da resistência ao cisalhamento de massas de solos permeadas por raízes. Esse aumento à resistência será diretamente proporcional à profundidade do solo explorada pelas raízes. A ação mais eficiente nesse aumento da resistência é verificada quando as raízes penetram ao longo do manto de solo até atingirem as fraturas ou fissuras presentes na camada de rocha-matriz, e quando as raízes penetram ao longo de solos residuais ou em zonas de transição, formando um efeito semelhante ao de tirantes vivos (Gray & Sotir, 1995; Coppin & Richards, 1990).

Sob condições normais, o recobrimento do solo, por vegetação herbácea densa, proporciona a melhor proteção contra a erosão laminar e contra a ação do vento. Entretanto, a utilização inadequada da vegetação, objetivando o recobrimento do solo, pode ocasionar resultados negativos em termos de conservação deste recurso natural (Morgan & Rickson, 1994).

A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos restos de culturas é fator fundamental na redução das perdas do solo por erosão hídrica, obtendo-se boa eficácia já com 30% de cobertura (Lopes et al., 1987). Coppin & Richards (1990) afirmam que o máximo efeito do recobrimento vegetativo é obtido a partir de um recobrimento de 70% da superfície do solo.

O recobrimento vegetativo modifica sensivelmente o microclima superficial, reduzindo as variações da umidade e temperatura do solo (Morgan & Rickson, 1994).

3.6.5. O papel da vegetação na estabilidade das camadas superficiais dos taludes

A estabilização ou proteção benéficas da vegetação dependem do tipo de vegetação e tipo de processo de degradação do talude.

A perda ou remoção da vegetação no talude pode resultar no aumento da taxa de erosão e aumento da frequência de rupturas no talude. A rigor, a densa cobertura de gramíneas ou leguminosas, por exemplo, supre a melhor proteção contra o escoamento superficial de água.

O uso da vegetação é de extrema importância, pois quando utilizada no controle da erosão superficial, pode ser diminuída em cem vezes se manter a densa cobertura de gramíneas ou vegetação leguminosas (USDA, 1978 apud Gray & Sotir, 1995).

De acordo com a FIG. 3.10 os efeitos benéficos de prevenção da erosão por chuva através de gramíneas e leguminosas são:

- Intercepção: as folhagens e os resíduos de plantas absorvem a energia da precipitação e prevenção dos impactos de gotas;
- Contenção: sistema físico da raiz de contenção e agregação das partículas de solo;
- Retardamento: caules e folhagens aumentam a superfície rugosa e diminui a velocidade de escoamento.
- Infiltração: plantas e seus resíduos ajudam a manter a porosidade e permeabilidade do solo conseqüentemente retardando o início do escoamento.

Vários tipos de vegetação gramíneas e leguminosas podem ser implantadas por estaquia, transplante de mudas ou semeadura direta no campo. Pois, embora sejam muito efetivas para o controle da erosão, elas possuem dificuldades para se estabelecer nos taludes quando em condições adversas como em locais escarpados, secos, com alta declividade e sujeitos a ação do vento (Gray & Sotir, 1995).

Devido a esta baixa resistência por parte da vegetação à determinadas condições adversas, faz-se se necessário o uso de técnicas que auxiliem no sucesso do estabelecimento e manutenção da cobertura vegetal da área e promovam um eficiente trabalho.

É importante estabelecer a vegetação na superfície de sistemas de cobertura final de ADRSU, pois estas superfícies são muito vulneráveis às erosões eólica e hídrica. Têm sido desenvolvidos métodos mais rápidos para implantação de vegetação perenes em cobertura final de ADRSU (Gill et al., 1999).

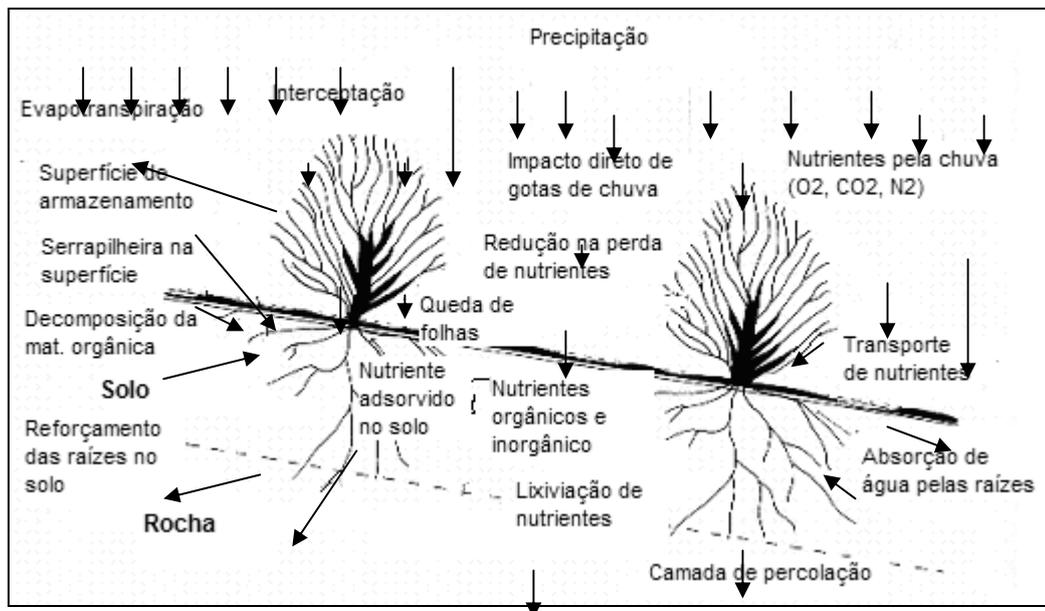


FIGURA 3.10 – Sistema hidrológico, erosivo e de nutrientes relacionados no papel da bioengenharia

Fonte: Adaptado de Morgan & Rickson, (1995).

3.6.6. As espécies vegetais da família *Leguminosae*

O termo genérico “leguminosa” refere-se às plantas da família Caesalpinaceae, Fabaceae e Mimosaceae. Existem numerosas leguminosas tropicais, havendo ainda muitas espécies desconhecidas e cerca de 13 mil catalogadas, as quais se prestam a uma gama de utilizações, como produção de grãos, frutos, tubérculos, forragem, carvão, celulose, madeira, adubação verde e arborização (Siqueira & Franco, 1998).

As leguminosas são reconhecidas como eficientes restauradoras da fertilidade dos solos, promovendo a produção de grande quantidade de massa verde e de grande exploração do solo pelo sistema radicular (FIG. 3.11). Uma das características que mais chama a atenção nas leguminosas é a capacidade de boa parte das espécies formar simbiose com determinados gêneros de bactérias comumente chamadas de rizóbio (Moreira et al., 1994).

Um outro aspecto relevante é o fato de que muitas leguminosas nodulíferas são também micorrízicas, ou seja, além de se associarem com o rizóbio, formam simbiose também com fungos micorrízicos, podendo se valer dos múltiplos benefícios desta interação. A exploração de maior volume de solo pelas hifas da micorriza permite a absorção de nutrientes e de água, além da zona de atuação das raízes. Os maiores benefícios se dão em função do incremento na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo, notadamente o fósforo, e do abrandamento dos problemas relacionados com o pH, alumínio e manganês nos solos ácidos,

além de benefícios não-nutricionais. Tais efeitos sobre o desenvolvimento da planta micorrizada são mais importantes e visíveis justamente em ambientes estressantes, como é o caso dos sítios degradados (Furtini Neto et al., 2000; Siqueira & Franco, 1998).

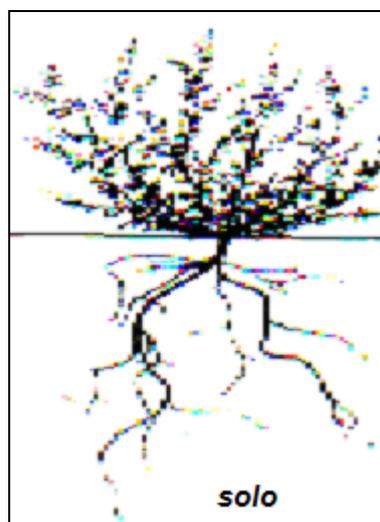


FIGURA 3.11 – Aspecto geral da família *Leguminosae*

3.6.7. As espécies vegetais da família *Gramineae*

As gramíneas têm sido apontadas como plantas de melhor capacidade regenerativa para a estabilidade da estrutura do solo, sendo as mais estudadas para este fim (FIG. 3.12). Pelo seu extenso sistema radicular concentrado na superfície, quando considerado longo efeito de tempo, têm resultado em valores altos de estabilidade dos agregados, principalmente para espécies perenes pois, além de apresentarem alta densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados (Silva & Mielniczuk, 1997; Santiago et al., 1998). No entanto, há falta de informação na taxa de modificação da estabilidade dos agregados no tempo quando comparada às leguminosas (Reinert, 1998; Dechen et al., 1981).

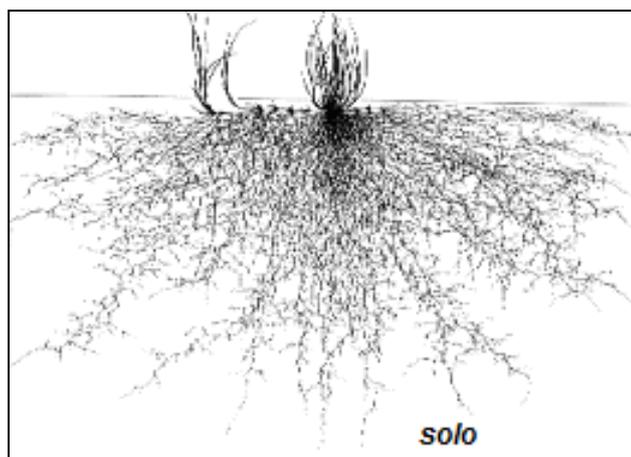


FIGURA 3.12 – Aspecto geral da família *Gramineae*

3.6.8. Sementes de espécies vegetais

O efeito de vigor de sementes sobre a taxa e a uniformidade de emergência (emissão de radículas), a emergência total e o estabelecimento de condições ambientais podem influenciar no crescimento inicial, na acumulação de matéria seca, e assim afetar o rendimento da cobertura vegetal (Shuch et al., 2000; Rodrigues, 1988).

O uso de populações de plantas de maior porte, em geral, proporcionam uma produção de matéria seca mais alta por unidade de área em etapas precoces de desenvolvimento, favorecendo uma cobertura do solo mais rápida, e uma redução da infestação por plantas daninhas, mostrando ainda tendência a rendimentos mais altos. Desse modo, seria de grande interesse avaliar a possibilidade de compensar as desvantagens iniciais da emergência mais lenta e do mais lento crescimento inicial mostrado pelas plantas originadas de sementes de menor vigor, pelo menos em porte, pela utilização de maiores densidades de semeadura, resultando em maiores populações de plantas (Shuch et al., 2000).

Dentre os fatores que afetam a qualidade das sementes, destaca-se a colheita que, especialmente em sementes de forrageira é dificultada pelas desuniformidades no florescimento, na maturação e pela degrana.

3.6.9. O papel da biomassa microbiana

A biomassa microbiana é o principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo sua influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes

minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes na maior parte dos ecossistemas terrestres (Moreira & Siqueira, 2002).

Microorganismos heterótrofos que promovem a decomposição primária utilizam o carbono do material orgânico para seu metabolismo, aproveitando cerca de 95% da energia contida na matéria orgânica do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

A subsequente decomposição desses organismos e seus produtos resultam na formação de materiais húmicos complexos e heterogêneos. Estes microrganismos heterótrofos, uma vez adaptados, servirão de importância para a biodegradação dos resíduos presentes nestes substratos diversificados, contribuindo para a reciclagem e aceleração na estabilização do solo antrópico (Doelman, 1985; Moreira et al., 1994).

3.6.10. Influência de metais pesados

Dentre os contaminantes, os metais pesados têm sido motivo de grande preocupação. O melhor destino final das áreas contaminadas geralmente exige a implantação de vegetação de cobertura, de preferência com capacidade de resistir a este tipo de ambiente (Cunningham et al., 1996). O maior obstáculo consiste na restrição imposta ao desenvolvimento da maioria das plantas pela presença de tais substâncias poluentes.

A elevação da concentração de metais como o Ni, Cr, Cu, Pb, Cd e Zn no solo podem interferir severamente na vegetação e nas atividades biológicas do solo, como a mineralização de materiais orgânicos, amonificação, fixação biológica de N₂, nitrificação, dentre outros ou, indiretamente, pelos efeitos tóxicos desses metais sobre as plantas, causando decréscimo na quantidade de substratos liberados na região rizosférica (Moreira & Siqueira, 2002).

Os efeitos desses metais dependerão, entretanto, das características do solo, do tipo e concentração do metal, do número de metais contaminantes e suas interações nas áreas adjacentes. Os metais podem agir diretamente no ciclo dos elementos químicos na natureza e também pode influenciar de modo negativo os demais processos com interferência no ecossistema, com conseqüências no meio ambiente e na saúde pública (Siqueira et al., 1994; Doelman, 1985).

Grandes esforços têm sido feitos para integrar conhecimentos que facilitem a reabilitação de solos poluídos com metais pesados, e assim, possibilitar o retorno da funcionabilidade e

estabilidade do ecossistema formado. Para isto, procura-se amenizar o efeito da fitotoxicidade dos metais no solo, visando ao estabelecimento da vegetação. Um dos requisitos básicos para o sucesso de qualquer técnica de revegetação é encontrar plantas tolerantes aos contaminantes. Existem evidências de que as plantas herbáceas possuem uma alta tolerância ao excesso de metais no solo em comparação às espécies arbóreas (Baker, 1981; Accioly, 2001).

O impacto que os metais pesados exercem na produção de raízes depende da sensibilidade da planta e da intensidade de contaminação, sendo consideradas espécies tolerantes aquelas que apresentam produção de raízes significativas em solos contaminados. Portanto, a produção de raízes é uma característica altamente significativa para solos com elevada contaminação de metais (Accioly et al., 2000; Carneiro et al., 2001).

Os mecanismos de resistência a metais pesados são vários, como o impedimento na absorção em consequência da alteração da permeabilidade da membrana, mudança na capacidade de absorção, aumento da exsudação de substâncias quelantes e mecanismos bioquímicos – alteração nas formas de compartimentalização do metal pesado, alteração no metabolismo celular e na produção intercelular de compostos ligantes (Shat & kalff, 1992 apud Carneiro et al, 2002; Eltrop, 1991).

3.6.11. Importância dos fertilizantes

O manejo do substrato de áreas degradadas para aumentar a sustentabilidade tem que ser baseado em práticas que maximizem a calagem de nutrientes, minimizem suas perdas e priorizem a entrada desses nutrientes no sistema como a adubação orgânica e química (Dias-Filho, 1998). Essas práticas de manejo somente serão viáveis se forem baseadas em princípios que sejam compatíveis com as condições ecológicas e socioeconômicas da área.

As plantas necessitam de 16 elementos para o seu crescimento. Três deles são obtidos do ar: o hidrogênio, o oxigênio e o carbono. Os macronutrientes, assim chamados por serem requisitados em maior quantidade, são o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre e magnésio. Os microelementos, exigidos em menor quantidade, são o ferro, boro, molibdênio, níquel, manganês, cobre e cloro (Malavolta, 1994; Silva, 1999).

Segundo Cogo et al. (2003), a calagem e a adubação do solo são importantes, por ocasião do estabelecimento de determinada cultura. Quando aplicadas nas quantidades recomendadas

podem conferir a adequada fertilidade ao solo e, conseqüentemente, elevada produção de fitomassa.

O composto orgânico é um adubo bastante utilizado para enriquecimento de solos pobres. O fator mais importante do composto orgânico é a possibilidade de ser utilizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo ou substrato para a produção vegetal, e também na recuperação de áreas degradadas e de solos exauridos devido erosão e ao uso irracional (IPT, 2000). A aplicação do composto no solo aumenta a matéria orgânica nele contida e pode melhorar sua textura, fertilidade, fonte de energia para os microrganismos que o habitam, retenção de água e a capacidade de aeração (Neto, 1996).

Dependendo dos tipos de resíduos utilizados no processo, o composto resultante pode ser utilizado em diferentes atividades agrícolas e florestais, como por exemplo: taludes de estradas florestais, viveiros florestais e recobrimento de ADRSU.

A quantidade necessária recomendada a ser adicionada ao solo é de 15 a 20 ton/ha ou 20 a 30 L/m² (Neto, 1996; IPT, 2000). As técnicas de aplicação do composto orgânico são as mesmas utilizadas para os fertilizantes minerais, ou seja, lançado manualmente e posteriormente incorporado ao substrato. Considerando-se as relações entre os conteúdos destes nutrientes presentes no composto orgânico e no fertilizante mineral comercial, a equivalência de massa média é de 17:1 (Neto, 1996, Silva et al., 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O trabalho de campo foi desenvolvido entre novembro de 2003 e maio de 2005. A área experimental está localizada no Aterro Sanitário da CTRS da BR-040, Km 531, na região Noroeste do Município de Belo Horizonte, limite com o Município de Contagem. A CTRS ocupa uma área de 144 hectares e opera desde 1975 sendo que, as atividades para o local onde realizou a pesquisa foram encerradas aproximadamente há cinco anos (FIG. 4.1).

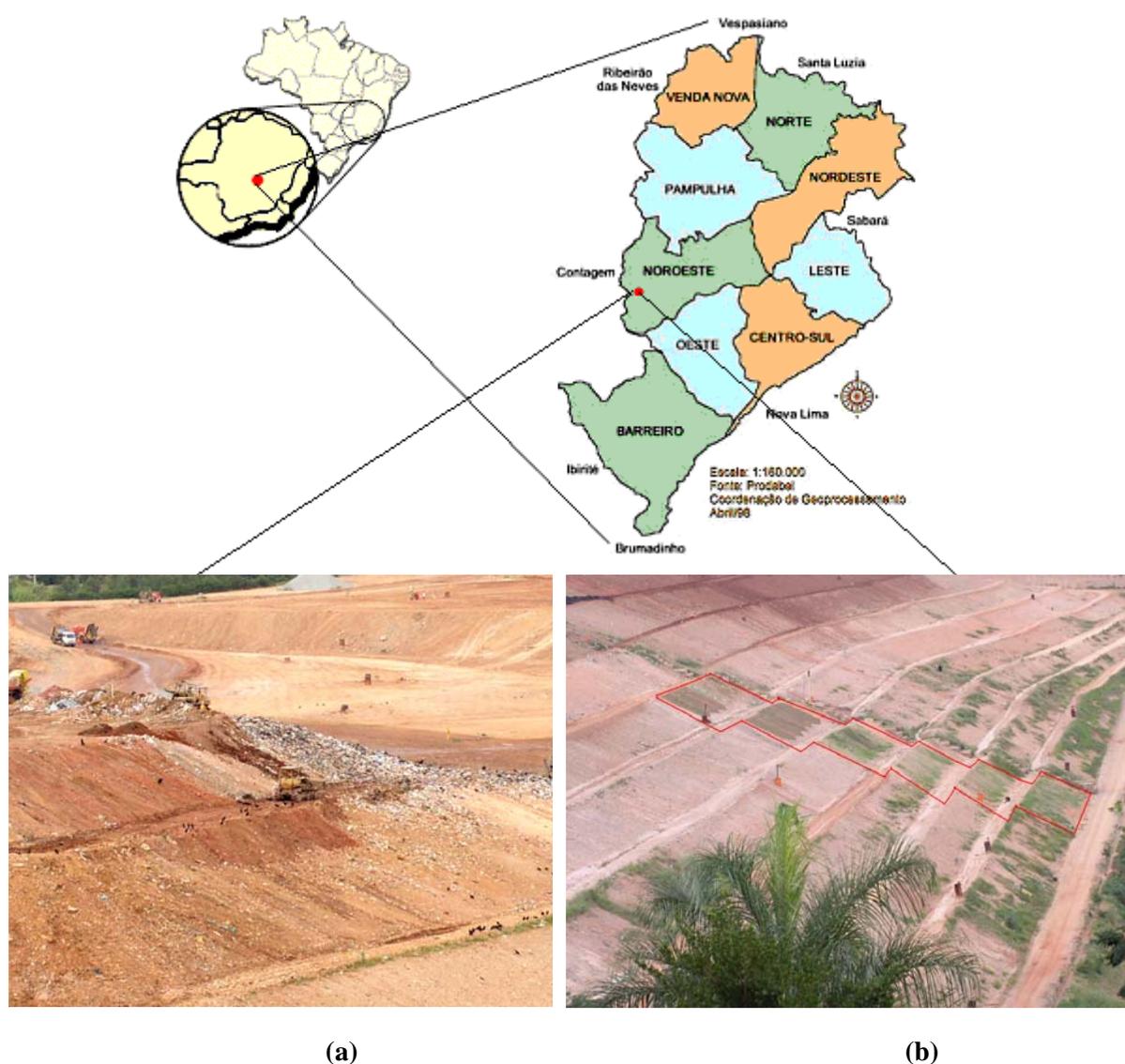


FIGURA 4.1 – Localização da área de disposição de resíduos sólidos urbanos aterro sanitário de Belo Horizonte: (a) construção da cobertura final; (b) área das parcelas do experimento.

4.2. Clima e pluviometria

Para a região de Belo Horizonte predomina basicamente o clima tropical, pelo regime sazonal de chuvas: estação úmida, chuvosa e estação seca. A temperatura média anual fica em torno de 21,5°C, sendo a média de temperatura máxima de 32,3°C e da mínima de 10°C. Nos períodos mais quentes do ano chega à 34°C. De acordo com a classificação de Koëppen, o tipo climático é Cwb, definido como mesotérmico úmido com estação chuvosa de verão brando.

A pluviosidade nessas áreas é um dos fatores mais importantes a serem considerados para os estudos da perda de solo. Haja vista que, em países de clima tropical úmido, a chuva é o principal agente erosivo. Neste aspecto, o próprio ADRSU possui uma estação pluviométrica próxima à área estudada, que permite uma análise pontual de precipitação. Os totais anuais de chuva são relativamente altos, 1.600 mm aproximadamente.

O acompanhamento da temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica ocorreram durante todo o período de monitoramento das parcelas (janeiro de 2004 a março de 2005).

4.3. Cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte

A cobertura final do aterro sanitário de Belo Horizonte consiste basicamente de substrato argiloso e resíduos de construção civil distribuídos em proporções iguais. A utilização dos resíduos da construção civil deve-se à grande parcela que esses materiais representam na composição gravimétrica dos resíduos recebidos na CTRS da BR-040. Esses substratos, por serem geralmente uma mistura de solos de diferentes origens, podem ser chamados de solos de adição.

De acordo com a FIG. 4.2, todo o material é disposto em camadas sobrepostas, não sendo realizada a sua mistura.

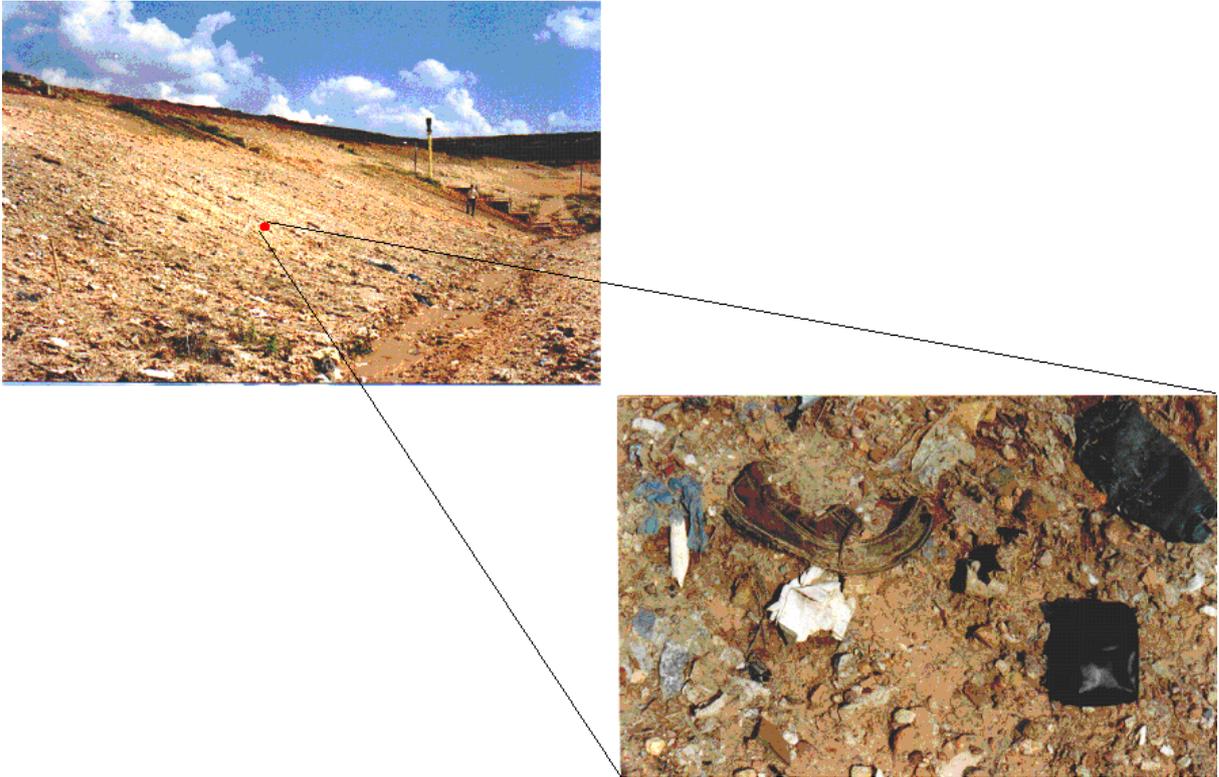


FIGURA 4.2 – Aspecto heterogêneo do material depositado na cobertura final do ADRSU de Belo Horizonte

Durante toda a construção da cobertura final é realizada a compactação do material para diminuir a porosidade e, conseqüentemente, impedir a sua perda por erosão hídrica. Devido à suscetibilidade desses materiais às intempéries, as eventuais perdas desses materiais na área, demandam contínuas operações de reposição nessas camadas.

Para a construção da última camada de solo da cobertura final são utilizadas máquinas pesadas, o que ocasiona uma mistura do RSU (plásticos, tecidos, e material ferroso) com o material de cobertura propriamente dito, conferindo um aspecto bem heterogêneo à camada superficial do aterro.

Em avaliação no plano vertical da cobertura final, ou seja, dos seus diferentes estratos, para alguns pontos de amostragem (18 pontos) na área a ser revegetada, foram observadas as espessuras da camada de solo com valores variando de aproximadamente 0,30m até superiores a 2,00m, conforme mostrado na FIG. 4.3.

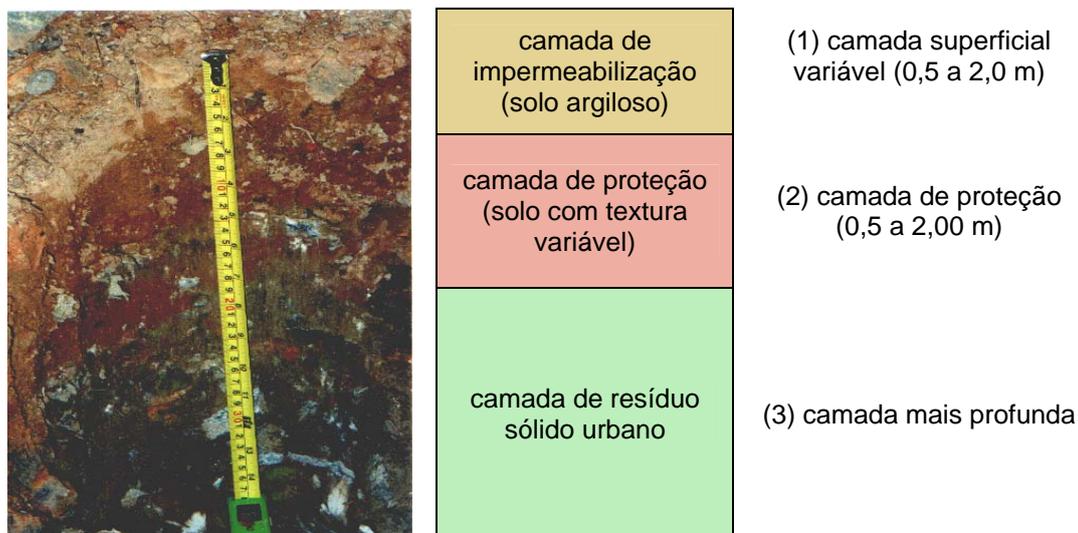


FIGURA 4.3 – Corte vertical da cobertura final do ADRSU de Belo Horizonte

Os pontos de menores espessuras estão relacionados à suscetibilidade dessas superfícies ao impacto de gotas e posterior arraste de sedimentos em épocas de chuvas intensas. Isso se deve ao fato de que uma parte da área de estudo ainda não dispõe de camada de proteção com vegetação. Os pontos de maiores espessuras devem-se às constantes atividades de manutenção das camadas.

4.4. Demarcação das parcelas

Foram delimitadas 33 parcelas experimentais nos taludes de uma das células de aterramento. Cada parcela apresenta área aproximada de 70 m², sendo 30 parcelas com 7,15 m de comprimento e 9 m de largura e 3 parcelas com 6,15 m de comprimento e 9 m de largura, dispostas lado a lado (FIG. 4.4). Com o objetivo de evitar possíveis interferências entre os tratamentos, cada parcela foi isolada por uma lâmina de plástico, implantada no substrato com profundidade de 15 cm. As parcelas foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado. O principal objetivo desta distribuição foi aproveitar a maior área possível e evitar perdas de parcelas, já que eventualmente são realizadas manutenções nos taludes e bermas do aterro.



(a)

(b)

FIGURA 4.4 – Detalhe das parcelas construídas: (a) vista lateral; (b) vista frontal.

4.5. Coletas, análises e procedimentos para caracterização de amostras

4.5.1. Substrato

Objetivando-se avaliar a heterogeneidade observada nos materiais utilizados nas camadas de cobertura final do aterro, foram necessárias as caracterizações químicas e físicas iniciais do material para cada parcela de forma sistematizada.

4.5.1.1. Caracterização química

Para a caracterização da fertilidade do substrato retiraram-se no total 30 amostras compostas, sendo três amostras em cada parcela, onde foi realizada a implantação da cobertura vegetal, na profundidade de 0-20 cm, conforme sugerido por Silva (1999). As coletas em cada parcela foram realizadas na base, médio e topo do talude. Posteriormente foram identificadas, embaladas individualmente e acondicionadas em caixas de isopor com temperaturas de 2 a 5^oC.

Os principais parâmetros de fertilidade avaliados foram: pH em água, acidez potencial (H+Al), macro e micronutrientes (N, P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺), matéria orgânica (M.O), carbono (C), Valor de saturação em base (V), Soma de Bases Trocáveis (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC), Índice de Saturação de Alumínio (m) e Capacidade Efetiva de Troca de Cátions (t). As análises foram realizadas nos laboratórios da EMBRAPA, conforme seus procedimentos (TAB. 4.1).

Com o objetivo de avaliar possíveis influências dos metais pesados no processo de revegetação da área devido à proximidade do resíduo sólido urbano à superfície, foram selecionados os seguintes elementos: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn. Foram coletadas duas amostras compostas de padrão aleatório para cada talude, sendo uma amostra na profundidade de 0-20 cm e uma de 40-60 cm totalizando 12 amostras compostas. Essas análises foram realizadas nos laboratórios do CETEC, conforme seus procedimentos (TAB. 4.1).

TABELA 4.1 – Métodos utilizados para caracterização química do substrato

Caracterização do substrato	Unidade	Metodologias e fórmulas utilizadas
M. O.	dag/kg	Método colorimétrico
C	dag/kg	$C. Org = M.org / 1,724$
N	dag/kg	$N = N.calculado / M.org$
pH (H ₂ O)	-	Método do eletrodo combinado
pH (H+Al)	-	Método da solução de acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato
Al ³⁺	cmol.carga/dm ³	Método do cloreto de potássio 1 normal
Ca ²⁺	cmol.carga/dm ³	Método do cloreto de potássio 1 normal
Mg ²⁺	cmol.carga/dm ³	Método do cloreto de potássio 1 normal
P	mg/dm ³	Solução extratora Mehlich 1
K	mg/dm ³	Solução extratora Mehlich 1
SB	cmol.carga/dm ³	$SB = Ca^{2+} + H^{+} + Al^{3+}$
T	cmol.carga/dm ³	$T = S + H^{+} + Al^{3+}$
t	cmol.carga/dm ³	$t = Al^{3+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$
m	%	$m = 100 \cdot Al^{3+} / S + Al^{3+}$
V	%	$V = 100 \cdot SB / T$
Cd, Cr, Cu, Pb e Zn	mg/kg	Espectrometria por Emissão por Plasma
Hg	mg/kg	Espectrometria de Absorção Atômica por Vapor Frio

4.5.1.2. Caracterização física

Para os parâmetros físicos foram coletadas amostras compostas em três pontos (base, médio e topo do talude) de cada parcela totalizando 99 amostras. A coleta foi realizado no período de nov/03 à fev/04. Foram selecionados os seguintes parâmetros: teor de umidade, peso específico aparente (ρ), peso específico seco (ρ_d), massa específica dos grãos (ρ_s), distribuição granulométrica, limites de consistência (limite de liquidez e limite de plasticidade), permeabilidade e estabilidade dos agregados. Essas análises foram realizadas conforme procedimentos da ABNT e EMBRAPA, no Laboratório da CTRS da BR-040 e no Laboratório de Geotecnia na Escola de Engenharia da UFMG, conforme seus procedimentos (TAB. 4.2).

TABELA 4.2 – Métodos de caracterização física do substrato

Caracterização do substrato	Unidade	Metodologias e fórmulas utilizadas
Massa específica dos grãos	g/cm ³	ABNT NBR 6508/84
Peso específico natural	g/cm ³	EMBRAPA (1997)
Distribuição granulométrica	%	ABNT NBR 7181/1984 e ASTM D-422/63
Limite de liquidez	%	NBR 6459/1984; BS 1377/1975
Limite de plasticidade	%	NBR 7180/1984
Permeabilidade	cm/s	Permeâmetro Guelph Modelo 2800
Umidade	%	EMBRAPA (1997)
Estabilidade dos agregados	%	YODER (1936)

4.5.2. Vegetação

Para que se obtivesse um melhor controle sobre a qualidade das espécies vegetais utilizadas na pesquisa realizou-se um teste de germinação do lote de sementes em laboratório. O objetivo desse teste foi avaliar o vigor das sementes em relação à sua dormência, onde foram consideradas todas as sementes que, pela emergência da radícula e desenvolvimento das estruturas essenciais do seu embrião, demonstrou sua aptidão para produzir plantas sob condições favoráveis de campo.

O teste de germinação, efetuado sem a aplicação de procedimento voltado à superação da emergência da radícula, constou da distribuição de 100 sementes em duas repetições (FIG. 4.5). As sementes mantidas no interior de caixas transparentes (11x11x3cm) foram submetidas á diferentes condições de temperatura, sendo que foram forradas com papel filtro para umedecer o meio, foi utilizado água destilada, regime de temperatura através de lâmpadas especiais sob 20⁰C (**Teste 1**), 30⁰C (**Teste 2**) e presença de luz (Rodrigues, 1988). Para este tipo de teste, o ambiente foi controlado dentro de germinadores apropriados (FIG. 4.5).

Para as espécies vegetais que atingiram baixa germinação na presença de luz, foi realizado um segundo teste que se caracterizou na ausência de luz e temperatura de 20⁰C (**Teste 3**).

As contagens foram realizadas aos 2, 5, 7, 14, 21 e 28 dias, para a obtenção da porcentagem de germinação de cada espécie vegetal. Esses testes foram realizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica da UFMG (FIG. 4.5).



(a)



(b)

FIGURA 4.5 – Teste de germinação em laboratório: (a) caixa de germinação - Gerbox; (b) germinador de semente.

Após 30 dias de implantação das sementes no campo, com o objetivo de conhecer a sua densidade populacional, foi avaliada a quantidade de indivíduos por área, coletando-se uma amostra de cada parcela. A avaliação foi realizada pelo método quadrante, que consiste no uso de um quadro de madeira de área conhecida, que foi lançado na parcela de maneira aleatória (Alvarenga, 1993). Posteriormente procederam-se a coleta da parte aérea das plantas, rente à superfície do solo, e sua separação em gramíneas e leguminosas.

Na cobertura vegetal consorciada (gramíneas + leguminosas), foi realizada a coleta da fitomassa da parte aérea por área após 1 e 12 meses de implantação do experimento, onde o objetivo principal foi de conhecer a produção final de fitomassa por área e em cada tratamento. O material, coletado pelo método quadrante, foi levado à estufa à 70⁰C até constância de peso, pesado posteriormente e obtendo então a massa seca da parte aérea dos seus respectivos consórcios.

Até 90 dias de implantadas as espécies vegetais, foram avaliadas visualmente o seu crescimento, mortalidade e morfologia das raízes e da parte aérea.

Apenas aos 12 meses foi realizada a avaliação do porte das diferentes espécies vegetais. A avaliação foi realizada coletando-se três amostras individualmente para cada espécie e para

cada parcela cujo objetivo foi de conhecer os seguintes parâmetros adaptativos: comprimento, massa úmida e seca da parte aérea e densidade úmida e seca das raízes, bem como o levantamento de possíveis sinais de presenças de microrganismos simbiotes em suas raízes. Nesta coleta foi utilizado um anel metálico de volume conhecido para determinar a quantidade de raiz por unidade de volume. Todas as análises de fitomassa da vegetação foram realizadas no Laboratório da CTRS da BR-040.

As avaliações da cobertura vegetal da superfície foram efetuadas em apenas duas épocas, aos 7 e 12 meses devido a grande variação da cobertura vegetal que foram observadas ao longo do tempo. Neste aspecto, optou-se somente realizar a avaliação em duas estações distintas (inverno e verão) para conhecer a capacidade de recobrimento dos diferentes tratamentos avaliados.

Nas diferentes épocas estabelecidas avaliou-se a taxa de cobertura vegetal das parcelas pelo método quadrante. Este método consiste no uso de um quadro de madeira de área 1m^2 , este quadro foi dividido em nove pequenos quadrados. Este quadro foi lançado, de forma aleatória, cinco vezes em cada parcela, avaliando visualmente nos quadrados menores a porcentagem coberta pela vegetação (Alvarenga, 1993). Com os dados do quadrado de 1m^2 extrapolou-se para toda a parcela (FIG. 4.6).



FIGURA 4.6 – Avaliação da cobertura vegetal com o método do quadrante

4.6. Seleção das espécies vegetais

Preferencialmente, as espécies vegetais devem apresentar características que contribuam para o reequilíbrio e estabilização de ecossistema, propiciando a atuação dos mecanismos e dos processos naturais de colonização e integração da flora e da fauna (Resende & Kondo, 2001).

Neste aspecto, buscando avaliar o potencial de uso das espécies para a revegetação da cobertura final de ADRSU foi realizada uma revisão bibliográfica, verificando as características de compatibilidade entre as espécies, eficiência de cobertura em quantidade e qualidade de fitomassa, ciclo de vida, hábito de crescimento, tolerância ao consórcio, resistência à seca, rusticidade, baixa tolerância quanto à fertilidade e disponibilidade de sementes no mercado.

Considerou-se também o princípio básico da técnica de revegetação de áreas degradadas como fatores que poderão influenciar no sucesso da cobertura vegetal da área: o ambiente de semeadura, densidade de indivíduos e proteção das sementes.

As espécies selecionadas foram *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*, *Braquiaria ruziziens*, *Calopogonium mucunoides*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria breiflora*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Melinis minutiflora*, *Stizolobium aterrimum*, *Panicum maximum*, *Canavalia ensiformis*, *Hyparrhenia rufa*, *Paspalum notatum*, *Lablab purpureus*, *Raphanus sativus*, *Pueraria phaseoloides* e *Avena strigosa* (TAB. 4.3).

TABELA 4.3 – Caracterização geral das espécies vegetais utilizadas no experimento

Nome científico	Nome comum	Ciclo de vida	Quantidade de sementes (kg/ha)	Classificação botânica
<i>Avena strigosa</i>	aveia preta	Anual	300	Gramineae
<i>Brachiaria brizantha</i>	b. brizantha	Perene	100	Gramineae
<i>Brachiaria decumbens</i>	b. decumbens	Perene	100	Gramineae
<i>Brachiaria humidicola</i>	b. humidicola	Perene	100	Gramineae
<i>Braquiaria ruziziens</i>	b. ruziziens	Perene	100	Gramineae
<i>Calopogonium mucunoides</i>	calopogônio	Perene	30	Leguminosae
<i>Cajanus cajan</i>	feijão guandu	Perene	150	Leguminosae
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	c. ochroleuca	Anual	120	Leguminosae
<i>Crotalaria juncea</i>	c. juncea	Anual	120	Leguminosae
<i>Crotalaria breiflora</i>	c. breiflora	Anual	120	Leguminosae
<i>Melinis minutiflora</i>	Meloso	Perene	50	Gramineae
<i>Stizolobium aterrimum</i>	mucuna preta	Anual	240	Leguminosae
<i>Canavalia ensiformis</i>	feijão-de-porco	Anual	1,02	Leguminosae
<i>Panicum maximum</i>	colonião	Perene	45	Gramineae
<i>Hyparrhenia rufa</i>	jaraguá	Perene	35	Gramineae
<i>Paspalum notatum</i>	pensacola	Perene	75	Gramineae
<i>Lablab purpureus</i>	lablab	Anual	140	Leguminosae
<i>Raphanus sativus</i>	nabo forrageiro	Anual	140	Leguminosae
<i>Pueraria phaseoloides</i>	puerária	perene	15	Gramineae

A quantidade de sementes utilizada teve como referência inicial as dosagens recomendadas para formação de pastagens e os dados informais sobre a quantidade de semente utilizada em programas de revegetação de áreas degradadas.

4.7. Avaliação da perda de solo

Em novembro de 2004, foram implantados coletores de sedimentos em cada parcela. Em três parcelas, foram utilizados dois coletores em série, com o objetivo de verificar a adequabilidade do volume dos coletores utilizados. Foram utilizados recipientes plásticos (bombonas) com capacidade de 50L, encontrados facilmente no mercado. Em todos os coletores foi adaptada uma régua métrica para a leitura do volume de água escoado.

Na extremidade de cada parcela, foram instalados os canalizadores de sedimento, constituídos por uma calha de madeira, a qual recebia e conduzia todo o sedimento carregado superficialmente para um tubo PVC de 150mm de diâmetro e 0,25m de comprimento (FIG. 4.7).



FIGURA 4.7 – Detalhes dos canalizadores de sedimento: (a) parcela individual com o canalizador na base do talude; (b) canalizadores ao longo das parcelas no talude.

Em campo, o procedimento de coleta dos dados baseou-se em anotar, após a ocorrência de uma chuva natural, a altura do nível de água de cada coletor (FIG. 4.8). Em seguida, homogeneizava-se manualmente o material erodido (água + sedimento) e retirava-se dele 1 amostra alíquota de 500mL. As amostras eram colocadas em garrafas plásticas, hermeticamente fechadas, contendo a identificação exata do coletor de origem e a data de coleta (FIG. 4.8). As amostras com o sedimento coletado em campo eram levados ao

laboratório para a determinação da concentração de sedimento e para o cálculo da quantidade de sedimento perdido por erosão, em cada chuva erosiva, em cada tratamento (Cogo, 1978; Garcia et al., 2003). Após cada coleta, as bombonas eram esvaziadas e novamente preparadas para as coletas posteriores.

No laboratório os sedimentos depositados no fundo do recipiente foram coletados para o cálculo da quantidade representativa de sedimentos carregados, após serem levados em secagem em estufa a uma temperatura de 110⁰C, no período de 24 horas e, assim, determinava-se a massa seca de sedimento para cada parcela experimental e posteriormente a perda de solo para cada tratamento.



FIGURA 4.8 – Coleta da perda de solo: (a) medição do volume; (b) coleta da alíquota.

Com o uso de um pluviômetro próximo à área experimental registrou-se a distribuição temporal dos eventos pluviométricos, que possibilitaram os cálculos da sua intensidade e posterior estimativa do potencial erosivo das chuvas.

Para realizar uma previsão da perda de solo da camada de cobertura final, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (Equação 4.1) (Wischmeier. & Smith, 1978; Bertoni & Neto, 1990).

$$A = R K L S C P \quad \text{equação (4.1)}$$

Em que:

A – perda anual do solo calculada por unidade de área (ton/ha)

R – fator chuva – índice de erosão pela água (varia de 10 – > 1000)

K – fator de erodibilidade do solo varia de (0 – 1)

- L – fator de comprimento do declive (0 – 10)
 S – fator grau do declive (0 – 10)
 C – fator uso e manejo ou cobertura vegetal varia entre (0 – 1)
 P – fator prática conservacionista (0 - 1)

Para o cálculo da erosividade das chuvas, primeiramente obteve-se o valor da energia cinética de cada evento de chuva, conforme a equação proposta por Foster et al., (2002) (Equação 4.2):

$$E = \sum 0,29[1-0,72 \exp (-0,082 i_i)] \quad \text{equação (4.2)}$$

Em que:

E – energia cinética, em MJ ha⁻¹

i_i – intensidade de precipitação para cada intervalo de tempo de um evento de precipitação (mm/h)

Em seguida, calcula-se o fator R conforme a equação proposta por Foster et al., (2002) (Equação 4.3):

$$R = E * I_{30} \quad \text{equação (4.3)}$$

E – energia cinética, em MJ ha⁻¹

I₃₀ – máxima intensidade de chuva ocorrida em um período de 30 minutos (mm/h)

Para a determinação da constante de erodibilidade do solo (K) foi utilizada a expressão apresentada por Wischmier & Smith (1958) (Equação 4.4), que leva em consideração a profundidade efetiva do solo, a relação textural entre as camadas de cobertura final, a permeabilidade e o teor de matéria orgânica do substrato.

$$100 K = 2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3) \quad \text{equação (4.4)}$$

Em que:

M = (% 0,1-0,002 mm + % 0,1-0,05mm) x (100 - % argila)

a – porcentagem de matéria orgânica

b – estrutura do solo

c – permeabilidade do solo

A correção topográfica (fator LS) foi feita para um comprimento individual de cada parcela variando de 6,15 e 7,15 m e declividade de $0,50 \text{ mm}^{-1}$, mediante a seguinte equação (Bertoni & Neto, 1990) (Equação 4.5).

$$LS = 0,01 L^{0,5} (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2) \quad \text{equação (4.5)}$$

Em que:

L – comprimento do talude (m)

S – declividade do talude (%)

Quanto aos valores de cobertura (fator C) e práticas conservacionistas (fator P) foram considerados os valores tabelados, apresentados anteriormente.

4.8. Tratamentos

Foram implantadas 33 parcelas, representando 11 combinações de tipos de adubação, tipos de biomanta e misturas de espécies (FIG. 4.9). Os tratamentos foram implantados em triplicata, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado para toda a área de estudo. Este delineamento foi selecionado devido à alta variação das condições observadas anteriormente para a área da pesquisa.

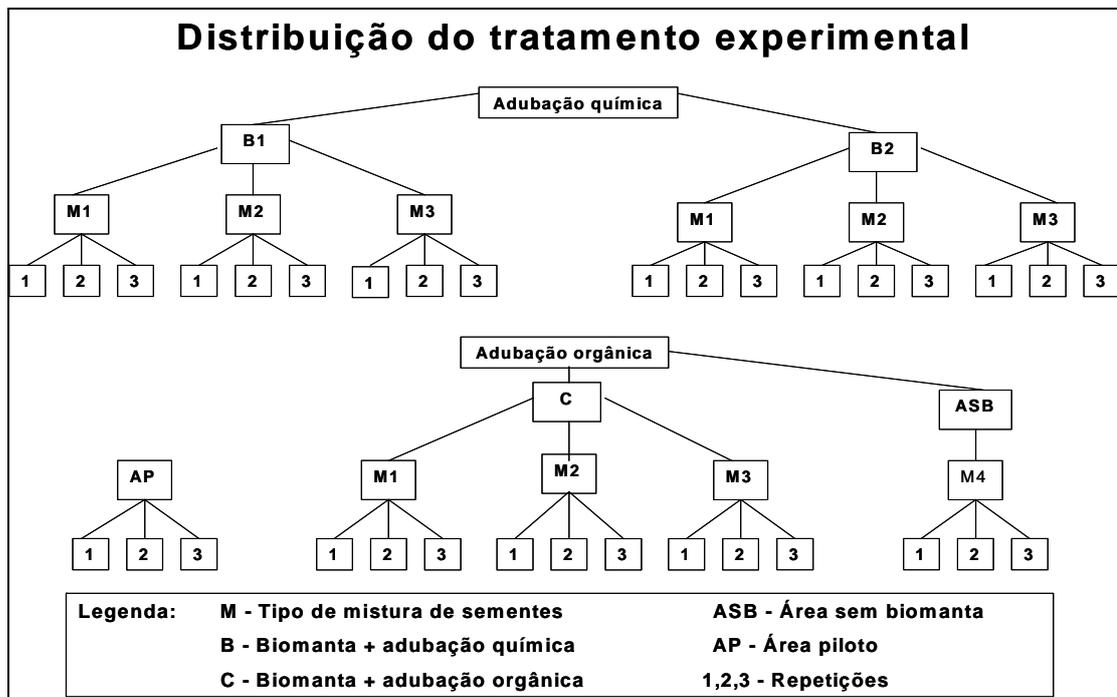


FIGURA 4.9 – Distribuição dos tratamentos no experimento

4.8.1. Fertilização do substrato

4.8.1.1. Adubação orgânica

Com o intuito de utilizar a matéria prima do próprio aterro para auxiliar na revegetação dos taludes, foi utilizado o composto orgânico produzido no pátio de compostagem do aterro sanitário da CTRS da BR-040.

Este composto é constituído basicamente de resíduos de poda, de restaurantes e de hortifrutigranjeiros mais próximos da região de Belo horizonte na proporção de 40% de alimentos em geral e de 60% resíduos de poda (SMLU, 2003).

O composto orgânico foi produzido por meio do processo de compostagem, no período de 26 de maio de 2003 a 26 de março de 2004. Para a aplicação do composto no campo foi selecionada e preparada uma dosagem na proporção de 15 t/ha (Neto, 1996).

Para estabelecer um adequado controle de qualidade para uso deste produto, foram coletadas amostras simples em vários pontos da leira de composto orgânico, que posteriormente foram homogeneizadas, transformadas em uma amostra composta e encaminhadas para as análises químicas. Os parâmetros avaliados foram: químicos (pH, ácidos húmicos, N total, Relação

C/N, fósforo, CTC, Zn, Co, Cd, Pb, Cr, Hg, Ni e K), físicos (umidade, sólidos voláteis e densidade) e biológicos (coliformes fecais, estreptococos fecais e salmonela).

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que esse fertilizante no aspecto agrônomo pode ser classificado como apropriado para ser incorporado ao substrato, embora alguns parâmetros estejam fora dos limites permitidos como a umidade, o pH e coliformes fecais. A alteração desses valores pode estar relacionada à presença de fezes de aves que ficam no pátio onde é fabricado o composto orgânico. Como a composto orgânico seria utilizado para a revegetação de áreas degradadas, os parâmetros acima dos limites foram desconsiderados.

Os parâmetros mais importantes a serem considerados são os metais pesados, pois, esses fertilizantes com alto nível de metais, ao entrarem em contato com a vegetação, poderão desencadear uma série de problemas químicos e biológicos. Observa-se, no entanto, que o resultado dos níveis de metais pesados para este fertilizante está adequado. Essas informações foram obtidas junto ao Laboratório de Compostagem da SMLU (TAB. 4.4).

TABELA 4.4 – Análises do composto orgânico coletado em novembro de 2003

Parâmetros	Unidade	Valores	Limites
pH	Ca Cl ₂	7,07	> 7,50
Umidade	%	37,56	40 < u < 60
Sólidos voláteis	%	90,65	> 40,00
Ácidos Húmicos	Cg/g de MO	1,74	± 8,00
N total	-	2,60	-
Relação C/N	-	19,56	12 a 18
P	%	0,30	± 0,50
K	%	1,10	± 0,50
CTC	meq/100g	70,29	60 a 80
Densidade	Kg/m ²	383,10	-
Coliformes Fecais	UFC/g	2,85 x 10 ³	< 5,0 x 10 ²
Estreptococos Fecais	UFC/g	4,6 x 10 ⁴	< 5,0 x 10 ³
Salmonela	UFC/g	Ausente	Ausente
Zn	mg/kg de matéria seca	55,00	< 375,00
Cu	mg/kg de matéria seca	15,00	< 150,00
Cd	mg/kg de matéria seca	0,77	< 2,50
Pb	mg/kg de matéria seca	12,50	< 150,00
Cr	mg/kg de matéria seca	6,30	< 160,00
Hg	mg/kg de matéria seca	< 0,05	< 3,20
Ni	mg/kg de matéria seca	5,00	< 25,00

Fonte: SMLU, 2003.

4.8.1.2. Adubação química

A adubação química foi constituída por NPK na proporção 4-14-8 kg.ha⁻¹, respectivamente, e fosfato natural [PO₄⁻] na proporção de 500 kg.ha⁻¹, que posteriormente foram incorporados ao

substrato. A seleção da melhor dosagem foi embasada em estudos realizados em áreas degradadas que apresentam solo com alta heterogeneidade dos componentes do substrato (Pereira, 2003).

Para os tratamentos que utilizaram fertilizante químico, além das adubações iniciais, foi realizada a aplicação de uma nova dosagem, após 90 dias de realização da semeadura. Essa dosagem constitui-se de uréia [(NH₂)₂ CO] na proporção de 250 kg.ha⁻¹, devido à manifestação de deficiência de nitrogênio por algumas espécies.

4.8.2. Misturas de espécies vegetais

O objetivo principal da mistura de sementes foi obter maior sucesso de cobertura vegetal e maior acúmulo de fitomassa por área, por ser um ambiente bastante hostil. A TAB. 4.5 apresenta as misturas de espécies utilizadas.

TABELA 4.5 – Grupos de espécies vegetais separadas em Mistura 1, 2, 3 e 4

Tipos de Misturas	Família: Espécie vegetal
Mistura 1 (M1)	<i>Gramineae</i> : b. humidicola, b. brizantha e colômbio <i>Leguminosae</i> : mucuna preta, c. breiflora e feijão-de-porco
Mistura 2 (M2)	<i>Gramineae</i> : jaraguá, pensacola e b. ruziziens <i>Leguminosae</i> : lablab, feijão guandu e calopogônio
Mistura 3 (M3)	<i>Gramineae</i> : b. decumbens, meloso e aveia preta e puerária <i>Leguminosae</i> : nabo forrageiro, c. juncea, c. ochroleuca
Mistura 4 (M4)	<i>Gramineae</i> : pensacola, aveia preta, jaraguá, colômbio e meloso <i>Leguminosae</i> : lablab, mucuna preta, feijão-de-porco, nabo forrageiro e c. juncea

4.8.3. Materiais geossintéticos

Foram utilizados dois tipos de biomantas, descritos a seguir.

4.8.3.1. Tela Biotêxtil – 400UP SÉRIE ARP-440 (B1)

Este produto caracteriza-se por ser translúcido, flexível, constituído de fibras vegetais dilaceradas e desidratadas (palha agrícola), entrelaçadas juntamente com uma rede de polipropileno, por meio de costura longitudinal por processo industrial, com fios resistentes degradáveis de polipropileno, com espaçamento de 5 cm entre os fios e de 6 cm entre os pontos (Pereira, 2003) (TAB. 4.6).

TABELA 4.6 – Especificação técnica do material de recobrimento

Características	Unidade	Valor
Matriz orgânica	-	100% palha
Comprimento	m	33,40
Largura	m	1,50
Área da bobina	m ²	50,00
Gramatura da matriz orgânica	g/m ²	400,00
Peso da bobina	kg	20,00
Longevidade	meses	12 – 30
Resistência à tração	kgf/m	38,00
Diâmetro da bobina	m	0,45
Espaçamento entre linhas	cm	5,00
Comprimento do ponto	cm	6,00
Inclinação máxima do talude (H:V)	H:V	1 : 1

Fonte: Pereira, 2003

4.8.3.2. Tela Sintemax – 400TF (B2)

Este produto é constituído em 100% por fibras de coco, entrelaçadas e incorporadas em redes de polipropileno nos dois lados e uma terceira malha, com fios de polipropileno, com espaçamento de 5 cm entre os fios e de 6 cm entre os pontos, formando uma trama (Pereira, 2003) (TAB. 4.7).

TABELA 4.7 – Especificação técnica do material de recobrimento

Características	Unidade	Valor
Matriz orgânica	-	100% fibra de coco
Comprimento	m	33,40
Largura	m	1,50
Área da bobina	m ²	50,00
Gramatura da matriz orgânica	g/m ²	400,00
Peso da bobina	kg	35,00
Longevidade	meses	Permanente
Resistência à tração	kgf/m	690,00
Diâmetro da bobina	m	0,50
Espaçamento entre linhas	cm	5,00
Comprimento do ponto	cm	6,00
Inclinação máxima do talude (H:V)	H : V	>1:2

Fonte: Pereira, 2003.

4.9. Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos às análises estatísticas básicas e testes não paramétricos como de Kruskal & Wallis, (1952) e Wilcoxon, (1945). Estes testes enfocam a variabilidade das características do substrato e dos resultados dos tratamentos avaliados. As análises foram realizadas utilizando-se o programa computacional específico.

4.10. Implantação e preparação das parcelas no campo

O preparo do substrato tem por objetivo melhorar as suas condições superficiais e internas, visando favorecer a germinação das sementes e o crescimento e desenvolvimento das plantas. Diante disso, após a regularização da superfície do talude, com a retirada do material mais grosseiro e construção do sistema de drenagem, procedeu-se a limpeza e execução do microcoveamento, de maneira a facilitar a retenção dos insumos a serem aplicados, como fertilizantes e sementes. Foi aplicado lateralmente um material plástico para isolar uma parcela da outra, evitando assim a contaminação entre elas, e na parte mais alta de cada parcela foi implantado um retentor de sedimentos, do tipo bermalonga, cujo objetivo foi de evitar a passagem de água de um talude para outro. Este Bermalonga® é constituído de fibras vegetais que tem aplicações em obras de Bioengenharia tais como, o preenchimento de focos erosivos e voçorocas, revestimento de taludes e erosões.

Logo após o preparo do solo, foi realizada a aplicação dos adubos químicos e orgânicos de forma manual e mais uniforme possível. Em seguida, realizou-se a semeadura direta pelo método manual e à lança.

A aplicação das biomantas, que estavam acondicionadas em bobinas, foi iniciada pelo topo do talude, desenrolando-se a bobina, fixando-a e moldando-a em uma valeta escavada com 15 cm de largura e 10 cm de profundidade, deixando ultrapassar 20 cm além da valeta. A ancoragem foi realizada com grampeamento da biomanta no fundo da valeta, seguida de compactação manual do solo. Após a aplicação de fertilizantes e sementes, os 20 cm excedentes da biomanta sobre a valeta foram dobrados e promoveu-se sua fixação com grampos, cujo espaçamento mínimo foi de 40 cm. Esta fixação no topo do talude é de extrema importância para o desempenho do produto.

Após a implantação das biomantas e um período de tempo de estabelecimento da vegetação (7 meses), foram implantadas as canaletas de coleta de sedimentos, que consistem no uso de ripas de madeira (40x300x0,50cm) enterradas 20 cm no solo. Posteriormente implantou-se um tubo de PVC de 150 mm e argamassa de cimento para conduzir os sólidos carregados até os coletores de sedimentos (FIG. 4.10).

Com as canaletas já instaladas, realizou-se a instalação dos coletores de sedimentos, consistindo inicialmente na perfuração do solo até a profundidade de um metro.

Posteriormente, os coletores foram posicionados e fixados no substrato com ripas de madeira (FIG. 4.10).



FIGURA 4.10 – Detalhe do coletor de sedimento: (a) conexão dos conjuntos de coletores (canalizador + tubo + coletor); (b) coletor na base da parcela.

Em algumas parcelas foram implantados dois coletores de sedimentos, com o intuito de avaliar a eficiência do processo de coleta de sedimentos carregados em cada parcela. O primeiro coletor a receber os sedimento possuía 10 perfurações sendo apenas uma perfuração conduzida para o segundo coletor, cujo objetivo principal é avaliar a qualidade do sedimento, isto é, 10% do volume total escoado pelo primeiro coletor (FIG. 4.11).

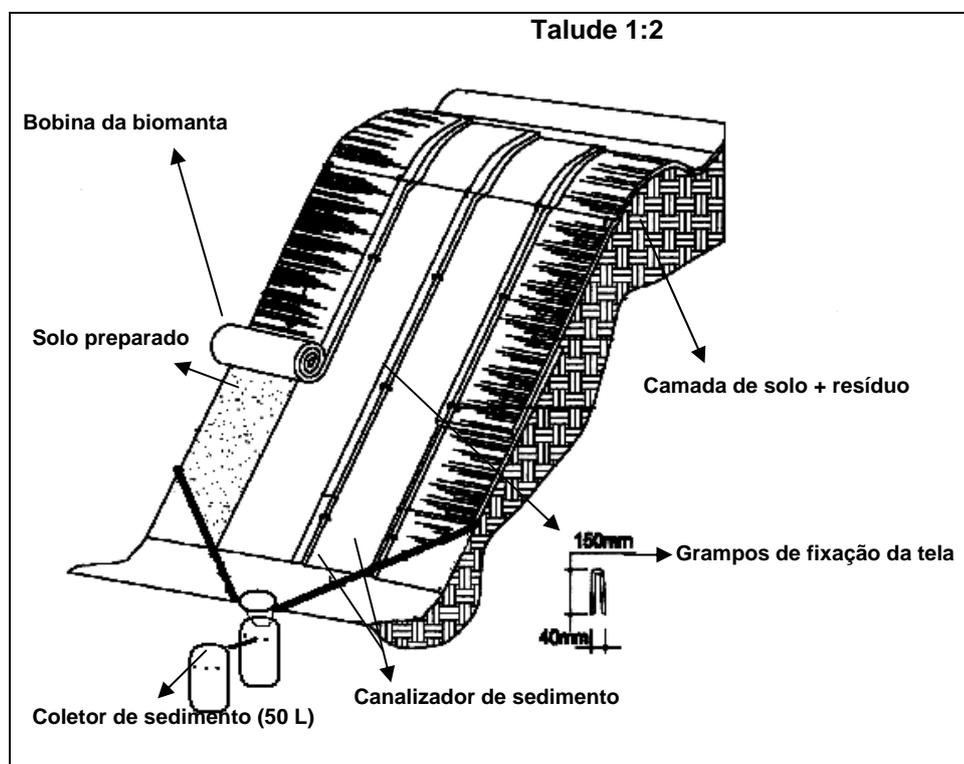


FIGURA 4.11 – Detalhe esquemático de uma parcela
Fonte: adaptado de Pereira (2003)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Condições climáticas durante o experimento

Logo no início da implantação do experimento ocorreram chuvas de média intensidade, já que estava terminando o período de verão. Foram registradas precipitações pluviométricas de 88,6 mm em março de 2004 e 126,5 mm em abril de 2004, respectivamente. A partir desses meses até julho de 2004, foram registradas ocorrências de chuvas ocasionais, importantes para o início da germinação e emissão de radícula das sementes (FIG. 5.1). Esses eventos pluviométricos contribuíram significativamente para o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas.

A pequena flutuação especialmente na temperatura média durante os meses mais frios do ano foi importante para impedir a formação de geadas, uma vez que a geada é uns dos principais agentes causadores de mortalidade da vegetação, sobretudo das plântulas.

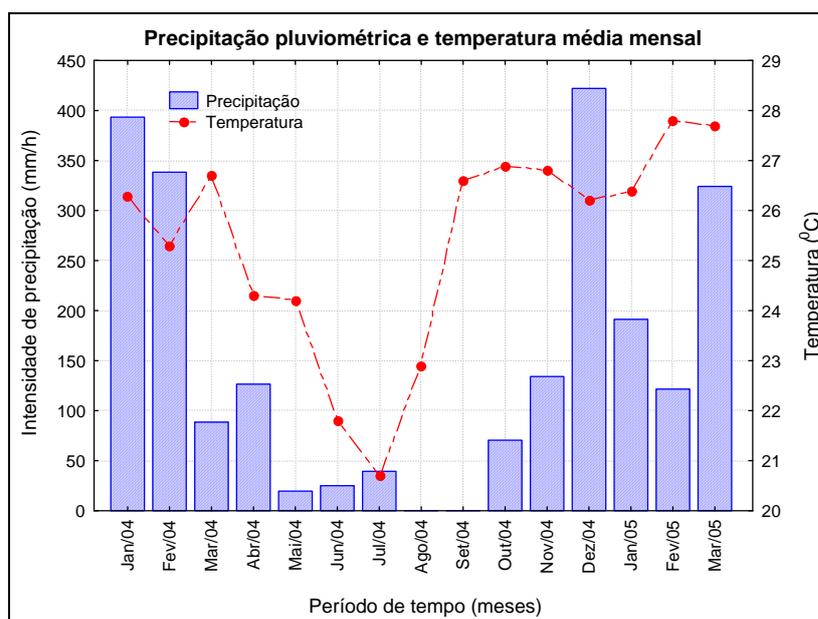


FIGURA 5.1 – Perfil de variação da precipitação pluviométrica e temperatura

Apesar da temperatura e umidade relativa serem fatores importantes no crescimento inicial das espécies vegetais implantadas no campo, durante o período de avaliação da vegetação a umidade relativa não teve influência devido à pequena variação registrada, conforme mostrado na FIG. 5.2.

Um dos grandes problemas que pode ter influenciado no crescimento e adaptação das espécies vegetais foram as altas temperaturas que ocorreram durante as horas mais quentes do dia, pois, além da temperatura ambiente, existem, próximos à área experimental, queimadores instalados no topo dos drenos de gases, que contribuem para o aumento da temperatura.

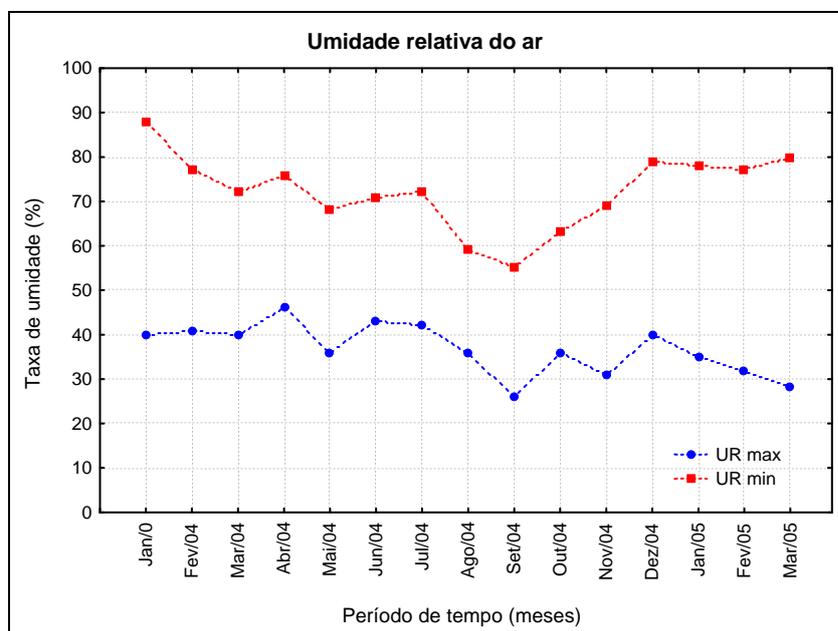


FIGURA 5.2 – Perfil de variação da umidade relativa

5.2. Caracterização química do substrato

A caracterização química do solo objetivou avaliar a qualidade da cobertura final como substrato para a revegetação. São apresentados e discutidos individualmente os resultados de cada nutriente, referente à coleta inicial do experimento, com o objetivo de caracterizar os possíveis efeitos no sucesso da implantação da camada de cobertura vegetal.

5.2.1. Fertilidade do solo

Para que a análise química do substrato se torne representativa em um determinado local, a área amostrada deve ser a mais homogênea possível, porém, esta não foi a realidade que se observou na área experimental. Isso se deve ao fato de que, para a construção da cobertura final de um aterro sanitário não há normalmente um controle da qualidade do material a ser disposto, ou seja, da homogeneidade da camada de cobertura final, sob o ponto de vista de seu funcionamento como substrato para a implantação de cobertura vegetal.

Neste aspecto, com os dados apresentados na FIG. 5.3, pode-se observar uma alta variação do substrato para M.O. (1,06 – 3,73 dag.kg⁻¹) e conseqüentemente para C e N. Em relação à

qualidade nutricional, pode-se classificá-lo como baixo a médio, sendo explicado pela utilização de resíduos da construção civil e solos argilosos, com baixos teores de matéria orgânica.

Algumas amostras revelaram um caráter médio de qualidade orgânica, o que pode estar relacionado ao revolvimento do substrato com a passagem de máquinas durante a execução da cobertura final dos taludes e com isso, a presença de M.O. na sua superfície.

O tipo de substrato possui, no entanto, um caráter hostil em relação a este teor, contribuindo assim para uma baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente na solução do solo (Accilolly, 2001). Portanto, para os tratamentos que não receberam o composto orgânico para o enriquecimento do solo, inicialmente poderá haver uma inibição da atividade biológica e do estabelecimento da comunidade microbiana (Moreira & Siqueira, 2002).

O valor de pH é amplamente utilizado como um importante indicador da acidez do substrato para fins de revegetação. Nesse aspecto, a acidez ativa do substrato foi classificada como inadequada (6,2 – 8,2), ou seja, boa parte dos pontos coletados apresentou um pH alcalino (FIG. 5.3). Em termos de nutrição de plantas a faixa ideal de variação é de 5,5 a 6,0 (Dias, 1998). Como o pH está relacionado à disponibilidade de nutrientes, este substrato poderá apresentar problemas na disponibilidade de cálcio, magnésio, manganês e outros micronutrientes como zinco, ferro, cobre e boro (Ribeiro et al., 1999).

A faixa de concentração de pH da cobertura final de aterros sanitários está relacionada ao tipo de solo predominante da região, para a construção da camada de cobertura final. Como por exemplo, o pH da cobertura final, na profundidade de 0-20 cm para o aterro sanitário localizado na zona sul de São Paulo possui faixa média predominante de 4,0 a 7,0 (Andrade & Mahler, 2000).

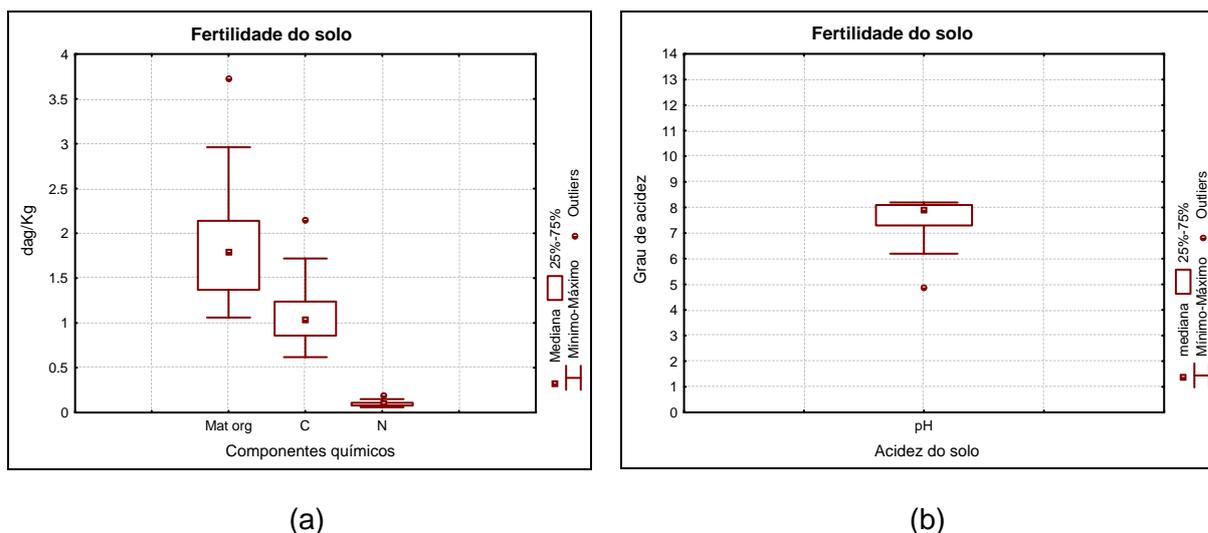


FIGURA 5.3 – Teores químicos do substrato: (a) teores de M.O.; (b) variação de pH em água.

Para verificar a acidez potencial do substrato foram diagnosticados os teores de H^+Al . Observou-se uma variação de 0,61 a 1,49 $cmol_c \cdot dm^{-3}$, o que permite a classificação, sob o ponto de vista agrônomo, como baixo a muito baixo. Isto significa que o substrato tem efeitos deletérios relacionados à toxidez e, como consequência, algumas plantas têm a dificuldade de enraizamento e de disponibilidade de nutriente na relação solo-planta. Normalmente, o sintoma da vegetação para este tipo de toxidez se caracteriza basicamente no escurecimento de raízes e dificuldades de crescimento, tornando-as curtas e grossas (Ribeiro et al., 1999).

Para o estabelecimento de microorganismos, em relação à acidez do substrato, os microorganismos simbiotes que podem se estabelecer nesse tipo de ambiente são os chamados basófilos, pois, preferem ambientes alcalinos (Moreira & Siqueira, 2002).

Os teores de fósforo no substrato são também muito influenciados pelos processos bioquímicos iniciais e a sua concentração no substrato avaliado pode ser classificado como muito baixo a baixo, considerando o teor de argila do substrato. Pode-se verificar na FIG. 5.4 que, a variação do teor de fósforo ($< 1,0 - 8,40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) foi menor em comparação com a variação dos teores de potássio ($37,0 - 266,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Para os teores de potássio, a sua classificação agrônoma foi bastante indefinida, indo de baixo a muito bom. A concentração predominante foi de 60 a 170 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, indicando que boa parte das áreas está com bom teor de potássio, porém, isto não significa que este nutriente está

na forma disponível (Ribeiro et al., 1999). Esses resultados diferem do obtido por Andrade & Mahler (2000) na cobertura final de aterros, que encontraram uma variação predominante nos teores de fósforo de 0 a 2 mg.dm⁻³ e potássio de 32 a 110 mg.dm⁻³.

Como o pH está acima do valor ideal, o Al³⁺ não se encontra precipitado, ou seja, disponível no sistema solo-planta, sendo encontrado para este elemento uma variação de 0,01 a 0,02 cmol_c.dm⁻³ e, portanto, a maioria dos nutrientes não estará na forma solúvel, passíveis de serem absorvidos pelas raízes das plantas (FIG. 5.4). Além disso, a toxicidade do alumínio será um fator limitante ao crescimento de plantas, uma vez que poderão também afetar vários microorganismos fixadores de N₂ em vida livre ou em simbiose (Dias, 1998).

Os teores de Ca²⁺ apresentaram uma variação de 2,3 a 5,49 cmol_c.dm⁻³, indicando que para este elemento o substrato possui uma boa qualidade agrônômica, sendo explicado pelo tipo de material utilizado na cobertura final, como produtos derivados de rochas calcáreas (FIG. 5.4).

Os teores de Mg³⁺ variaram de 0,25 a 1,71 cmol.dm⁻³, indicando tratar-se de um substrato com nível médio de Mg²⁺ (FIG. 5.4). Andrade & Mahler (2000) obtiveram valores de Ca²⁺ e Mg³⁺ no substrato do aterro sanitário de São Paulo, valores superiores aos obtidos.

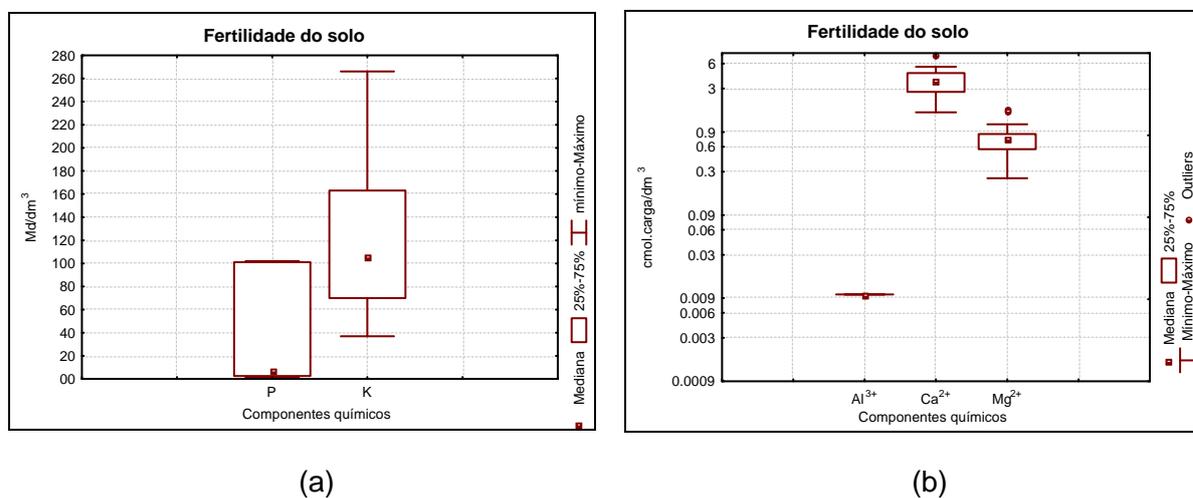


FIGURA 5.4 – Teores químicos do substrato: (a) teores de P e K; (b) teores de Al, Ca e Mg

A CTC potencial (pH 7) mostrou um comportamento semelhante ao C orgânico cuja classificação foi de baixo a médio (TAB. 5.1).

As amostras coletadas na área apresentaram uma baixa saturação por Al, sendo justificado pela sua baixa concentração no substrato e uma alta saturação por base. Pode-se inferir que o

substrato possui boa quantidade de macronutrientes, porém, devido ao baixo grau de saturação de Al, a disponibilidade é dificultada às plantas (TAB. 5.1).

TABELA 5.1 – Caracterização geral química do substrato

Nutriente	Unidade	Faixa de concentração	Interpretação (Ribeiro et al, 1999)
Soma de bases (SB)	cmolc/dm ³	2,71 – 9,53	Médio a Muito alto
Acidez potencial (H+Al)	cmolc/dm ³	0,61 – 1,49	Muito baixo a Baixo
CTC efetiva (t)	cmolc/dm ³	2,72 – 6,77	Médio a Alto
CTC pH 7 (T)	cmolc/dm ³	3,77 – 7,49	Baixo a Médio
Saturação por Al (m)	%	0,11 – 0,52	Muito baixo
Saturação por bases (V)	%	73,29 – 91,51	Alto a Muito alto

Analisando os dados da TAB. 5.1, confirmou-se a característica do substrato de possuir cargas ocupadas pelo H⁺, porém, apresenta uma dificuldade na sua disponibilidade, principalmente dos nutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, sendo representado pela baixa saturação de Al e CTC efetiva.

O grau de acidez ativa (pH em H₂O) tem grande importância na qualidade do solo, uma vez que indica a disponibilidade de Ca, Mg, Mn e de outros nutrientes. Portanto, pela classificação agrônômica, este substrato se encontra com pH alto a muito alto (6,2-8,2).

Ao observarmos os teores de pH, M.O., P, K, Ca²⁺ e Mg³⁺ de cada parcela para as diferentes posições do talude, pode-se verificar que, em valores médios, não há uma diferença significativa (P<0,05), conforme TAB. 5.2.

TABELA 5.2 – Resultados médios do grau de acidez e teor de nutrientes para as diferentes posições no talude.

Posição no talude	pH em H ₂ O	M.O.	P	K	Ca ²⁺	Mg ³⁺
TT	7,37	1,92	3,73	116,20	3,73	0,80
MT	7,62	2,30	5,29	116,80	3,87	0,65
BT	7,65	1,92	4,04	121,10	3,80	0,76
Grau de significância (P)	0,349	1,000	0,201	1,000	0,670	0,873
Testes das concentrações significativamente diferente ao nível de significância 0,05?	Não	Não	Não	Não	Não	Não

5.2.2. Metais pesados

Como os materiais utilizados para a cobertura final provêm de diferentes áreas urbanas, o estudo da presença de possíveis metais pesados nas profundidades de superfície (0-20 e 40-60cm) da cobertura final permite conhecer melhor algumas das principais variáveis que podem influenciar direta e/ou indiretamente no sucesso do estabelecimento das espécies de plantas utilizadas para a cobertura vegetal das camadas de cobertura final.

Além disso, estudos com esse enfoque não são conhecidos nas condições brasileiras, sobretudo em aterros sanitários onde a contaminação do substrato e a existência de áreas degradadas pelo excesso de metais são cada vez mais numerosas. Portanto, o conhecimento do comportamento de espécies de diferentes portes e com potenciais para revegetação dessas áreas se reveste da maior importância.

Neste aspecto, de acordo com os resultados das análises de metais pesados para as diferentes profundidades de camadas de cobertura, pode-se observar que, para o elemento Cd, todas as amostras coletadas apresentaram concentrações inferiores às de um solo normal, ou seja, inferiores à $0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$. Para um solo ser considerado níveis de metais com faixa crítica de fitotoxidez de Cd, deve apresentar concentração mínima de $3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias & Pendias, 1985).

Para os teores de Cr no substrato, este metal apresentou concentração máxima de $69,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ (FIG 5.5). O limite máximo deste metal é de $221,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias & Pendias, 1985).

A concentração de Cu na camada de cobertura situou-se abaixo de um solo tipicamente contaminado ($20 - 100 \text{ mg.kg}^{-1}$). Para a profundidade de 40 a 60 cm apenas uma amostra atingiu a concentração tóxica ($29,0 \text{ mg.kg}^{-1}$).

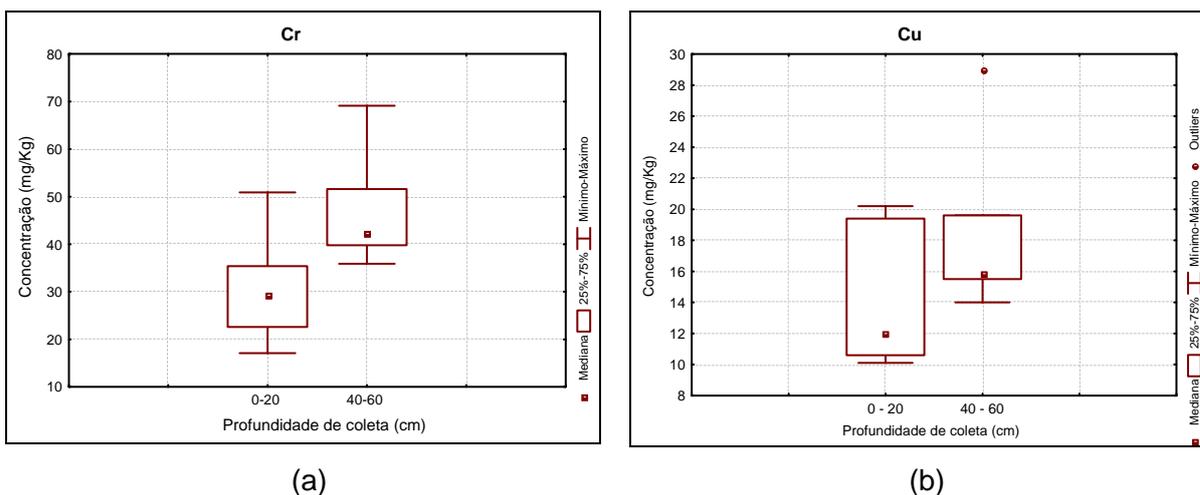


FIGURA 5.5 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Cr; (b) teores Cu.

O metal Ni concentrou-se na faixa de 9 a 17,0 mg.kg⁻¹ para a profundidade de 0 a 20 cm e 13 a 17,0 mg.kg⁻¹ para a profundidade de 40-60 cm (FIG. 5.6).

Para as concentrações de Pb no solo, de acordo com a FIG. 5.6, todas as amostras coletadas nas diferentes profundidades apresentaram faixa de concentração considerada tóxica (30 – 300 mg.kg⁻¹) (Kabata-Pendias & Pendias, 1985). Caso este metal esteja disponível no sistema solo-planta, normalmente o sintoma presente de fitotoxicidez se caracteriza pela diminuição da fotossíntese, baixo crescimento e produção, e morte da planta (Simão & Siqueira, 2001).

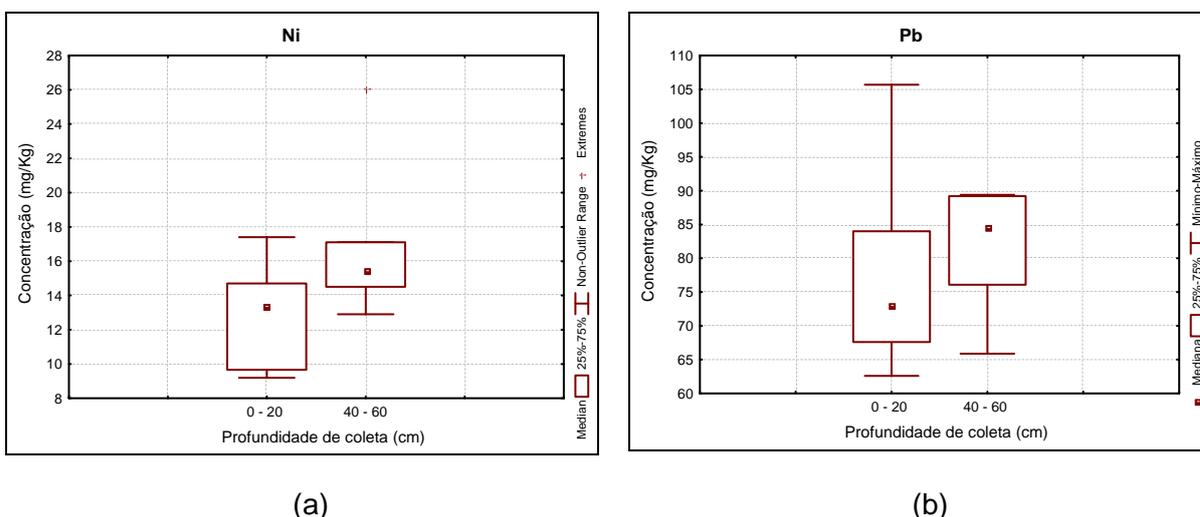


FIGURA 5.6 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Ni; (b) teores de Pb.

Para as concentrações de Zn no substrato, algumas amostras nas duas profundidades apresentaram-se dentro da faixa crítica de um solo contaminado, ou seja, acima de 70 mg.kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Pendias, 1985) (FIG. 5.7).

A concentrações de Hg para as diferentes profundidades foram bem destacadas sendo a concentração de 0 a 20 cm, 20 a 92 mg.kg⁻¹ e de 40 a 60 cm, 59 a 109 mg.kg⁻¹ (FIG. 5.7).

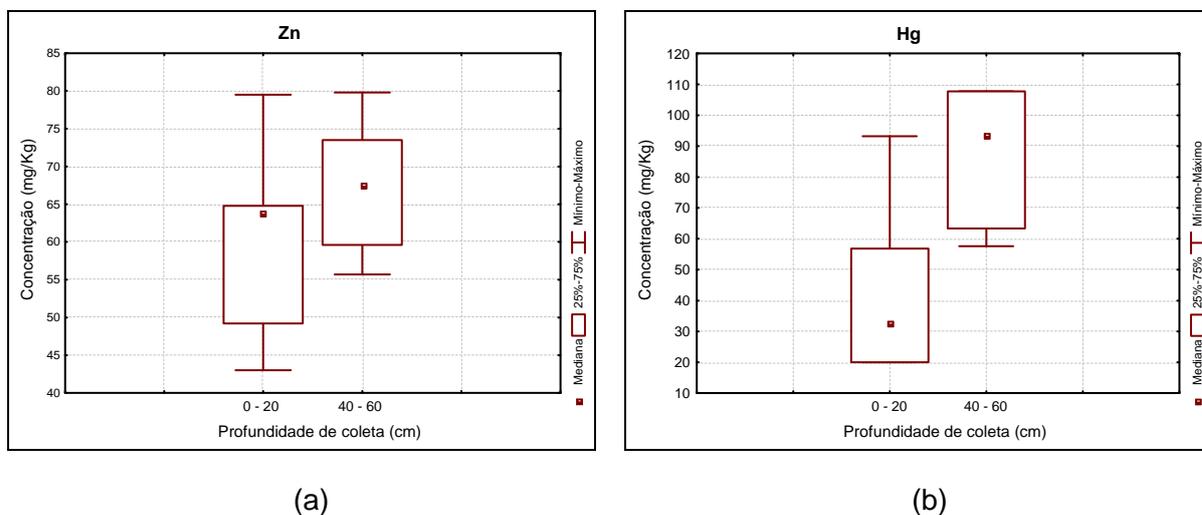


FIGURA 5.7 – Teores químicos do substrato: (a) teores de Zn; (b) teores de Hg.

De acordo com as concentrações de todos os metais avaliados, pode-se verificar que há uma relação diretamente proporcional da concentração com a profundidade (Andrade & Mahler, 2000). Isto explica a necessidade de se trabalhar com espécies vegetais que possuem pequeno porte de raiz, pois, caso contrário, estas espécies atingirão grandes profundidades (> 60 cm) e apresentarão problemas fisiológicos devido às maiores concentrações desses metais nestas profundidades (Simão & Siqueira, 2001).

Verificou-se que os elementos Cd, Cr, Cu, Pb e Zn apresentaram teores totais inferiores aos limites permitidos pela União Européia que, atualmente, são em mg.kg⁻¹: 140 para Cu, 300 pra Pb, 3 para Cd, 300 para Zn e 150 para Cr (Chaudri et al., 1993).

Andrade & Mahler (2000), em avaliação de metais pesados (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb) na camada de cobertura final de um ADRSU, apresentaram para a profundidade de 0 a 20 cm as seguintes concentrações médias: 25,9 mg.kg⁻¹ de Cr, máximo de 15,3 mg.kg⁻¹ de Ni., 8,82 mg.kg⁻¹ de Cu e 18,5 mg.kg⁻¹ de Zn. Para as concentrações de metais na profundidade de 20 a 70 apresentaram uma média de 28,6 mg.kg⁻¹ para Cr, 9,26 mg.kg⁻¹ para Cu e 16,6 mg.kg⁻¹ de Zn.

5.3. Caracterização física do substrato

5.3.1. Teor de umidade

De acordo com a FIG. 5.8, pode-se observar que o teor de umidade natural variou de 0,5 a 15%, conferindo uma variação ao longo das posições entre as parcela e dentro da parcela para as diferentes posições no talude.

Embora aparentemente verificado em campo, durante os períodos de chuva, observa-se um acúmulo de água nas posições mais baixas do talude. Porém os resultados obtidos não confirmaram maior umidade para esta posição do talude (FIG. 5.9). Pelo teste estatístico realizado, não houve diferença significativa, ou seja, nenhuma predominância de umidade para as diferentes posições no talude (TAB. 5.3).

Esse solo apresentou um baixo teor de umidade devido à alta evaporação que ocorre nestas áreas, pois, na época em que foi realizada a coleta das amostras, não existia no momento nenhum condicionador de umidade como cobertura vegetal e matéria orgânica.

5.3.2. Densidade do solo

Vários fatores podem limitar o crescimento de raízes de planta na cobertura final de ADRSU, segundo Gill et al. (1999). A densidade do substrato é uma propriedade do solo utilizada para mostrar as possíveis influências no crescimento de raízes das plantas. Raízes de plantas crescem bem em substrato que possui densidade 1,1 a 1,5 g.cm⁻³, crescem moderadamente bem em solos com densidade de até 1,7 g.cm⁻³, e pobremente ou não crescem a densidades mais altas (Neto, 1995; Dias, 1998).

Para a análise de densidade aparente, considerando-se a profundidade do substrato estudado, observou-se uma variação de 1,25 a 1,92 g.cm⁻³ sendo a média de 1,57 g.cm⁻³ (FIG. 5.8).

Estes resultados indicam a possibilidade desse substrato ter problemas para o crescimento e desenvolvimento de raízes devido ao seu volume de macroporos.

Esta faixa de densidade aparente é devida à compactação decorrente do tráfego de máquinas e de pessoas durante a construção e manutenção das camadas superficiais do aterro, o que

acarretará na alteração da velocidade de infiltração de água no meio e respiração das raízes das plantas (Bertol et al., 2004).

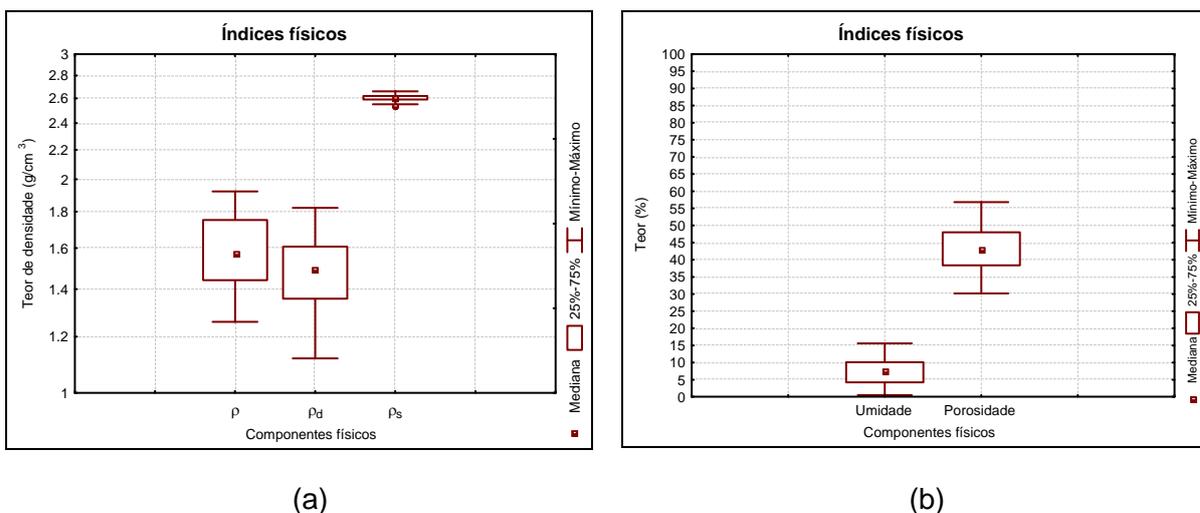


FIGURA 5.8 – Teores químicos do substrato: (a) variação de densidade do solo; (b) variação porosidade e umidade do solo

Para as diferentes posições no talude, embora seja observada a predominância de altas densidades para a posição média do talude em comparação às demais posições, não há uma diferença significativa ($P < 0,05$) para os valores médios de densidade aparente (TAB. 5.3).

A FIG. 5.9 confirma esta variação da densidade para as três diferentes posições do talude.

TABELA 5.3 – Resultados médios da umidade e densidade aparente do substrato para as diferentes posições no talude

Posição no talude	Densidade aparente	Umidade
TT	1,5	7,1
MT	1,6	6,6
BT	1,6	7,6
Grau de significância (P)	0,099	0,427
Testes das concentrações significativamente diferente ao nível de significância 0,05?	Não	Não

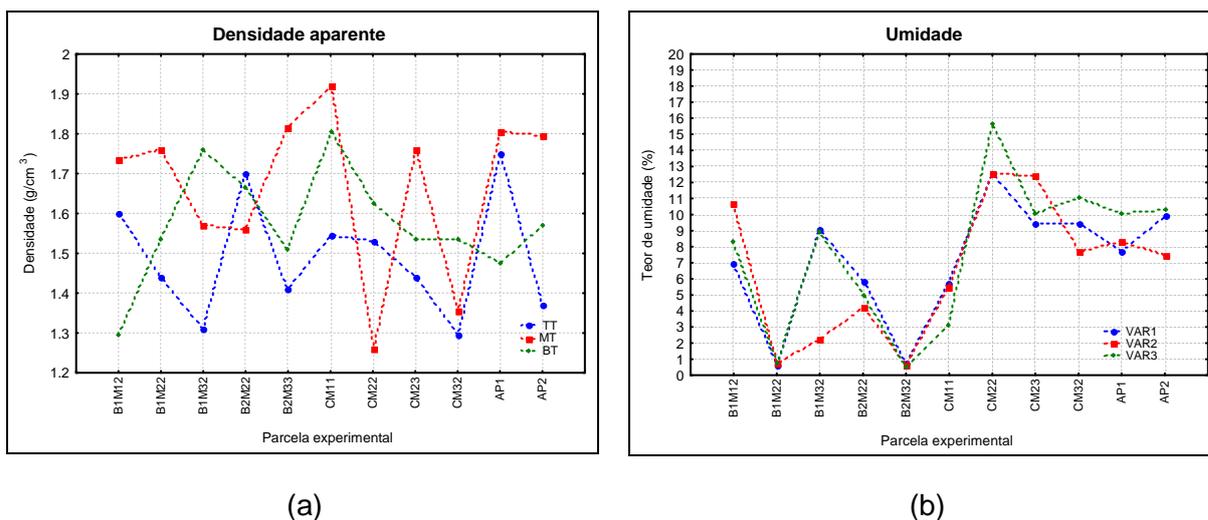


FIGURA 5.9 – Caracterização física do substrato de parcelas em diferentes posições no talude: (a) variação de densidade aparente do solo; (b) variação de umidade do solo.

5.3.3. Porosidade do solo

De acordo com Wutke et al. (2003), a porosidade deste substrato pode ser caracterizado como de baixo índice, pois, apresenta uma variação de 30 e 57%, sendo a mediana 43%. De modo geral, isto refletirá na distribuição do tamanho de poros e, certamente, na taxa de infiltração de água. Esta propriedade indica também a possibilidade deste solo ter problemas para o crescimento e desenvolvimento de raízes devido a porosidade estar relacionada diretamente ao volume de macroporos (FIG. 5.8).

Estas condições de porosidade são bastante limitantes ao desenvolvimento radicular de plantas em geral, pela reduzida taxa de difusão de gases entre poros no substrato e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas (Bertol et al., 2004). Para Bennie (1996), é difícil generalizar conclusões, pois a influência da compactação do solo sobre o crescimento radicular é decorrente de diversos fatores, que dependem das características genéticas das plantas, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

5.3.4. Permeabilidade do solo

Em relação à permeabilidade do solo das camadas superficiais, os valores obtidos situaram-se na faixa de 10^{-3} a 10^{-5} cm/s. Conforme Wutke et al (2003), um substrato com boas condições para a penetração de raízes, apresenta uma permeabilidade média de 5×10^{-4} cm/s. Neste aspecto, embora haja variação dos valores obtidos, pode-se dizer que, considerando os valores médios, os solos avaliados apresentam condições adequadas para o enraizamento, embora esta conclusão esteja em desacordo com os demais parâmetros (porosidade e densidade aparente).

5.3.5. Granulometria do solo

Os resultados das amostras em relação a sua granulometria apresentaram-se bastante homogêneos, com predominância de 65% de todas as amostras avaliadas, na textura areno-argilosa. Isso se deve ao fato de que, para a construção da cobertura final desse aterro, os tipos de textura predominantes provêm de resíduos de construção civil, o qual é constituído basicamente de material arenoso.

Este substrato possui um bom teor de areia (41%) em comparação aos teores de silte (32%) e argila (19%), ou seja, no âmbito agrônômico possui uma boa textura para revegetação, mas em relação à resistência à erosão e à compactação, nessas condições de densidade, estará dificultando principalmente a taxa de infiltração de água (Bertol et al., 2004).

Para os teores granulométricos na profundidade de 0 a 20 cm, nos diferentes pontos da área experimental, observa-se que, não houve muita variação, apesar do material de cobertura ser visualmente bastante heterogêneo (FIG. 5.10).

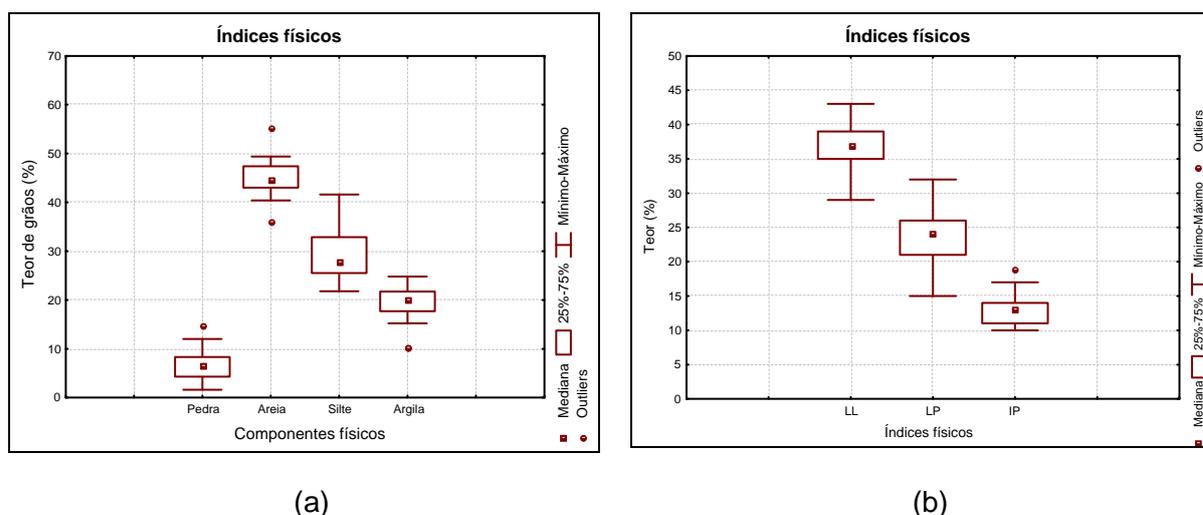


FIGURA 5.10 – Teores químicos do substrato: (a) variação de granulometria do solo; (b) variação de plasticidade do solo.

5.3.6. Limite de liquidez e Limite de plasticidade

Quanto aos limites de liquidez e de plasticidade, o material de cobertura apresentou uma variação de 32 a 42% e 15 a 32%, respectivamente (FIG. 5.10). O substrato, em relação a esse parâmetro, apresenta uma baixa resistência à erosão, apesar de ser arenoso. Isso foi verificado visualmente pela presença de erosão superficial e em sulcos na área da pesquisa após períodos intensos de chuva.

Quanto à classificação deste substrato conforme a ASTM, (1992), pode-se verificar que, apresenta uma alta suscetibilidade à erosão, onde a maior parte das amostras (70%) apresentou uma classificação ML e SC (Gray & Sotir, 1995).

5.3.7. Estabilidade dos agregados

Entre as classes de diâmetro de agregados, observou-se que boa parte das amostras de diâmetro de 2,0 mm concentrou-se abaixo de 60%, em comparação a todas as amostras estudadas (FIG. 5.11), e a porcentagem de agregados por classe diminui juntamente com o diâmetro das classes. Esse resultado confirma a baixa agregação do material analisado.

Os resultados mostram que o teor de agregados para os maiores diâmetros (2,00 mm) está baixo (35 – 60%), podendo ter sido causado pela baixa quantidade de matéria orgânica presente no substrato. Para um solo natural, o teor de agregados esperado está acima de 80%, sendo essa uma boa condição para conferir resistência à erosão (Gomes et al., 2004; Bognola et al., 2004).

Este baixo valor de agregação pode ser explicado pelo fato do tipo de material que é depositado na cobertura final do ADRSU.

Segundo Alvarenga et al. (1986), a matéria orgânica tem uma importância muito grande para a formação de agregados, principalmente os de diâmetro maior que 2,0 mm, já que, o autor conclui também em seu trabalho que este diâmetro é o principal utilizado para expressar o estado de agregação do solo.

Angulo et al. (1984) demonstrou que os agregados com diâmetros superiores a 1 ou 2 mm podem ser utilizados na caracterização do estado estrutural do solo como de boa qualidade para o desenvolvimento das culturas, permeabilidade, troca de ar e de cátions.

Ao avaliar a estabilidade dos agregados para o substrato da cobertura final, pode-se verificar que o seu teor para o diâmetro acima de 2mm, além de ser o diâmetro que prevaleceu em relação aos demais, possui uma variação de 30 a 82%, sendo a maior concentração na faixa de 40 a 60% (FIG. 5.11). Embora o substrato analisado tenha apresentado um alto teor de partículas com diâmetros superiores a 2 mm (fração areia), observou-se visualmente que houve formação de agregados de partículas de diâmetros inferiores a 2 mm. Neste caso, a

formação dos agregados pode estar mais relacionada aos agentes cimentantes do próprio substrato, sendo sua causa principal ao caráter químico (excesso de sais) e à ausência de matéria orgânica (Resende et al., 1997).

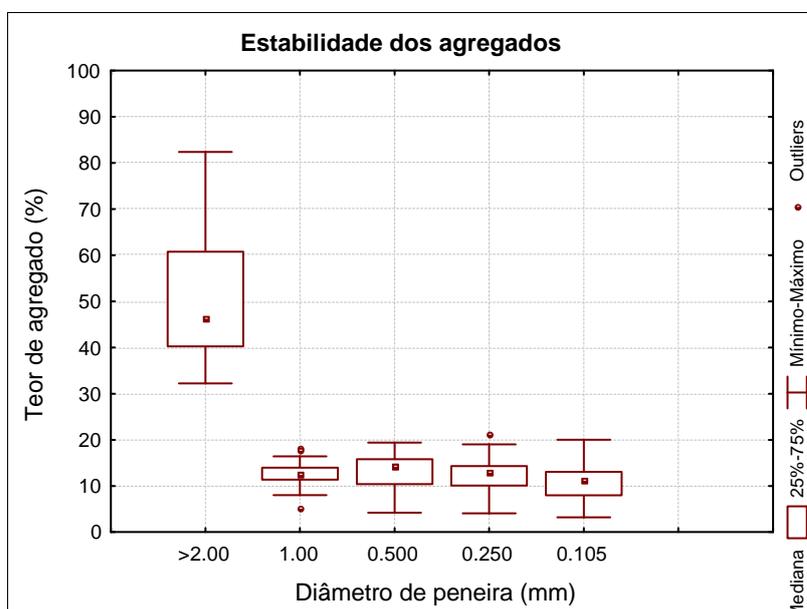


FIGURA 5.11 – Distribuição média dos agregados do solo por classe de diâmetro

Os resultados mostram também que há uma diminuição brusca da percentagem média dos agregados, do maior diâmetro para os demais. Para os agregados menores que 2,00 mm, a distribuição por classe de diâmetro é semelhante, com predominância de agregados de diâmetro médio 0,50. O teste estatístico realizado para os diferentes diâmetros de agregados nas posições do talude, revela uma variação não significativa (TAB. 5.3).

TABELA 5.3 – Resultados médios da estabilidade dos agregados em água e testes dos teores de agregados para as diferentes posições no talude, por classe de tamanho

Classe média do agregado (mm)	Média geral (%)	Sd	Posição no talude			Significativamente diferente ao nível de significância 0,05?	Grau de significância (P)
			TT (%)	MT (%)	BT (%)		
> 2,00	50,38	13,53	47,90	54,86	54,66	0,266	Não
1,00-2,00	12,58	2,84	13,00	11,45	11,97	0,746	Não
0,50 - 1,00	13,31	3,75	14,29	11,60	11,92	0,174	Não
0,105-0,25	12,35	3,91	13,13	10,92	10,76	0,383	Não
< 0,105	10,85	4,39	11,40	9,95	9,34	0,519	Não

Segundo Bognola et al. (2004) um substrato que apresenta boas condições físicas deve estar com o seu teor de agregado acima de 70%. Portanto, ao avaliar o processo de agregação para esta seqüência de amostragem, no aspecto de qualidade do substrato para revegetação desses taludes, pode-se observar que os agregados não atingiram o estado de boa coesão (FIG. 5.11).

5.4. Caracterização da vegetação

Durante o monitoramento da vegetação houve uma discrepância quanto ao comportamento dos resultados obtidos por algumas variáveis de forma individual e/ou interagidas, isso se deve provavelmente às particularidades de cada estudo, envolvendo principalmente as características de cada espécie, o que seria a qualidade e a quantidade de sementes utilizadas, a adição de nutrientes no solo e também ao próprio ambiente onde foi implantada a pesquisa.

Neste aspecto a discussão dos resultados será de maneira que envolva de forma interagida e independente todas as variáveis quantitativas determinadas ao longo do tempo, assim como também as variáveis qualitativas, sendo elas aparentes ou ocultas.

5.4.1. Germinação

Pode-se verificar que, de acordo com os testes realizados em laboratório para as diferentes espécies vegetais de gramíneas e leguminosas, 84% de todas as espécies avaliadas conseguiram emitir embrião normalmente sendo apenas as gramíneas *b. humidicola*, *b. ruziziensis* e jaraguá não emitiram radícula normalmente (FIG. 5.13).

As gramíneas *b. brizantha*, *b. decumbens*, meloso e colonião iniciaram a germinação após 7 dias de incubação no germinador, resultando, portanto, em uma germinação baixa (<10%).

Os maiores índices de germinação foram obtidos sob temperatura de 20°C, na presença de luz, para as sementes aveia preta (80%), *c. breiflora* (98%), *c. ochroleuca* (58%), feijão guandu (85%), calopogônio (69%) e lablab (96%).

As sementes que se destacaram sob a temperatura de 30°C na presença de luz foram as de feijão-de-porco (51%), nabo forrageiro (81%) e mucuna preta (96%).

Na avaliação de germinação sob temperatura de 20°C e ausência de luz pode-se observar que as sementes de pensacola e a puerária apresentaram resultados semelhantes. A espécie colonião obteve o menor rendimento, como mostrado na FIG. 5.13.

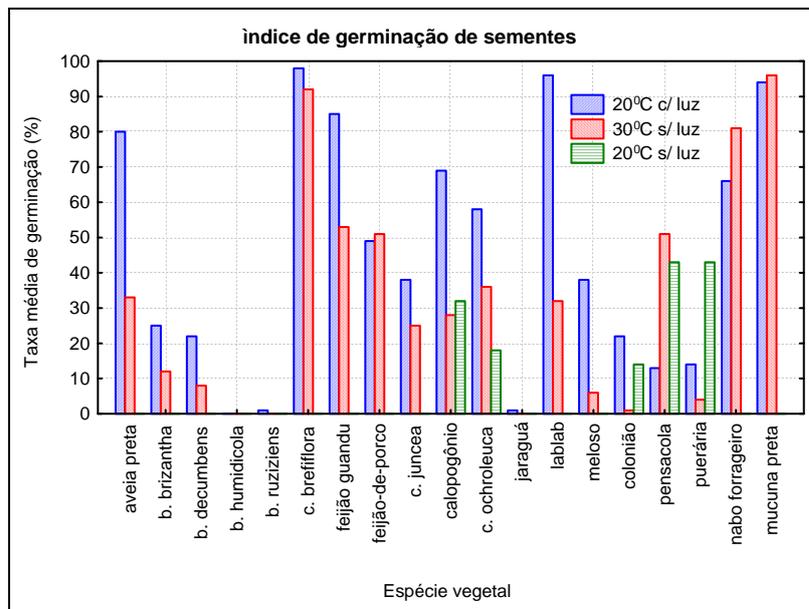


FIGURA 5.13 – Porcentagem de germinação de sementes em laboratório das espécies vegetais utilizada na pesquisa

Entre os testes 1 e 2 para as sementes das espécies avaliadas não houve diferença significativa de germinação (TAB. 5.4). As leguminosas em comparação às gramíneas apresentaram nos testes 1 e 2 uma diferença significativa de germinação (TAB. 5.4).

TABELA 5.4 – Testes estatísticos dos resultados médios do lote de sementes testados em laboratórios (Kruskal & Wallis, 1952).

Testes realizados para os diferentes tratamentos	Grau de significância (P)	Testes das concentrações significativamente diferente ao nível de significância 0,05?
Teste 1 x Teste 2	0,330	Não
leguminosas x gramíneas (Teste 1)	0,000	Sim
leguminosas x gramíneas (Teste 2)	0,011	Sim

Esses resultados indicam que dadas as características inerentes de germinação das sementes, cada espécie se comporta de maneira diferente.

5.4.2. Crescimento e desenvolvimento

Entre as características referentes ao crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais estudadas em revegetação de áreas degradadas, merecem destaque a rapidez de germinação, o hábito, a capacidade de crescimento e desenvolvimento da planta (Accioly, 2001).

Quanto ao crescimento inicial, dentro das condições climáticas da época em que foi realizada a semeadura direta, destacaram-se o feijão-de-porco, aveia preta, mucuna preta, feijão guandu,

c. ochroleuca e c. juncea, sobretudo na velocidade inicial de crescimento, especialmente na emissão de parte aérea, oferecendo boa capacidade de adaptação ao substrato em um curto período de tempo, 60 dias após a semeadura.

Estas espécies vegetais apresentaram emergência em geral em um período de 7 dias, cuja contribuição foi alta pelas condições de umidade do substrato. As espécies também se destacaram pela uniformidade, devido a boa parte delas serem naturalmente de ambientes de temperaturas amenas além de alta tolerância à condição climática local.

Nascimento & Neto (1999) confirmam o grande vigor e capacidade de proteção por parte da mucuna preta, o que pode explicar a maior proteção exercida especialmente no início do ciclo. Além disso, esta espécie possui um estabelecimento mais rápido em comparação à outras leguminosas como lablab e crotalárias.

As braquiárias, lablab, c. breiflora, nabo forrageiro e colonião apresentaram a emergência mais tardia e muito desuniforme. As demais espécies como calopogônio, pensacola e jaraguá apresentaram em campo, baixa germinação. Para essas espécies as condições ambientais da área não foram muito favoráveis, além do baixo vigor da própria semente, como comprovado no teste de germinação em laboratório.

Um dos fatores que também foi observado no crescimento inicial das plantas foi a dificuldade em ultrapassar a tela vegetal. Essa dificuldade está não só relacionada à espessura e porosidade da tela como também à arquitetura da parte aérea da espécie (TAB. 5.5).

As espécies que apresentaram alguma dificuldade em ultrapassar a tela foram as leguminosas, por possuírem uma arquitetura aberta e diâmetro foliar considerável. A tela vegetal que contribuiu para esta dificuldade de crescimento inicial foi a sintemax, devido principalmente à sua constituição de fibras de coco entrelaçada e sua maior espessura em comparação à do tipo biotêxtil.

TABELA 5.5 – Resultados do comportamento das espécies aos 40 dias após a implantação: facilidade de atravessar a tela vegetal (FATV), crescimento inicial (CI), emissão de flor e fruto (EFF)

Espécie vegetal	FATV		CI ^{1/}	EFF
	Tipo de tela vegetal ^{1/}			
	Sintemax	Biotêxtil		
aveia preta	Sim	Sim	MR	Sim
braquiária sp	Sim	Sim	ML	Sim
crotalária sp	Sim	Sim	R	Sim
Feijão-de-porco	Não	Não	R	Sim
feijão guandu	Não	Sim	R	Sim
lablab	Não	Sim	L	Sim
mucuna preta	Não	Sim	MR	Sim
colonião	Sim	Sim	ML	Sim
meloso	Sim	Sim	ML	Não
nabo forrageiro	Não	Sim	L	Sim

^{1/} ML: muito lento, L: lento, MR: muito rápido e R: rápido

As braquiárias e o colonião, apesar de possuírem um crescimento inicial lento em comparação às leguminosas, conseguiram após 90 dias iniciar a formação da parte aérea e emitir raízes. As raízes dessas espécies para esse período de tempo ocuparam a camada mais superficial do substrato (0 – 5 cm), em comparação às leguminosas (0 – 10 cm).

Ao longo do período de avaliação do crescimento, ou seja, após 90 dias, algumas espécies vegetais como mucuna preta, lablab, nabo forrageiro e feijão-de-porco foram muito sensíveis à compactação, não conseguindo estabelecer um bom sistema radicular nas camadas mais compactadas, o que aumentou a mortalidade dos indivíduos.

Após 90 dias, braquiárias e crotalárias situaram-se em posição intermediária, pois inicialmente fixaram-se bem no substrato, porém, em determinados locais não conseguiram crescer normalmente, podendo estar relacionado com a fixação de nutrientes e o clima seco.

As espécies de crotalária até o quinto mês atingiram todos os estágios fenológicos. Quanto às espécies vegetais da mistura de sementes M2, a espécie perene, representada pelo feijão-guandu, apresentou bom crescimento.

Após um período de 6 meses, algumas características morfológicas foram observadas no sistema radicular de algumas espécies vegetais mais sensíveis, como o engrossamento e desvio de crescimento da raiz primária, cujo crescimento se tornava paralelo à superfície do solo (FIG. 5.14).

Outras espécies como as braquiárias estavam apresentando perfilhamento e amarelecimento no seu limbo foliar o que levanta a hipótese de contaminação química do substrato (FIG. 5.14). Carneiro (2002), utilizando espécies como colonião e *b. decumbens*, observou durante o monitoramento da pesquisa uma alta sensibilidade à concentração de metais como Zn e Cd.

Carneiro et al. (2001) observaram que a semeadura conjunta de várias espécies de plantas herbáceas aumentou a possibilidade de sucesso da revegetação em solos contaminados pelo excesso desses metais, possivelmente pela maior absorção de Cd e Zn.

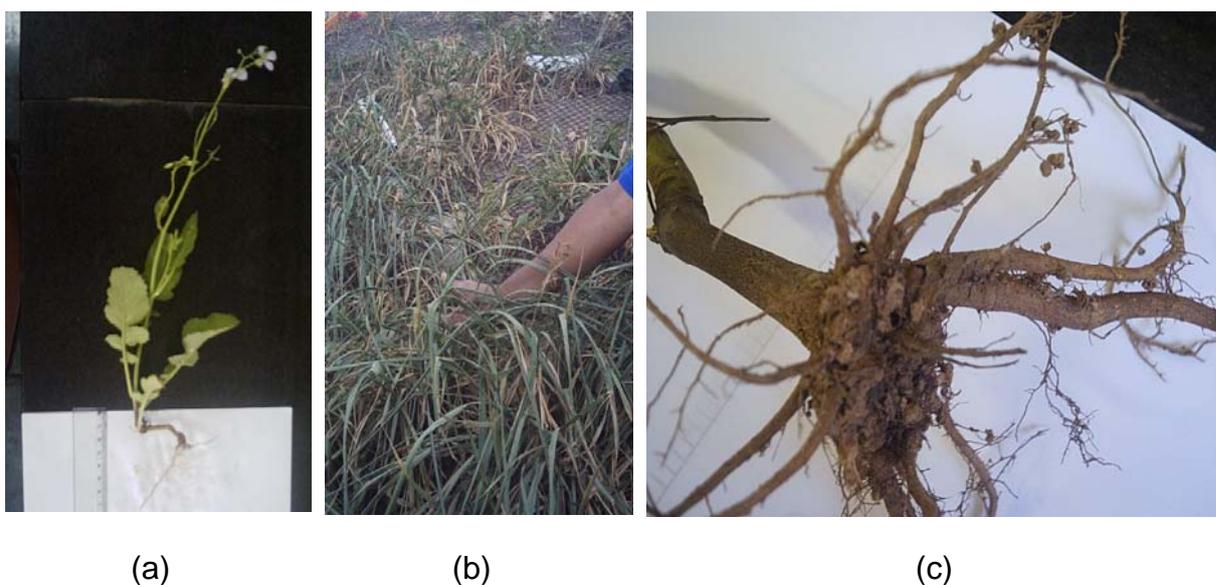


FIGURA 5.14 – Caracterização inicial fisiológica das espécies vegetais: (a) Engrossamento e crescimento lateral da raiz primária do nabo forrageiro; (b) amarelecimento foliar de braquiária; (c) presenças de rizóbio em raiz de feijão guandu.

No período de 12 meses de monitoramento, feijão-de-porco, feijão guandu e *c. ochroleuca* apresentaram nódulos em suas raízes. Estes nódulos são sinais de simbiose com microorganismos para melhor fixarem nitrogênio do substrato. Para as demais espécies não foi observada nenhuma presença dessa simbiose.

A produção de raízes de 0 a 15 cm de profundidade no substrato em campo está dentre os melhores métodos de se avaliar a sua densidade, uma vez que, o sucesso no estabelecimento dessas espécies está diretamente relacionado à quantidade de raiz emitida ao longo do tempo (Reinert, 1998).

Como referido para produção de matéria seca das raízes, o fato das espécies da mistura M2 apresentarem em geral maiores valores referentes ao comprimento das raízes pode estar

relacionado às diferenças no ciclo de vida das espécies e às características intrínsecas de cada espécie.

O maior valor de comprimento da raiz obtido com a mistura M2 está relacionado à presença do feijão guandu. Dentre as espécies estudadas, as leguminosas apresentaram um importante potencial para se desenvolver em camadas mais profundas e compactadas. Nesse aspecto pode-se observar também que, para os indivíduos que se desenvolveram bem em densidade de raízes, conseqüentemente também resultaram em uma boa emissão de parte aérea.

Dentre as leguminosas que se destacaram, cita-se o feijão guandu com $45,75\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ em média de fitomassa seca (FIG. 5.15). Essa espécie, além de um bom acúmulo de fitomassa na raiz, conseguiu fixar-se bem a este substrato cuja profundidade foi superior à 20cm. Entre as espécies de crotalárias, a *c. juncea* obteve maior valor ($30,39\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), embora sua ramificação tenha apresentado-se bastante superficial, ou seja, profundidade inferior à 20cm (FIG. 5.15).

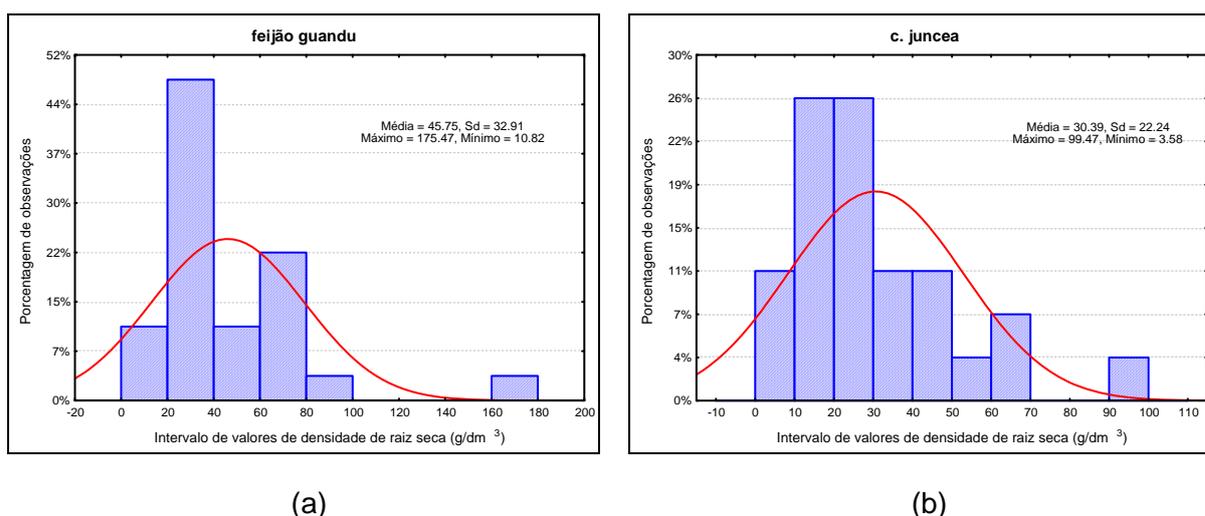


FIGURA 5.15 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade da raiz de feijão guandu; (b) densidade da raiz de *c. juncea*.

Quanto às braquiárias, a espécie com maior desenvolvimento de raiz foi *b. decumbens* com um máximo de $21,81\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (FIG. 5.16 e 5.17).



(a)

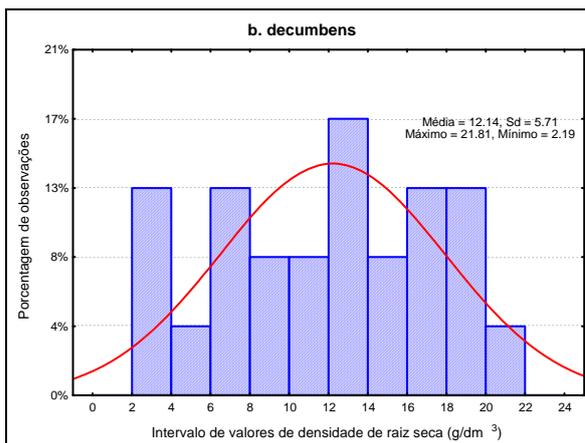


(b)

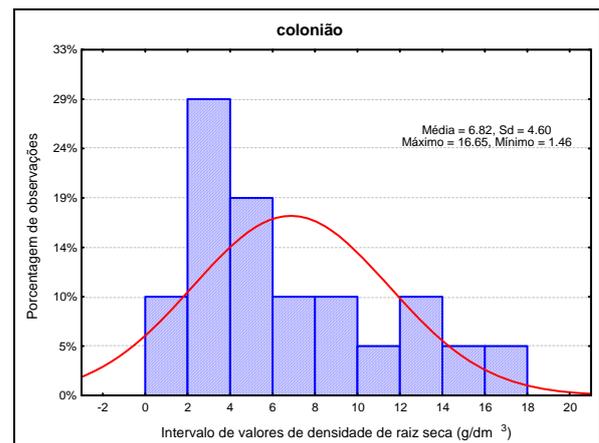
FIGURA 5.16 – Aspecto geral da densidade de raiz: (a) raízes de *b. decumbens*; (b) raízes de feijão guandu.

O colônião, embora tenha desenvolvido bem em comprimento de parte aérea, na emissão de raízes não ofereceu muita qualidade, pois, em comparação às demais gramíneas como *b. ruziziensis*, *b. humidicola* e *b. brizantha*, apresentou o menor valor com $6,82\text{g.dm}^{-3}$ (FIG. 5.16 e 5.17).

Segundo Santiago et al. (1998), estudando a densidade de raízes na profundidade de 0-20 cm do solo, das espécies gramíneas *b. humidicola*, *b. decumbens*, *b. brizantha*, jaraguá, meloso e colônião, a espécie que mais se destacou foi o colônião.



(a)



(b)

FIGURA 5.17 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade de raiz de *b. decumbens*; (b) densidade de raiz de colônião.

As espécies de feijão-de-porco e *c. brefflora*, apesar de suas raízes superficiais, a parte aérea manteve-se vigorosa, revelando assim sua alta resistência às condições locais. Portanto, o feijão-de-porco acumulou em fitomassa de raiz um máximo de $25,52\text{g.dm}^{-3}$ e *c. brefflora* com $51,21\text{g.dm}^{-3}$ (FIG. 5.18).

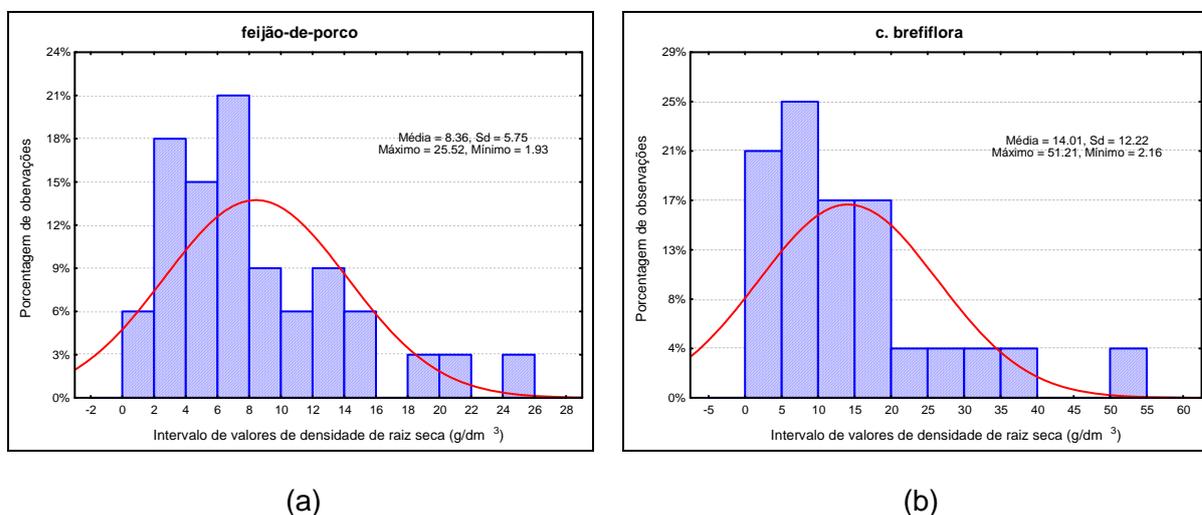


FIGURA 5.18 – Histograma dos teores de fitomassa seca: (a) densidade de raiz de feijão-de-porco; (b) densidade de raiz de *c. brefflora*.

As demais espécies, como lablab, meloso, mucuna preta e nabo forrageiro, apresentaram alta mortalidade. Após 12 meses de avaliação, os indivíduos restantes dessas espécies revelaram raízes superficiais e parte aérea desidratada.

Quanto à emissão de flores e frutos, as espécies que se destacaram foram *c. juncea*, *c. ochroleuca*, feijão guandu, lablab, feijão-de-porco e aveia preta. De acordo com Garcia (2002), todas elas, após cinco meses de implantação, conseguiram completar todo o seu ciclo de vida, independentes das condições climáticas. Para as demais espécies como *c. brefflora*, mucuna preta e nabo forrageiro, somente após um período de seis meses conseguiram emitir flores e frutos, porém, com baixa produtividade. A mucuna preta e o feijão-de-porco já haviam perdido grande parte de suas folhas, devendo-se ressaltar que poucas plantas produziam frutos. As espécies colônias e braquiárias emitiram flores e frutos somente no final (12 meses) de monitoramento da pesquisa.

5.4.3. Densidade populacional, produção de matéria fresca e seca da parte aérea da planta

Foi através da densidade populacional e fitomassa dos indivíduos que tornou possível, inicialmente, conhecer as diferentes espécies vegetais, sendo elas individualmente ou

interagidas, ou seja, conhecer através de métodos quantitativos a capacidade de adaptação ao ambiente do experimento.

Para os diferentes tratamentos estudados não só a própria espécie possui a capacidade natural de adaptação assim como o tipo de ambiente influenciou de maneira considerável o sucesso do estabelecimento do indivíduo.

Como foi observada uma variação de cobertura vegetal ao longo das estações do ano, esta taxa de cobertura está diretamente relacionada com a variação dos teores de fitomassa da parte aérea das espécies vegetais. Neste aspecto, foi verificada em campo, uma variação significativa da fitomassa, comparando-se os tratamentos após 1 e 12 meses de implantação do experimento. Esta variação pode estar relacionada aos fatores abióticos (umidade, luz, temperatura e disponibilidade de nutrientes) e bióticos (família, espécie e consórcio) do ambiente.

Em estudos realizados nos diferentes tratamentos, de acordo com os dados iniciais de fitomassa obtidos em campo, pode-se verificar que a produção de fitomassa da parte aérea das leguminosas foi superior à produção das gramíneas (TAB. 5.6).

Portanto, em relação aos primeiros 30 dias, os valores referentes à produção de matéria fresca da parte aérea das gramíneas e leguminosas estão compreendidos entre 227,15 g.m⁻² nos tratamentos BIM1 (Biotêxtil + Mistura 1 + adubação química), 48,48 g.m⁻² nos tratamentos BIM3 (Biotêxtil + Mistura 3 + adubação química), 24,24 g.m⁻² nos tratamentos B2M3 (Sintemax + Mistura 3 + adubação química) e 1,62 g.m⁻² nos tratamentos BIM2 (Manta Biotêxtil + Mistura 2 + adubação química). Estes resultados mostram que, em relação aos valores superiores entre as gramíneas e leguminosas, a média das leguminosas foi muito superior à média das gramíneas, sendo cinco vezes o seu valor.

Em relação à densidade populacional foram obtidos valores médios superiores para as gramíneas quando se utilizou o tratamento CM3 (Biotêxtil + Mistura 3 + adubação orgânica) com 261,0 ind.m⁻² e leguminosas, CM2 (Biotêxtil + Mistura 2 + adubação orgânica) com 171,0 ind.m⁻².

Para o tratamento ASB (ausência de biomanta), embora tenha resultado em um baixo teor de fitomassa (92,40 g.m⁻²), observou-se uma boa quantidade de indivíduos tanto para gramíneas

(166,0 ind.m⁻²) quanto para leguminosas (207,0 ind.m⁻²). A maior densidade populacional neste tratamento evidencia boas condições para germinação de sementes, independente de proteção pela manta vegetal e condições climáticas local.

TABELA 5.6 – Valor médio de densidade populacional, produção de matéria fresca e seca da parte aérea de Gramíneas e Leguminosas após 30 dias de implantação

Tratamento	Densidade populacional		Produção de matéria fresca		Produção de matéria seca	
	Gramínea	Leguminosa	Gramínea	Leguminosa	Gramínea	Leguminosa
	n ^o de indivíduos/m ²		g/m ²			
B1M1	52,0	118,0	13,30	227,15	7,31	177,11
B1M2	6,0	122,0	1,62	61,98	1,22	45,55
B1M3	256,0	141,0	48,48	89,41	21,44	69,11
B2M1	25,0	60,0	3,92	131,22	2,16	107,77
B2M2	70,0	127,0	19,14	31,69	14,36	26,29
B2M3	65,0	67,0	19,26	24,24	8,55	14,79
CM1	122,0	146,0	7,95	143,95	4,37	118,30
CM2	30,0	171,0	2,82	128,01	2,11	94,35
CM3	261,0	129,0	26,34	51,69	11,79	38,08
ASB	166,0	207,0	9,25	83,15	2,96	64,35

De acordo com os resultados para os primeiros 30 dias, pode-se observar também que, os maiores valores de fitomassa seca por área foram encontrados para o tratamento B1M1 (Biotêxtil + Mistural + adubação química) com 184,43g.m⁻² e CM1 (Biotêxtil + Mistura 1 + adubação orgânica) com 122,67g.m⁻² e os menores foram B2M3 (Sintemax + Mistura 3 + adubação química) com 22,34 e B2M2 (Sintemax + Mistura2 + adubação química) com 37,65g.m⁻² (TAB. 5.7).

A avaliação do número de indivíduos germinados em campo de maneira consorciada e para cada espécie vegetal, não significa que futuramente resultará em uma boa capacidade de acúmulo de fitomassa, mas sim a importância de conhecer metodologias para estabelecer diferentes combinações de espécies vegetais que contribua inicialmente para um rápido enriquecimento biológico desses substratos, que normalmente apresentam atividade biológica quase nula.

TABELA 5.7 – Valores médios de densidade populacional e fitomassa verde e seca aos 30 dias pós implantação: tratamento experimental (TRAT), espécies vegetais (EV), número de indivíduos/m² (NI), peso da massa verde (PMV), peso da massa seca (PMS)

TRAT	EV	NI	PMV	PMS
		n ^o de indivíduos/m ²	g/m ²	
B1M1	mucuna preta	41,0	159.18	128.93
	nabo forrageiro	8,0	39.69	24.21
	Feijão-de-porco	8,0	15.58	13.56
	c. breiflora	61,0	12.69	10.41
	b. humidicola, b. brizantha e colônião	52,0	13.30	7.31
B1M2	lablab	61,0	15.98	11.51
	feijão guandu	61,0	46.00	34.04
	b. ruziziens	6,0	1.62	1.22
B1M3	nabo forrageiro	63,0	27.90	17.02
	c. juncea e C ochroleuca	79,0	62.01	52.09
	b. decumbens	106,0	20.43	12.46
	aveia preta	150,0	28.05	8.98
B2M1	mucuna preta	27,0	72.36	58.61
	feijão-de-porco	4,0	18.00	15.66
	c. breiflora	29,0	40.86	33.50
	b. humidicola, b. brizantha e colônião	25,0	3.92	2.16
B2M2	Lablab	46,0	7.79	5.61
	feijão guandu	81,0	23.90	17.68
	b. ruziziens	70,0	19.14	14.36
B2M3	nabo forrageiro	67,0	24.24	14.79
	b. decumbens	33,0	8.24	5.03
	aveia preta	33,0	11.01	3.52
CM1	mucuna preta	33,0	108.35	87.76
	feijão-de-porco	5,0	27.00	23.49
	c. breiflora	105,0	8.60	7.05
	b. humidicola, b. brizantha e colônião	122,0	7.95	4.37
CM2	Lablab	56,0	18.73	13.49
	feijão guandu	115,0	109.27	80.86
	b. ruziziens	30,0	2.82	2.11
CM3	nabo forrageiro	53,0	23.23	14.17
	c. juncea e c.ochroleuca	76,0	28.46	23.91
	b. decumbens	77,0	11.60	7.08
	aveia preta	184,0	14.74	4.72
ASB	mucuna preta	37,0	23.66	19.17
	nabo forrageiro	119,0	24.96	15.23
	c. juncea	40,0	2.90	2.43
	Feijão-de-porco	11,0	31.63	27.52
	aveia preta	166,0	9.25	2.96

Diante disso, pode-se verificar a densidade populacional para as diferentes mistura de espécies vegetais. Inicialmente, a melhor combinação foi dada entre B1M3 com 397 ind.m⁻². Porém, este sucesso de indivíduos não significa que estará com uma boa quantidade de fitomassa por área, vai depender do porte das espécies. Para este mesmo tratamento o melhor índice germinação foi dado pela aveia preta (150 ind.m⁻²) sendo, portanto, uma espécie indicada para ser implantada inicialmente na revegetação de cobertura final de ADRSU (FIG. 5.19).

Para os tratamentos que utilizaram a manta Sintemax, o melhor resultado foi dado pela combinação B2M1 (Sintemax + Mistura 1) com fitomassa seca de 109,93 g.m⁻². A espécie que se destacou foi a mucuna preta com 27 ind.m⁻² e 58,61g.m⁻² de fitomassa seca.

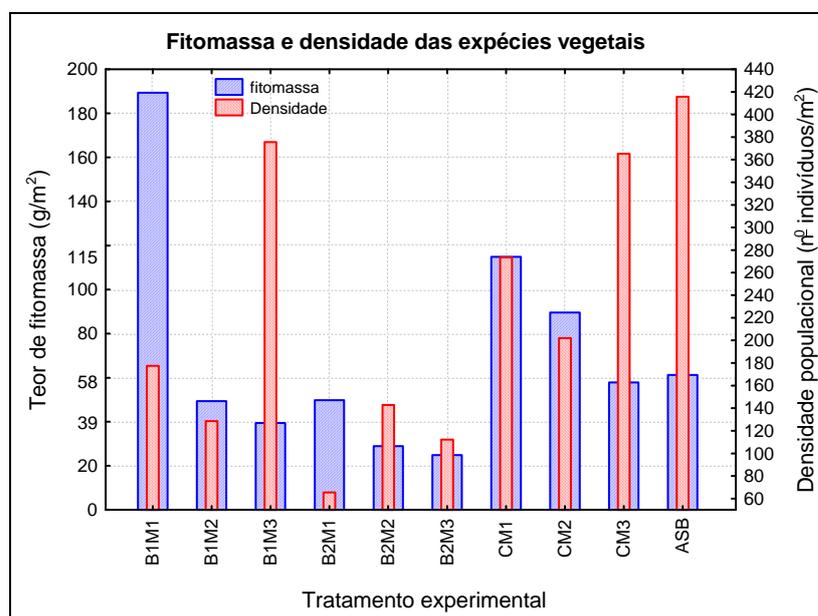


FIGURA 5.19 – Valores médios dos teores de fitomassa seca total da parte aérea e densidade populacional dos diferentes tratamentos após 30 dias de implantação

Quando se observa o acúmulo de fitomassa para todas as espécies, pode-se verificar que inicialmente a mucuna preta e feijão guandu obtiveram os melhores resultados. As espécies lablab, feijão-de-porco e crotalárias obtiveram resultados intermediários. As espécies de braquiárias, por terem um crescimento mais lento, acumularam menos fitomassa nesse período.

A aveia é uma excelente opção para a produção de fitomassa, além da longa persistência dos seus resíduos culturais no solo após o manejo (Aita et al., 2001).

O nabo forrageiro se caracteriza pela eficiência na ciclagem de N do solo, apresentando elevado potencial de fornecimento de N, embora seus resíduos culturais sejam rapidamente decompostos e, portanto, pouco eficientes no que concerne à proteção do solo contra os agentes erosivos (Aita et al., 2001).

Portanto em relação à revegetação inicial de áreas degradadas, a variação comportamental dos indivíduos da família *Gramineae*, tanto no processo de colonização do terreno desnudo, como

no seu estabelecimento perene, pode constituir-se como indicador natural de evolução dos processos pedogenéticos na construção de solos em áreas de empréstimo (Reinert, 1998).

Após o período inicial de avaliação de massa seca, pode-se verificar que visualmente durante os meses de agosto a outubro de 2004 a produção de massa fresca da parte aérea diferiu entre as espécies e conseqüentemente entre os vários tratamentos avaliados. As condições climáticas neste período podem explicar este efeito. Na época da seca (maio a outubro), ocorreram temperaturas mínimas menores que 10°C e forte déficit hídrico (precipitação acumulada de 50 mm), condições que restringiram o acúmulo de fitomassa.

Analisando os resultados finais, ou seja, após 12 meses de implantado da vegetação, pode-se verificar que, em termos mais específicos como a fitomassa seca da parte aérea, não houve grandes variações, conforme mostrado na FIG. 5.20.

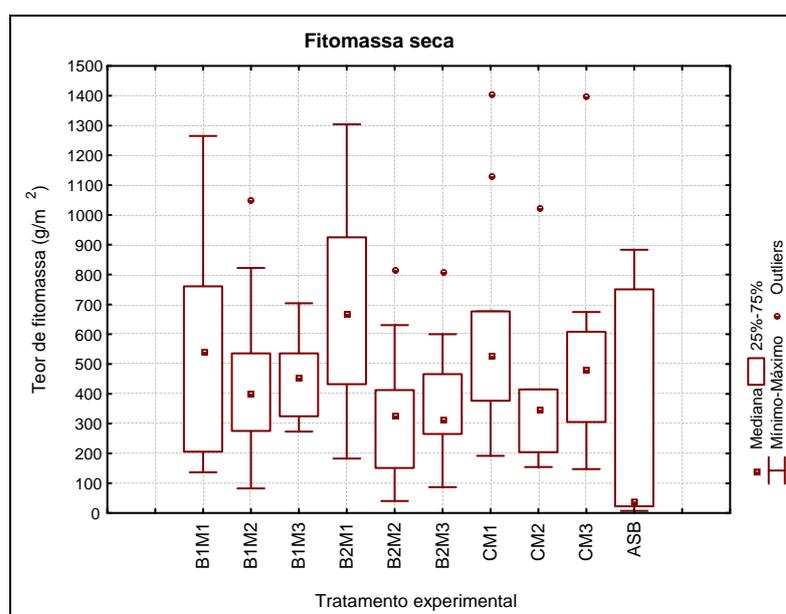


FIGURA 5.20 – Boxplot do teor de fitomassa seca da parte aérea dos diferentes tratamentos após 12 meses de implantação

A interação entre épocas e as espécies sobre a produção de fitomassa pode estar expressando a influência do material genético empregado, das condições de ambiente e do fotoperíodo, na época de semeadura, e provavelmente causaram diferenças nessa variável (Amabile et al., 2000).

A produção de matéria seca dos vegetais depende da eficiência fotossintética, e esta é determinada pela espécie, temperatura, suprimento de água e nutrientes, radiação solar e

práticas de manejo (Guerra et al., 1999). O tipo de solo e clima são os fatores mais determinantes na distribuição e produção de plantas, porém, as espécies forrageiras adaptam-se a diversas situações (Einloft, 2000).

Em muitas partes do mundo, as forrageiras são cultivadas em solos íngremes, erodíveis, inférteis ou áridos, que não sustentam culturas graníferas. Algumas espécies de plantas forrageiras são capazes de crescer em solo nessas condições, no entanto, respondem favoravelmente à boas práticas de manejo, e as adubações, de maneira geral, oferecem oportunidades de melhores produtividades (Fageria et al., 1991 apud Favaretto et al., 2000).

Pode-se verificar que os maiores teores de fitomassa.m⁻² foram alcançados pelos tratamentos B2M1, B1M1 e CM1 e os menores foram obtidos pelos tratamentos ASB, B2M3 e CM2.

A produção de matéria seca total, que compreendeu a produção das gramíneas e das leguminosas das quatro misturas de sementes, variou entre os valores de 43,61 e 667,38 g.m⁻² (TAB. 5.8).

TABELA 5.8 – Estatística básica da concentração de fitomassa seca da parte aérea aos 12 meses

Estatísticas básicas	Tratamentos									
	Concentração (g/m ²)									
	B1M1	B1M2	B1M3	B2M1	B2M2	B2M3	CM1	CM2	CM3	ASB
Mínimo	137.25	82.91	273.32	183.16	40.30	87.11	191.95	154.70	147.70	7.22
Mediana	540.65	403.35	456.60	667.38	325.87	316.37	527.39	349.16	482.77	43.61
Média	541.95	470.15	447.50	719.51	339.02	376.38	624.39	509.97	514.68	326.93
Máximo	1264.96	1053.86	703.95	1303.94	816.78	813.08	1406.59	1656.06	1402.36	883.09
Desvio padrão	377.69	300.75	149.27	379.19	251.34	227.47	398.27	505.66	377.89	382.81
C. de variação	0.70	0.75	0.33	0.57	0.77	0.72	0.76	>0,99*	0.78	>0,99*

Considerando-se que as gramíneas da mistura M2 e M3 apresentaram menor produção que as gramíneas da mistura M1, esta superioridade pode estar relacionada à melhor produção de matéria seca das gramíneas, principalmente pelo colômbio.

Melo (1994) verificou o efeito da adubação mineral na produção de matéria seca de diferentes forrageiras em área degradada. Todas as espécies, isoladas ou em associação, responderam à adubação de NPK, sendo as maiores produções ocorridas nos tratamentos com as maiores dosagens.

Os trabalhos de Neto (1995) e de Favaretto et al. (2000) concluíram que, independentemente das espécies, as maiores produções de matéria seca de forrageiras em áreas degradadas foram observadas nos tratamentos com adubação mineral + orgânica.

As espécies que melhor se adaptaram e contribuíram para uma boa fitomassa foram aquelas pertencentes ao M1 (b. brizantha e b. humidicola), pois apresentaram maior produção em comparação à produção obtida nos tratamentos M2 e M3. Esta característica basicamente foi revelada nas espécies em seu comprimento e peso seco da parte aérea.

As espécies b. brizantha e b. humidicola apresentaram uma média de $9,09 \text{ g.ind}^{-1}$ de fitomassa seca, chegando ao máximo de 30 g.ind^{-1} e comprimento máximo individual de 195 cm de parte aérea (5.21).

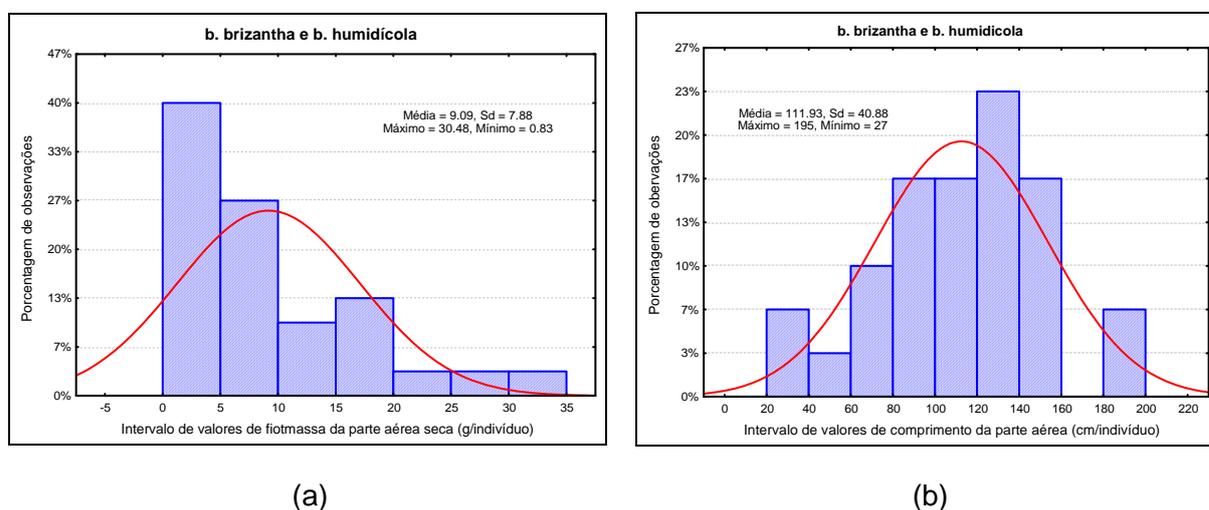
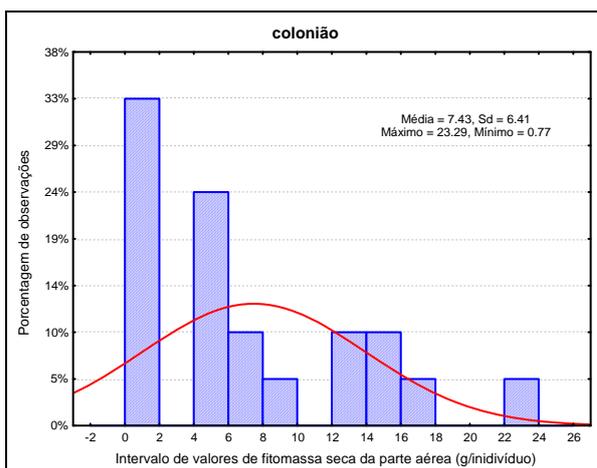
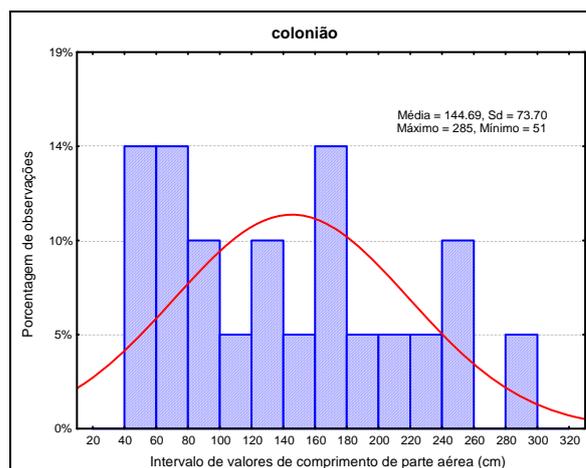


FIGURA 5.21 – Teores de fitomassa seca de b. brizantha e b. humidicola: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

A espécie colômbio obteve um valor máximo de $23,29 \text{ g.ind}^{-1}$ para fitomassa seca, chegando ao maior comprimento em comparação a todas às demais espécies, 285 cm.ind^{-1} (FIG. 5.22). Em comparação às espécies de b. humidicola e b. brizantha esta espécie possui um baixo valor em fitomassa seca por indivíduo sendo explicado pela sua baixa emissão de folhas.



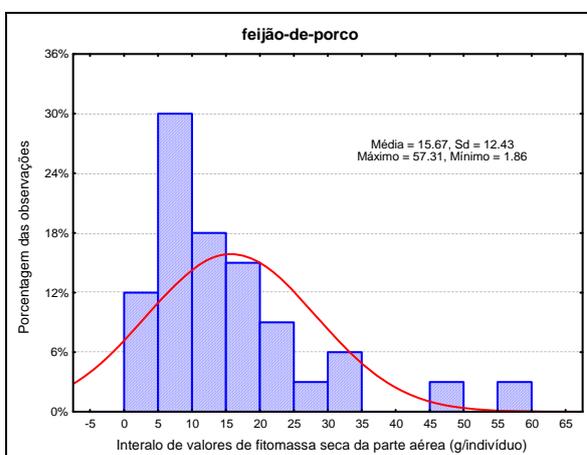
(a)



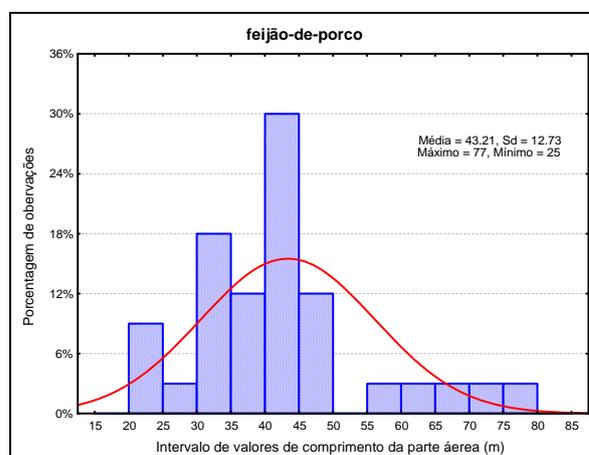
(b)

FIGURA 5.22 – teores de fitomassa seca de colonião: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

A maior porcentagem de indivíduos de feijão-de-porco (30%) concentraram-se na faixa de 5 a 10g.ind⁻¹ de fitomassa seca chegando ao máximo de 57,31g.ind⁻¹. (FIG. 4.34). Por ser uma espécie de pequeno porte o valor máximo de comprimento encontrado foi de 77cm.ind⁻¹ (FIG. 5.23). Esta espécie, devido sua constituição de tecidos espesso, resultou em maior quantidade de fitomassa/indivíduo, em comparação às demais espécies do M1.



(a)



(b)

FIGURA 5.23 – Teores de fitomassa seca de feijão-de-porco: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

Os indivíduos de *c. breviflora* atingiram em média o menor porte entre as espécies do M1 (35,18cm.ind⁻¹) e teor de fitomassa (7,68 g.ind⁻¹), porém, em aspecto de manutenção da parte aérea esta espécie se apresentou em bom estado aos 12 meses, permanecendo verde até nos períodos de seca (FIG. 5.24).

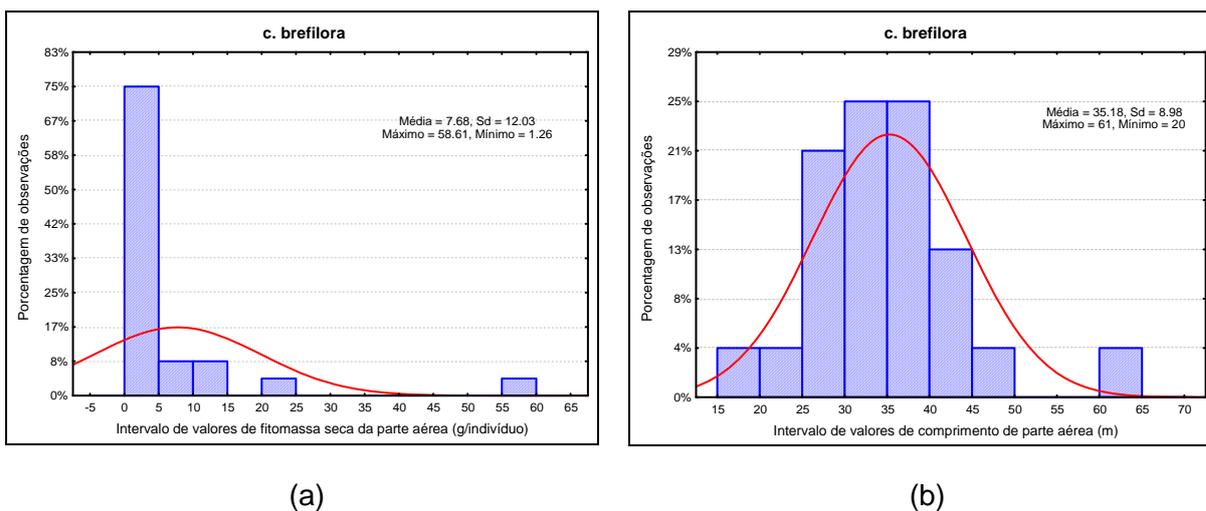


FIGURA 5.24 – Histograma dos teores de fitomassa seca de *c. breiflora*: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

A produção de matéria fresca e seca da parte aérea das misturas de sementes das espécies pode ter sido influenciada pela competição entre os indivíduos por água, nutrientes e luz. As gramíneas são plantas muito exigentes quanto à insolação (Dechen et al., 1981).

Em relação à consorciação de gramíneas das misturas M1, as espécies apresentaram comportamento bem diferenciado. Na mistura, as espécies *b. humidicola*, *b. brizantha* e *colonião* não obtiveram boa relação em produção de fitomassa em comparação às demais braquiárias, devido ao sombreamento provocado pela espécie *colonião*. As braquiárias, após 10 meses não conseguiram mais se desenvolver, tornando caules e limbo foliar estiolados. Na ausência de luz estas espécies naturalmente se comportam desta maneira, enquanto que, a espécie *colonião* apresentou um alto percentual de crescimento e desenvolvimento após este período de tempo.

Ente as espécies da mistura M2 obteve-se bons resultados por parte do feijão guandu, que é uma leguminosa bastante indicada para áreas degradadas. Entre todas as espécies utilizadas neste estudo, o feijão guandu foi a espécie que mais acumulou fitomassa por indivíduo, obtendo uma média final de $80,09\text{g}\cdot\text{ind}^{-1}$, podendo chegar a um comprimento máximo de $200\text{cm}\cdot\text{ind}^{-1}$ e mínimo de $90\text{cm}\cdot\text{ind}^{-1}$ (FIG. 5.25). As plantas encontravam-se muito vigorosas, tendo, assim, respondido pela maior produção de fitomassa seca da parte aérea das leguminosas, fato também observado por Garcia (2002).

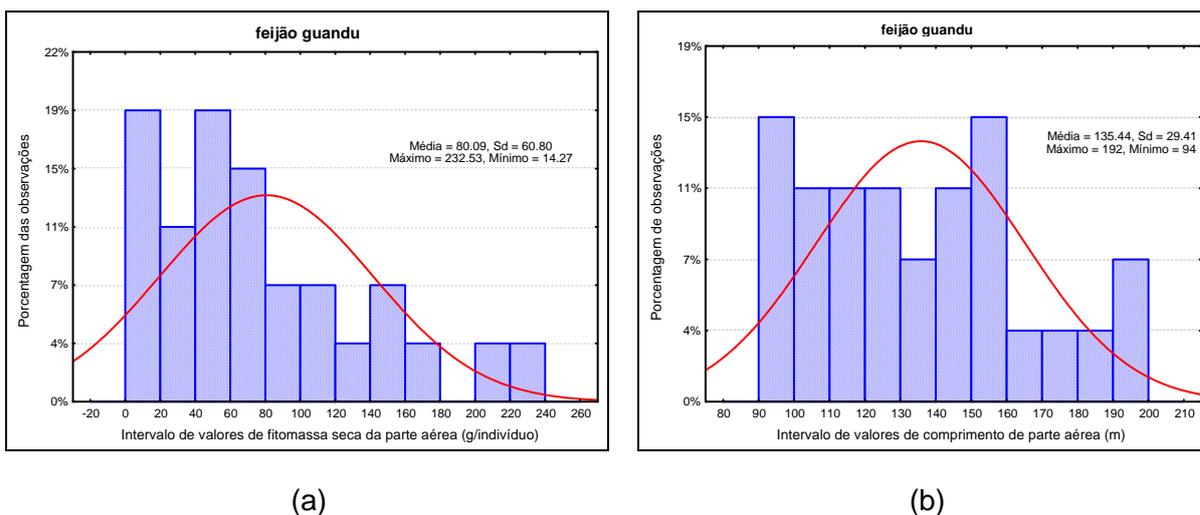


FIGURA 5.25 – Histograma dos teores de fitomassa seca de feijão guandu: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

De acordo com Seiffert & Thiago (1983), o feijão guandu tem a capacidade de adaptar a ampla faixa de precipitação, ser resistente à seca e desenvolver melhor em temperatura mais elevada, sendo estas as condições que favoreceram o sucesso dessa espécie.

A espécie *b. ruzizens*, também pertencente ao M2, se desenvolveu bem e contribuiu com um acúmulo médio de fitomassa de 13,05g.ind⁻¹ e comprimento de 223,0 cm.ind⁻¹ (FIG. 5.26)

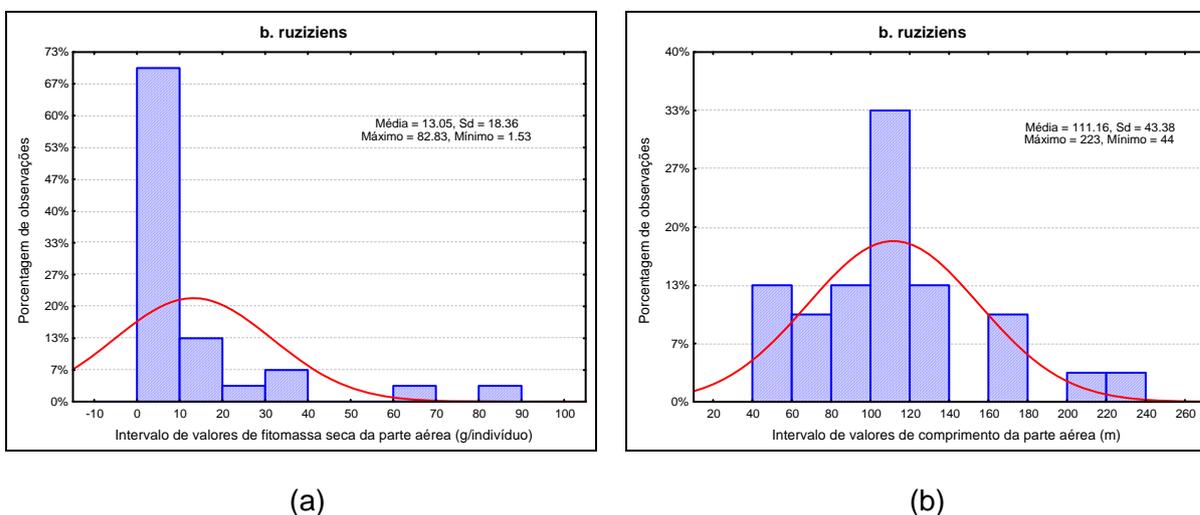


FIGURA 5.26 – Histograma dos teores de fitomassa seca de *b. ruzizens*: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

As espécies pertencentes ao M3 obtiveram bons resultados, porém, são espécies que germinaram de forma dispersa em campo, como o nabo forrageiro, devido à baixa resistência ao longo dos meses. As espécies como *c. juncea*, *c. ochroleuca* e *b. decumbens* resistiram a este período de tempo e obtiveram bons resultados, como mostrado a seguir.

A espécie de crotalária juncea e crotalária ochroleuca obtiveram resultados semelhantes sendo a fitomassa média de 46,61 e 63,84g.ind⁻¹, respectivamente (FIG. 5.27 e 5.28). Para os valores de comprimento mostraram-se em classificação intermediárias em comparação às demais espécies de outras misturas, tendo a c. juncea 177,55cm.ind⁻¹ e a c. ochroleuca com 193,16 cm.ind⁻¹ (FIG. 5.27 e 5.28).

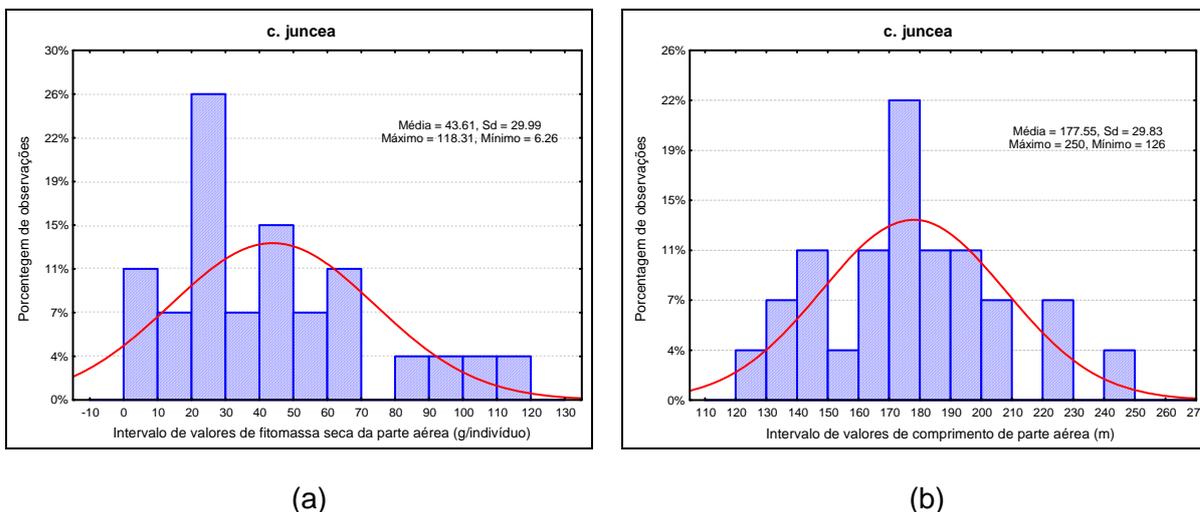


FIGURA 5.27 – Histograma dos teores de fitomassa seca de c. juncea: (a) teor de fitomassa; (b) comprimento da parte aérea.

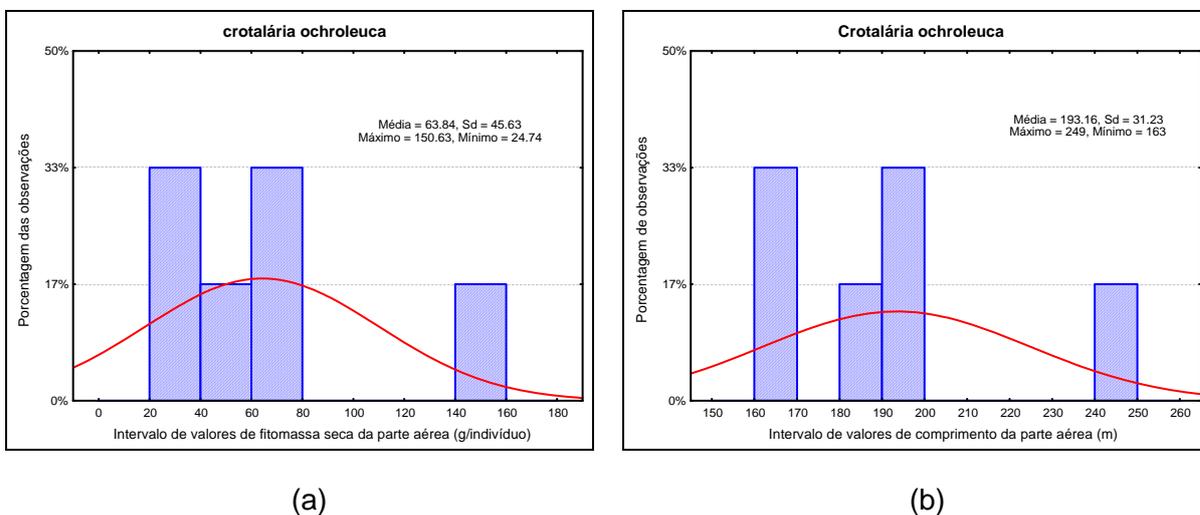
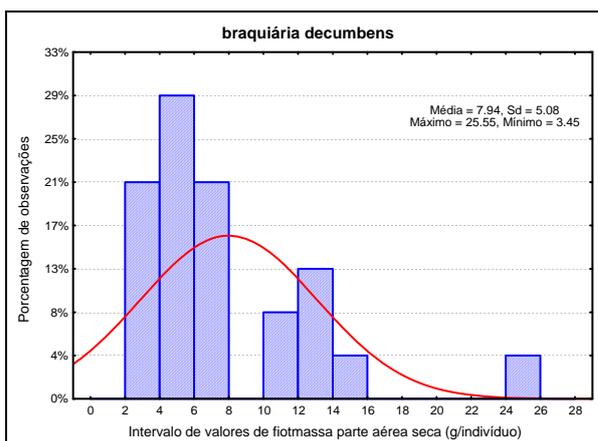
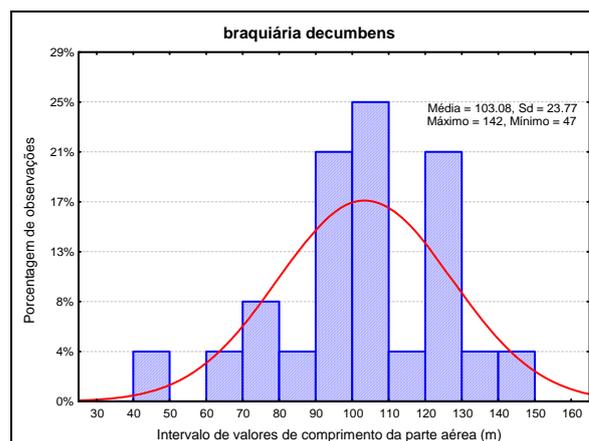


FIGURA 5.28 – Histograma dos teores de fitomassa seca (a) e comprimento da parte aérea de c. ochroleuca (b)

Dentre todas as espécies de braquiária estudadas, a espécie que obteve menor produção foi a b. decumbens com 7,94 g.ind⁻¹ de fitomassa seca e comprimento médio de 103,08cm (FIG. 5.29).



(a)



(b)

FIGURA 5.29 – Histograma dos teores de fitomassa seca (a) e comprimento da parte aérea de *b. decumbens* (b)

Em termos gerais, apesar das condições adversas, as espécies utilizadas para a revegetação de ADRSU, principalmente as gramíneas mostraram grande potencial produtivo em solos de cobertura final de ADRSU (FIG. 5.30). Para as leguminosas, o destaque maior é na estética pois, além de florir constantemente possui uma boa uniformidade de crescimento (FIG. 5.31).



(a)



(b)

FIGURA 5.30 – Aspecto geral da revegetação da cobertura final com espécies Gramínea em janeiro de 2005: (a) altura da vegetação; (b) densidade da vegetação.



(a)



(b)

FIGURA 5.31 – Aspecto geral da revegetação da cobertura final com espécies Leguminosas em janeiro de 2005: (a) altura da vegetação; (b) densidade da vegetação.

Em relação aos consórcios de gramíneas e leguminosas, Giacomini et al. (2003) concluíram em seu trabalho que, a densidade de semeadura, a disponibilidade de nutriente no sistema solo-planta e a qualidade das sementes utilizadas podem influir na produção de cada espécie.

Além de os consórcios proporcionarem uma produção de matéria seca tão elevada quanto a dos tratamentos que envolvem as espécies presentes à M1, outro resultado a destacar neste estudo diz respeito à capacidade de algumas plantas após um curto período de tempo incorporarem matéria orgânica ao solo, sendo esta característica conferida pelas espécies de lablab, feijão guandu, nabo forrageiro e *c. juncea* (FIG. 5.32).

Bragagnolo & Mielniczuk (1990) observaram que algumas seqüências de culturas, apesar dos elevados valores de matéria seca residual, apresentaram baixos índices de coberturas do solo, em face da constituição lenhosa dos resíduos, estas características são conferidas pelas espécies de *c. ochroleuca* e *c. brefiflora*.



FIGURA 5.32 – Incorporação natural de matéria orgânica ao solo pelo consórcio de vegetação após um período de 4 meses

5.4.4. Taxa de cobertura vegetal

O estudo do arranjo populacional dessas plantas, visando ao seu estabelecimento, requer maior atenção durante a fase do $t_{1/2}$ (tempo necessário para atingir 50% de cobertura), e não até o período para a plena cobertura do terreno (Perin et al., 2004).

De acordo com Bertol et al. (1987) uma cobertura do solo equivalente a 60% da área promove uma redução de 80% nas perdas do solo por erosão, em relação ao solo descoberto.

Embora tenha observado o efeito da cobertura do substrato, os resultados mostraram que o tempo necessário para a completa cobertura da área pelas espécies avaliadas foi pouco expressivo. Entretanto, diferenças marcantes ocorreram na fase inicial de estabelecimento para ambas as espécies, considerando a fase crítica quanto à competição de nutrientes e suscetibilidade à erosão, uma vez que, durante a fase inicial de crescimento ocorreram fortes eventos pluviométricos, se estendendo até julho de 2004.

Ao longo do tempo, para alguns tratamentos, a taxa de cobertura variou consideravelmente, o que pode estar relacionado ao tipo de espécie que se está utilizando, para outros tratamentos a variação foi muito pequena, isto pode estar relacionado ao tipo de ambiente além também da própria espécie.

Ao avaliar os percentuais de cobertura vegetal da superfície após 6 meses de implantação houve uma variação mediana de 7%, referente ao tratamento ASB, e 60%, obtido com o tratamento CM1 (FIG. 5.33).

As baixas taxas de cobertura observadas nos tratamentos B2M2 e B2M3, 8% e 10% respectivamente, podem estar relacionados não só ao tipo de espécie e ambiente mas também pela dificuldade que a planta enfrentou para romper a barreira da manta vegetal, nas primeiras semanas de crescimento.

As espécies vegetais que pertencem ao M1 obtiveram um bom resultado de germinação e boa adaptação inicial ao ambiente, uma vez que, para os diferentes tratamentos como B1M1, B2M1 e CM1, em comparação a todos os demais tratamentos, observam-se os melhores valores medianos na taxa de cobertura (FIG. 5.33).

Para as espécies pertencentes ao M2 a melhor condição foi verificada quando utilizou o tratamento CM2, onde a diferença principal foi o tipo de adubação.

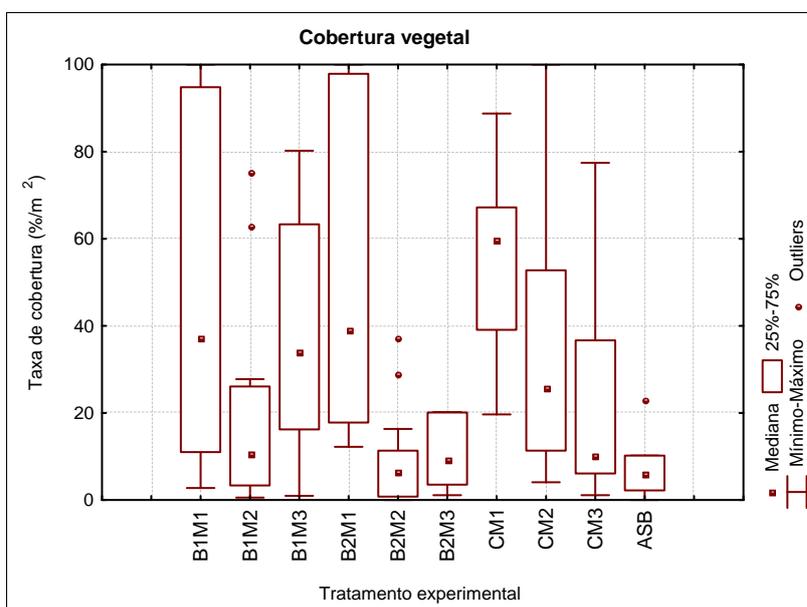


FIGURA 5.33 – Variação da cobertura vegetal em outubro de 2004

Quando se avalia a melhor condição ambiental para o M3, pode-se verificar que o ambiente que utilizou B1 e adubação química, em valores medianos, foi melhor 35% em comparação à B2M3 e CM3 (TAB. 5.9).

Como a variação da taxa de cobertura para um mesmo tratamento foi alta, os outliers não foram descartados da avaliação quantitativa.

TABELA 5.9 – Dados dos teores de cobertura vegetal aos 7 meses de implantação

Estatísticas básicas	Tratamentos									
	Concentração (%/m ²)									
	B1M1	B1M2	B1M3	B2M1	B2M2	B2M3	CM1	CM2	CM3	ASB
Mínimo	2.78	0.56	1.00	12.22	0.00	1.11	19.67	4.11	1.11	0.00
Mediana	37.00	10.78	33.89	39.00	6.33	9.22	59.44	25.78	10.33	5.78
Média	49.64	18.71	37.17	52.39	8.96	18.79	54.80	34.60	22.03	12.61
Máximo	100.00	75.22	80.22	100.00	37.00	95.67	88.75	100.00	77.44	61.44
Desvio padrão	37.85	22.37	27.20	36.09	11.09	28.43	19.06	29.10	22.93	18.78
Coef. de variação	0.76	>0.99	0.73	0.69	>0.99	>0.99	0.35	0.84	>0.99	>0.99

Em relação à taxa de cobertura nos diferentes tratamentos após um período de 12 meses, pode-se verificar que, em comparação aos resultados após 6 meses de implantação, alguns tratamentos obtiveram melhores resultados. Estes tratamentos foram B1M3, B2M1 e CM2, que atingiram a taxa próxima a 70 e 80%, o que já indica ser uma boa cobertura para diminuir a perda de solo (FIG. 5.34).

O menor crescimento ocorrido durante este período foi por parte do tratamento ASB, o que pode ser explicado pelo aumento da mortalidade dos indivíduos, embora em determinados pontos da área para este tratamento tenham obtido boas coberturas.

Para os tratamentos que receberam adubação orgânica, todos os consórcios de espécies vegetais conferiram um bom resultado, com exceção do CM3 com 42% de valor mediano. Entre os tratamentos estudados para a mesma adubação de cobertura, o CM2 apresentou o melhor resultado, 73%.

Dentre a misturas das diferentes espécies, a que conseguiu se superar com o uso da manta sintemax e adubação química foi o M3 passando de 10% para 60%.

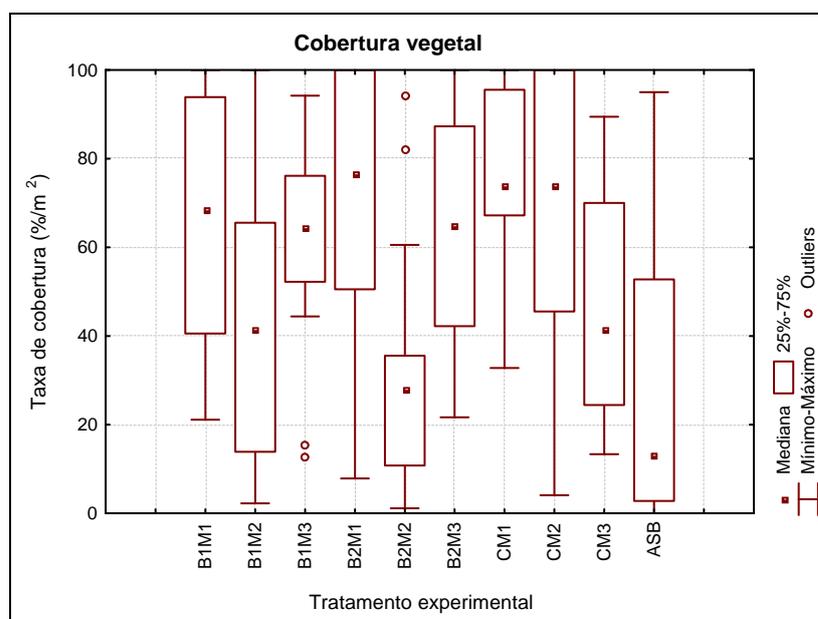


FIGURA 5.34 – Variação da cobertura vegetal em março de 2005

TABELA 5.10 – Dados dos teores de cobertura vegetal aos 12 meses de implantação

Estatísticas básicas	Tratamentos									
	Concentração (%/m ²)									
	B1M1	B1M2	B1M3	B2M1	B2M2	B2M3	CM1	CM2	CM3	ASB
Mínimo	21.11	2.22	12.78	7.89	1.11	21.67	32.78	4.11	13.33	0.00
Mediana	68.33	41.67	64.44	76.56	27.89	65.00	73.89	73.89	41.67	13.22
Média	65.73	42.29	60.65	73.23	31.75	62.69	77.81	67.42	46.39	26.71
Máximo	100.00	100.00	94.22	100.00	94.22	100.00	100.00	100.00	89.44	95.00
Desvio padrão	28.28	29.04	23.00	29.46	27.42	26.86	18.93	31.05	23.99	32.41
Coef. de variação	0.43	0.69	0.38	0.40	0.86	0.43	0.24	0.46	0.52	>0,99

Na avaliação da cobertura vegetal de cinco meses após a primeira avaliação, pode-se observar que os maiores incrementos de cobertura vegetal foram alcançados pelos tratamentos B2M3 e CM2 com 55,78 e 48,11%, respectivamente (TAB. 5.10).

Os tratamentos B1M1, B2M2, B1M3 e CM3 obtiveram incrementos semelhantes variando de 30 a 31%. Embora a tela Sintemax tenha contribuído para dificultar o crescimento de algumas espécies, a sua combinação com as misturas de espécies ao longo dos meses trouxe um bom ganho em taxa de cobertura.

De acordo com a FIG. 5.35 pode-se verificar que, para as espécies estudadas no campo, existe uma boa relação direta e crescente entre a taxa de cobertura vegetal e fitomassa vegetal por área, o que explica que as espécies tendem a aumentar em área à medida que o seu teor de fitomassa aumenta.

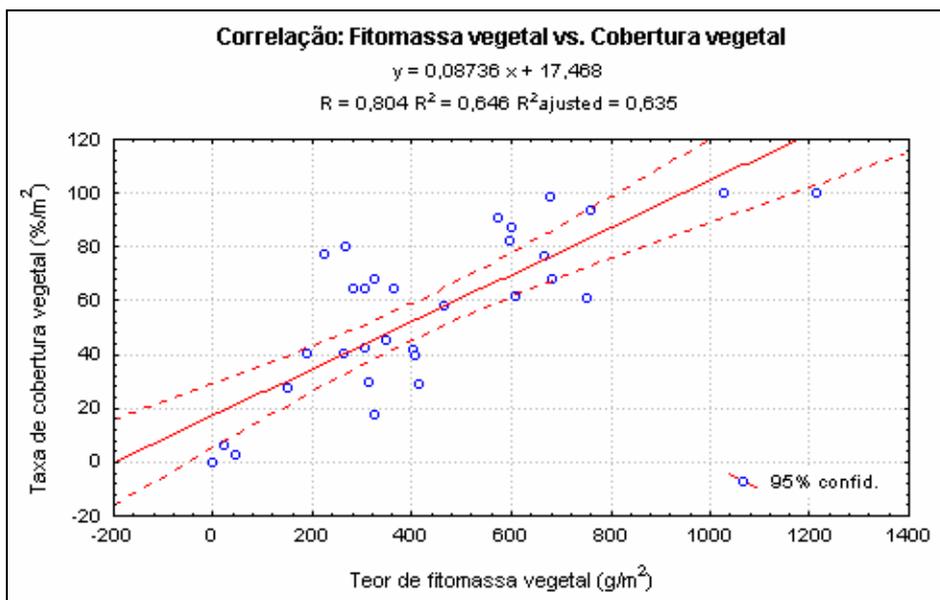


FIGURA 5.35 – Correlação entre a teor de fitomassa e a cobertura vegetal após 12 meses de implantação

Para as diferentes épocas do ano, ou seja, logo após o inverno e verão, ao avaliar a taxa de cobertura vegetal dos diferentes tratamentos, pode-se verificar que, em geral, houve uma diferença significativa, o que está relacionado à boa adaptação das espécies logo após os períodos de condições climáticas extremas (FIG. 5.36).

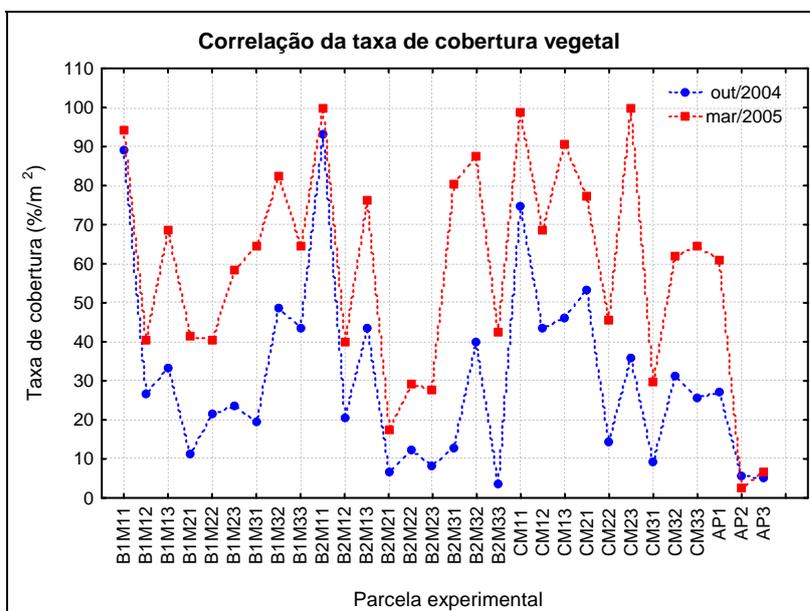


FIGURA 5.36 – Variação média da cobertura vegetal para as diferentes período de avaliação

De acordo com as diferenças significativas, os tratamentos que obtiveram maiores rendimentos nesse intervalo de tempo foram os B1M2, B2M2, B2M3, CM2 e CM3 (TAB. 5.11).

TABELA 5.11 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas de crescimento da taxa de cobertura vegetal avaliadas em duas épocas distintas

Teste de cobertura comparados	N	Z	Valor de P	Testes de taxa de cobertura significativamente diferente ao nível de significância 0,05?
out/2004 & mar/2005	30	4.741	0.000	Sim
B1M1out/2004 & BIM1 mar/2005	15	2.589	0.010	Sim
B1M2out/2004 & BIM2 mar/2005	15	3.408	0.001	Sim
B1M3out/2004 & BIM3 mar/2005	15	2.897	0.004	Sim
B2M1 out/2004 & B2MI mar/2005	15	2.756	0.006	Sim
B2M2 out/2004 & B2M2 mar/2005	15	3.296	0.001	Sim
B2M3 out/2004 & B2M3 mar/2005	15	3.294	0.001	Sim
CM1 out/2004 & CM1 mar/2005	15	3.045	0.002	Sim
CM2 out/2004 & CM2 mar/2005	15	3.180	0.001	Sim
CM3 out/2004 & CM3 mar/2005	15	3.408	0.001	Sim
ASB out/2004 & ASB mar/2005	15	2.605	0.009	Sim

5.5. Perda de solo

Com os eventos de precipitações pluviométricas ocorridas nos meses iniciais de implantação das sementes no campo, observou-se, em campo, a eficiência das biomantas na proteção das sementes pelo impacto de gotas e possível carreamento superficial.

Nesse aspecto, pode-se observar que, durante os meses de março a abril de 2004, houve uma boa proteção das espécies por parte das parcelas que receberam manta vegetal, como pode ser observado na FIG. 5.37, onde a vegetação se distribuiu de forma mais uniforme. Para as parcelas que não receberam biomanta, rapidamente ocorreu o carreamento de sementes para a base do talude, onde foi concentrado o crescimento da vegetação (FIG. 5.38).



(a)



(b)

FIGURA 5.37 – Aspecto geral da taxa de recobrimento: (a) recobrimento com manta biotêxtil – B1M1; (b) recobrimento com manta sintemax – B2M1.

Após um período de 12 meses, foram verificadas nas parcelas AP (sem tratamento) e com tratamento ASB (sem presença de biomanta) a ocorrência de erosões em sulcos com profundidade de até 20 cm (FIG. 5.38).



(a)



(b)

FIGURA 5.38 – Aspecto geral das erosões em sulcos das parcelas: (a) ausência de manta vegetal - ASB; (b) ausência de manta e semente - AP.

Nas parcelas que receberam algum tipo de biomanta verificou-se que as erosões foram raras, ou seja, apresentaram erosão somente naquelas partes da parcela onde desde o início já não existia nenhum vestígio de cobertura vegetal (FIG. 5.39).



(a)



(b)

FIGURA 5.39 – Aspecto geral das falhas de recobrimento e presença de erosões: (a) recobrimento com manta biotêxtil - B1M3; (b) recobrimento com manta sintemax - B1M2.

A alta inclinação do terreno (50% em média) foi um fator que influenciou fortemente as perdas de solo para este tipo de ambiente.

O uso da capina manual, com o solo em alta umidade, para preparo do substrato, pode ter sido um fator que influenciou bastante o carregamento inicial de sementes, ou seja, aumentou a facilidade de carregamento do substrato, já que todas as parcelas possuíam a mesma declividade.

Nos aspectos de erodibilidade (fator K), de acordo com Wilschmier & Smith (1978), este substrato pode ser classificado como um substrato de textura grossa, pois, apresentou uma variação de 0,14 a 0,26, com média de 0,19 (FIG. 5.40). Este substrato pode ser classificado como um solo de média erodibilidade (Carvalho, 1994 apud Silva et al., 2004).

Segundo Cogo et al. (2003), um solo com índice muito baixo de erodibilidade possui por consequência uma alta resistência à erosão hídrica. Porém este solo, por estar bastante compactado, diminui consideravelmente esta resistência.

De acordo com Albuquerque (2003), este substrato se caracteriza em alta infiltração que resulta portanto, em um baixo escoamento superficial, embora estas partículas sejam facilmente destacadas, não oferecendo muita resistência aos agentes erosivos.

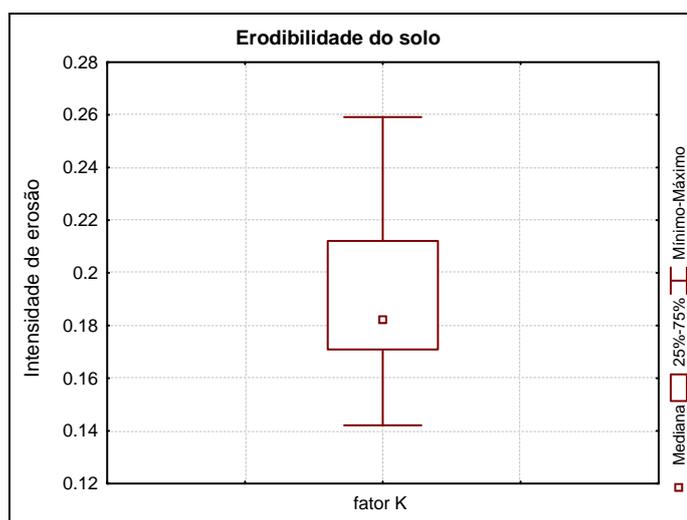


FIGURA 5.40 – Índices de erodibilidade do solo

Deve-se salientar que diferentes consórcios de espécies revelam uma capacidade de reduzir a erosão, devido principalmente às variações na cobertura do solo pela copa, na incorporação de distintas quantidades e tipo de massa vegetal da parte aérea e raízes assim como também, a resistência dos resíduos vegetais incorporados ao solo ao transporte pela enxurrada.

Mais especificamente, na avaliação quanto à eficiência da proteção do solo, pode-se inferir que para os tratamentos que obtiveram uma maior cobertura residual (matéria orgânica incorporada ao substrato), como as observadas nos tratamentos que utilizaram as misturas M1 e M3, houve uma redução da perda de solo (FIG. 5.42).

Dechen et al. (1981) avaliaram o efeito de gramíneas e leguminosas no controle de erosão: as perdas de solo variaram de 0,1 a 35,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, e as perdas de água de 0,6 a 8,8%, sendo as menores perdas de solo e água para as gramíneas e as maiores para as leguminosas, mostrando uma maior eficiência das gramíneas na proteção do solo contra erosão.

O tratamento ASB apresentou uma taxa de perda de solo semelhante à AP devido à dificuldades de adaptações das espécies vegetais (FIG. 5.41). Neste tratamento, a cobertura não variou ao longo das estações do ano porque não ofereceu condições mínimas, como umidade e temperatura, para a germinação das sementes embora o composto orgânico que foi utilizado como adubação seja um ótimo condicionador de umidade. A ausência do composto orgânico nesta parcela foi observado devido às constantes enxurradas que acabaram removendo parte do referido adubo por meio de arraste superficial.

A análise da FIG. 5.41 ainda permite inferir a influência da utilização de biomantas na perda de solo. Pode-se observar as elevadas perdas registradas nos tratamentos ASB e AP, que não utilizaram biomanta.

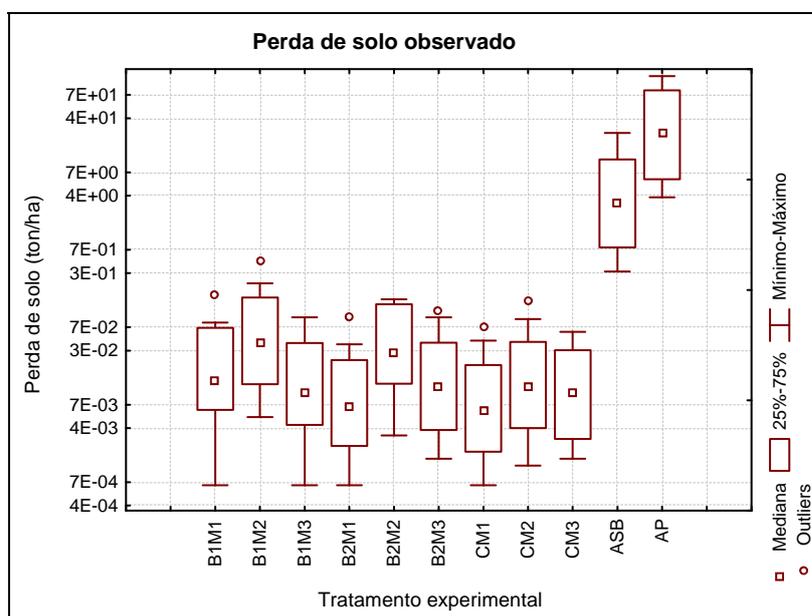


FIGURA 5.41 – Perda de solo em evento pluviométrico acumulado para os diferentes tratamentos

Dentre os tratamentos que sofreram preparo do solo, o menor tempo para iniciar o escoamento superficial ocorreu no ASB, justificado pela menor rugosidade e pela ausência de cobertura vegetal. Assim a superfície do solo descoberta foi submetida ao impacto de gotas de chuva, o que promoveu o selamento superficial e, conseqüentemente a formação de sulcos (Bertol et al., 1987).

No tratamento AP, além de se observar erosão em sulcos, houve uma pequena exposição de resíduos devido ao alto carregamento que acontece durante as altas e intensas precipitações, à alta declividade e à ausência completa de cobertura já que se trata de uma área piloto.

O tratamento que recebeu a tela vegetal do tipo Biotêxtil, além de reduzir bem a perda de substrato, apresentou uma boa incorporação superficial de resíduos orgânicos ao substrato provenientes da parte aérea das plantas. Esta incorporação de resíduos foi importante para a manutenção da umidade, além de contribuir para o enriquecimento da biota do substrato.

As perdas de sedimentos nos tratamentos que continham biomanta foram, em média, muito inferiores aos demais tratamentos, explicada pelo fato de que a própria tela dissipou a energia

cinética das gotas de chuva sobre a quase totalidade da superfície do substrato, diminuindo a desagregação das partículas e, conseqüentemente a concentração de sedimento na enxurrada. A FIG. 5.42 apresenta um exemplo de sedimentos coletados nos diferentes tratamentos após um evento de chuva.

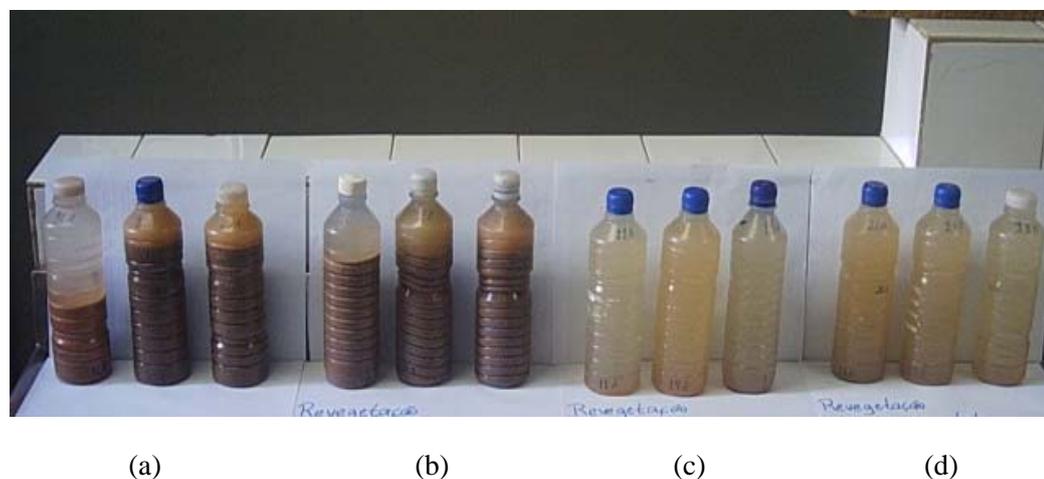


FIGURA 5.43 – Aspecto geral da perda de solo nas alíquotas para os diferentes tratamentos: (a) Área sem biomanta; (b), Área piloto; (c) Área com B1; (d) Área com B2.

A elevada cobertura do substrato em alguns tratamentos, como o CM1, B1M1 e B2M1, atuou como filtro para o escoamento superficial da água, se caracterizando às vezes pela quase completa ausência de sedimentos na alíquota retirada dos coletores.

Nascimento & Neto (1999), utilizando as leguminosas crotalária, lab-lab e mucuna-preta para cobertura do solo, verificaram que sua capacidade de proteção do solo contra erosão ocorre especialmente a partir de 60 dias após a semeadura no campo.

A capacidade de proteção do solo exercida pelas espécies crotalária, lab-lab e mucuna-preta depende da rapidez de crescimento e de suas características morfológicas, principalmente em relação à cobertura do solo proporcionada (Nascimento & Neto, 1999).

A FIG. 5.43 confirma a relação direta entre perda de solo e erosividade das chuvas, ou seja, com a maior erosividade ($48,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) houve maior perda de solo.

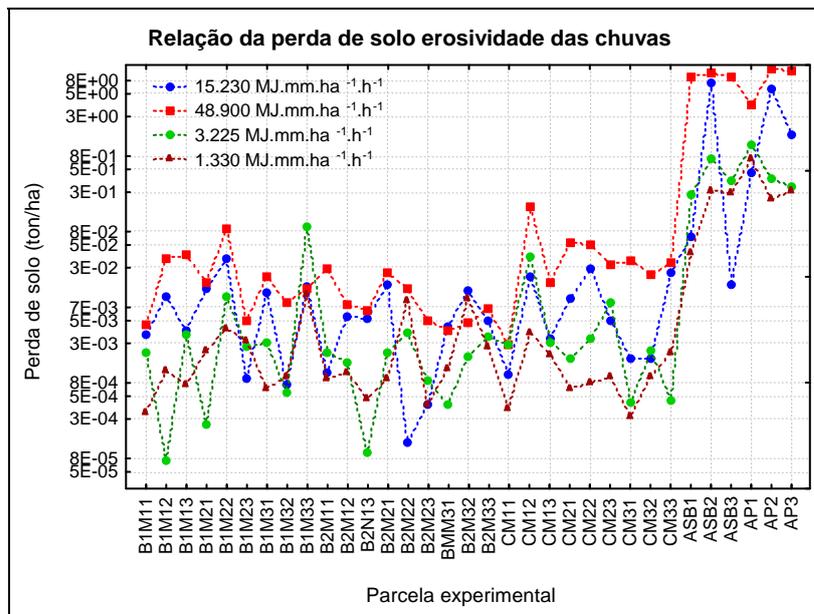


FIGURA 5.43 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.

De acordo com as análises de chuvas individuais, pode-se observar que a relação entre os valores observados e os valores calculados para as perdas de solo se encontram com uma grande diferença, embora alguns valores sejam bem próximos (FIG. 5.44 a 5.47).

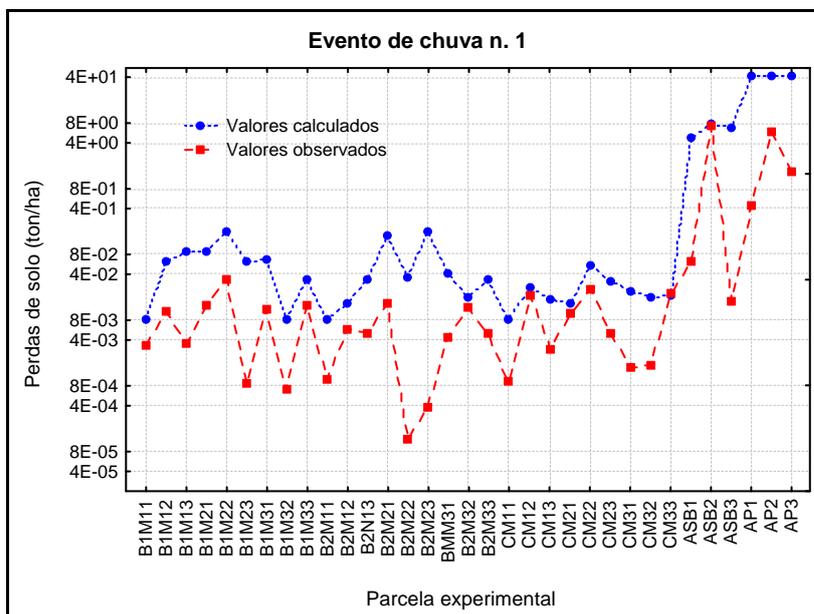


FIGURA 5.44 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.

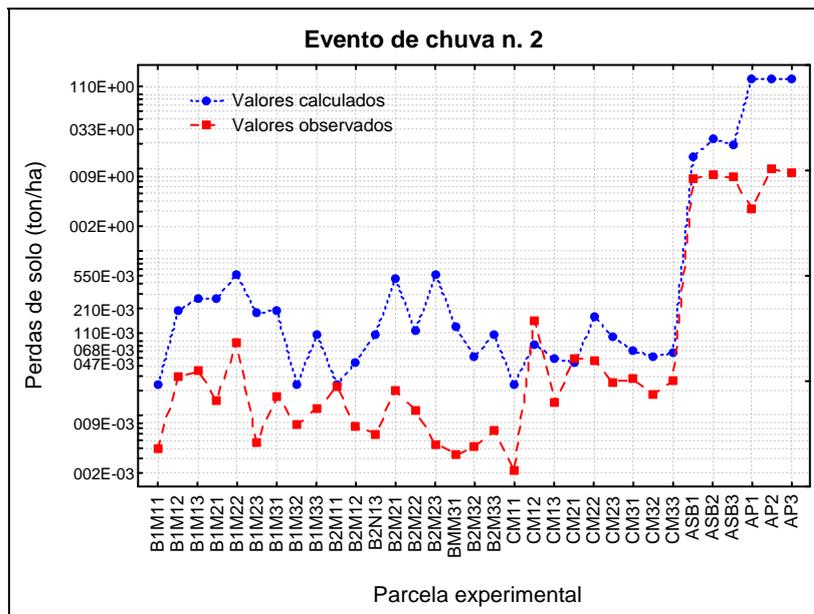


FIGURA 5.45 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.

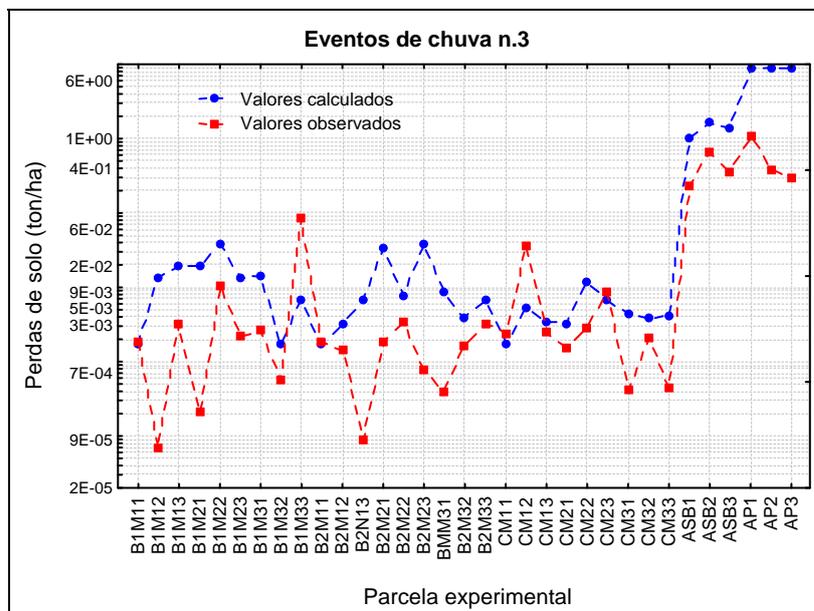


FIGURA 5.46 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.

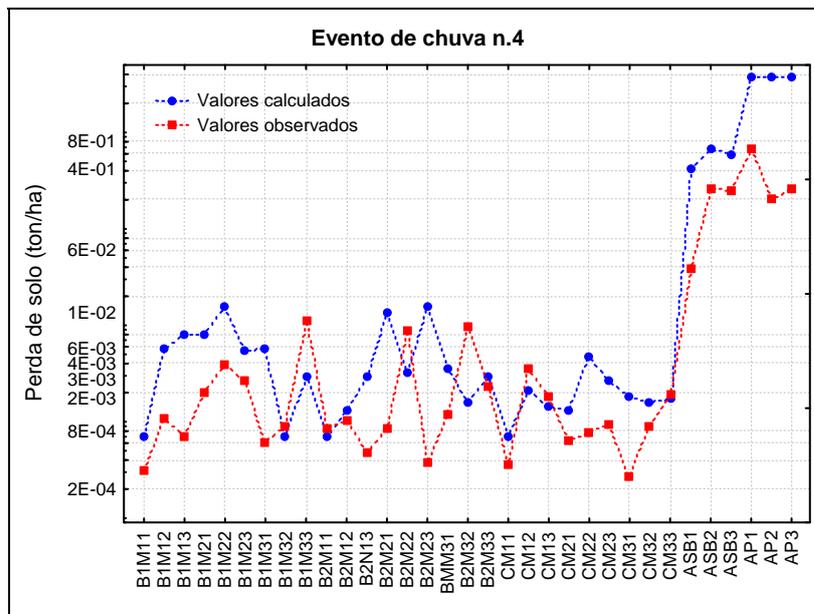


FIGURA 5.47 – Perda de solo para cada evento pluviométrico avaliado nas diferentes parcelas.

5.6. **Efeitos deletérios observados na revegetação**

No início do crescimento das plantas houve o ataque da praga *Spodoptera frugiperda* (lagarta do cartucho), cujo hospedeiro principal é a cultura do milho, porém possui o hábito alimentar bem diversificado, alimentando-se de diferentes hospedeiros com preferências por plantas da família *Gramineae* (Cruz, 1995). Durante o monitoramento do ataque às plantas, foi identificada a praga na sua fase larval localizada no caule das espécies de feijão-de-porco, mucuna preta e aveia preta. Foi realizado o controle químico já que, estava comprometendo a manutenção da cobertura viva sobre o solo (FIG. 5.48).



(a) (b) (c)

FIGURA 5.48 – Caracterização da principal praga e hospedeiro: (a) estágio larval da lagarta-do-cartucho; (b) desfolhamento no feijão-de-porco após 35 dias de implantação; (c) estágio adulto da lagarta-do-cartucho.

No final do ciclo das plantas, após um período de cinco meses de implantação do experimento, as espécies de crotalárias e feijão guandu sofreram um severo ataque de pragas como ácaros (branco) e *Atta laevigata* (saúva-da-mata). São as principais pragas de reflorestamentos, pois atacam de forma intensa e constante as plantas em qualquer fase de seu desenvolvimento. O ataque às plantas do experimento foi durante sua fase adulta e, portanto não foi necessário o controle químico pois as plantas já tinham adquirido resistência (FIG. 5.49).

Devido o local do experimento estar muito próximo à área de serviço (disposição de resíduos) houve um espalhamento de resíduos de plásticos no período de junho a agosto de 2004, comprometendo algumas plantas já que, ao cobrir estas plantas com estes resíduos, formaram-se pequenas estufas causando danos ao crescimento das mesmas e, posteriormente, sua morte (FIG. 5.49). Para solucionar este problema foi feita, de forma regular, a retirada de todo o resíduo sólido ao longo dos taludes.



FIGURA 5.49 – Aspectos gerais negativos: (a) ataque constante de saúvas na espécie feijão guandu; (b) recobrimento da vegetação com resíduos sólidos urbanos.

A porcentagem de invasoras foi muito baixa em todos os tratamentos. Este fato certamente está relacionado com a melhor cobertura vegetal do solo proporcionada pelas espécies selecionadas, o que pode ter dificultado o desenvolvimento das plantas invasoras.

5.7. Estimativa de custos

A tomada de decisão sobre o adequado arranjo populacional à formação da cobertura do solo requer a análise conjunta do custo com sementes ou mudas, operações de plantio e capinas, nível tecnológico e disponibilidade de mão-de-obra, além do potencial agrônomo das plantas, tais como: a taxa de crescimento e acúmulo de matéria seca e nutrientes (Perin et al., 2004).

Com relação aos custos, apresentados na TAB. 5.12, observa-se que a variação de custo para algumas técnicas foi bastante significativa, devendo-se ressaltar que os maiores valores referem-se aos tratamentos com utilização da B2.

Deve-se destacar que os tratamentos utilizando B1 apresentaram uma relação custo/benefício alta, pois a taxa de cobertura observada nas parcelas alcançou valores entre 60 e 100% de cobertura.

Para os tratamentos utilizando a biomanta sintemax, embora com um maior custo, os resultados de perdas de solo foram inferiores aos demais tratamentos.

Para o tratamento de ASB, embora tenha um baixo custo de implantação para as condições ambientais do aterro, a alta taxa de cobertura vegetal não foi possível. As condições mínimas para a germinação das sementes e a sua proteção durante a fase inicial de crescimento foram prejudicadas.

Souza (2001), utilizando sacos de aniagem como geotêxtil em taludes de mineração para o estabelecimento das espécies vegetais, concluiu, apesar do elevado custo de implantação, a eficiência desta técnica, principalmente nas áreas de difícil revegetação.

TABELA 5.12 – Custos de implantação e manutenção dos diferentes tratamentos

Discriminação	Tratamentos									
	B1M1	B1M2	B1M3	B2M1	B2M2	B2M3	CM1	CM2	CM3	ASB
Material^{1/}										
Tela Biotêxtil 400UP	130,00	130,00	130,00	-	-	-	130,00	130,00	130,00	-
Série Sintemax-400TF	-	-	-	1521,0	1521,0	1521,0	-	-	-	-
Adubação química	9,75	9,75	9,75	9,75	9,75	9,75	-	-	-	-
Adubação orgânica ^{1/}	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
sementes	42,50	53,00	63,80	42,50	53,00	63,80	42,50	53,00	63,80	82,42
Grampo de ferro	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	97,50	0,00
Mão-de-obra										
Mobilização de pessoal ^{2//}	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
Total para 195 m² (R\$)										
	399,75	410,25	421,05	1790,75	1.801,25	1.812,05	390,00	400,50	411,30	202,42
Total/m² (R\$)										
	2,05	2,10	2,15	9,18	9,23	9,29	2,00	2,05	2,10	1,03

^{1/} A adubação orgânica foi doada pelo aterro

^{2/} Preço referente à março de 2004; ^{2//} Mobilização = Homem(200m²/h/dia)+ferramentaria

6. CONCLUSÕES

6.1. *Caracterização de substrato*

As condições climáticas de campo registradas tais como, precipitação pluviométrica, umidade relativa, temperatura e luz, são importantes critérios a serem observados durante o estabelecimento de espécies vegetais em áreas degradadas, especialmente para camadas de cobertura final de aterros sanitários.

As caracterizações físicas e químicas do substrato da cobertura final da área estudada permitiram um correto procedimento de classificação e correção da camada de cobertura final, possibilitando o desenvolvimento de programas de revegetação dessas áreas e contribuindo para a minimização dos impactos ambientais e as chances de insucesso na recuperação de aterros sanitários.

Em relação à análise de fertilidade do substrato observou-se que o material apresentou um caráter heterogêneo.

De uma forma geral, o substrato apresentou um baixo teor de matéria orgânica, com exceção de algumas amostras. Os teores de macronutrientes, como K, Ca^{2+} e Mg^{2+} , foram bons, com exceção do P. O teor de Al^{3+} foi muito baixo, o que pode comprometer a disponibilidade dos demais nutrientes.

Os metais pesados avaliados (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn e Hg) não apresentaram concentrações tóxicas, com exceção do Pb. Outra característica observada para os metais pesados foi a relação diretamente proporcional da concentração no substrato com a profundidade de coleta das amostras.

A caracterização física do substrato revelou materiais com baixos teores de umidade e altos valores de densidade, confirmando ser um solo compactado. A granulometria predominante foi areno-argilosa, com algumas amostras apresentando-se areno-siltosas. O índice de plasticidade foi tipicamente de um solo com baixa resistência à erosão. O estado de agregação do substrato em água, obtido nos ensaios de estabilidade de agregados, revelou a baixa resistência à erosão do substrato.

6.2. Caracterização da vegetação

As leguminosas como lablab, *c. brefiflora*, feijão guandu, calopogônio, nabo forrageiro e mucuna preta apresentaram, nos testes 1 e 2, as maiores taxas e menor tempo de germinação em laboratório quando comparadas às gramíneas. Entre as gramíneas as que melhor se destacaram foram aveia preta e pensacola.

No crescimento inicial em campo, destacaram-se o feijão-de-porco, aveia preta, mucuna preta, feijão guandu, *c. ochroleuca* e *c. juncea*. As espécies de braquiárias, lablab, *c. brefiflora*, nabo forrageiro e colônio apresentaram a emergência mais tardia e muito desuniforme. As demais espécies como calopogônio, pensacola e jaraguá apresentaram baixa germinação. Os maiores valores de densidade populacional foram obtidos para os tratamentos B1M3, ASB e CM3.

Para as espécies como feijão-de-porco, feijão guandu, lablab, mucuna preta e nabo forrageiro não é recomendado o uso da manta do tipo sintemax, pela dificuldade, observada em campo, que essas espécies apresentaram em ultrapassar a manta.

Na emissão de flores e frutos, as espécies que se destacaram foram *c. juncea*, *c. ochroleuca*, feijão guandu, lablab, feijão-de-porco e aveia preta. As espécies *c. brefiflora*, mucuna preta e nabo forrageiro emitiram flores e frutos, porém, em baixa produtividade. As espécies colônio e braquiárias emitiram flores e frutos somente após 12 meses, correspondendo ao término de monitoramento da pesquisa.

Mucuna preta, lablab, nabo forrageiro e feijão-de-porco foram muito sensíveis à compactação. As braquiárias situaram-se em posição intermediária.

O feijão-de-porco, feijão guandu e *c. ochroleuca* apresentaram em suas raízes microorganismos simbiotes, sugerindo a adequabilidade dessas espécies ao ambiente estudado.

Considerando a capacidade de incorporação de matéria orgânica ao substrato, as espécies aveia preta, nabo forrageiro, mucuna preta e lablab apresentaram melhor desempenho.

A produção de raízes de 0 a 15 cm de profundidade no substrato em campo, está dentre os melhores métodos para avaliar a capacidade de adaptação de espécies vegetais em áreas

degradadas. As espécies leguminosas que se destacaram em densidade de raiz foram o feijão guandu e a c. juncea. Quanto às gramíneas tem-se a b. decumbens, b. humidicola e b. brizantha. A espécie colonião em comparação às demais espécies não atingiu alta densidade de raiz.

Para as parcelas que não utilizaram biomanta, as espécies de feijão-de-porco e c. breiflora foram as melhores em longevidade. As demais espécies como lablab, meloso, mucuna preta e nabo forrageiro apresentaram baixa resistência a este ambiente.

Em estudos realizados individualmente nas diferentes espécies vegetais, verificou-se que a produção de fitomassa da parte aérea das leguminosas foi superior à produção das espécies gramíneas. As espécies colonião e feijão guandu se destacaram como as de maior potencial para revegetação de cobertura final.

Na fase inicial do experimento, a mucuna preta e feijão guandu obtiveram os melhores resultados em acúmulo de fitomassa seca na parte aérea. As espécies lablab, feijão-de-porco e crotalárias obtiveram resultados intermediários.

Apesar das condições adversas, as espécies utilizadas mostraram grande potencial produtivo de fitomassa. Dentre todas as espécies de braquiárias estudadas, a que obteve menor produção foi a b. decumbens.

As leguminosas contribuíram bastante na estética do aterro, pois além de florir constantemente possuem crescimento padronizado.

Em relação aos diferentes tipos tratamentos, para os primeiros 30 dias, os maiores valores de fitomassa seca por área foram encontrados para o tratamento B1M1 e CM1, e os inferiores foram B2M3 e B2M2. Para os tratamentos que utilizaram a manta Sintemax, a melhor combinação para o acúmulo de fitomassa seca foi B2M1, sendo a mucuna preta a que mais destacou.

Pode-se verificar que após um período de 12 meses, os maiores teores de fitomassa por área foram alcançados pelos tratamentos B2M1, B1M1 e CM1 e os menores foram obtidos pelos tratamentos ASB, B2M3 e CM2.

As espécies que melhor se adaptaram a este ambiente e contribuíram para uma boa fitomassa foram àquelas pertencentes à mistura de espécies M1. Entre as espécies vegetais deste consórcio, a *c. breviflora* atingiu o menor porte. Entre as espécies da mistura M2, as que obtiveram bons resultados foram feijão guandu e *b. ruziziens*. As espécies pertencentes à mistura M3 germinaram em campo de forma dispersa.

Após sete meses de implantação do experimento, as maiores taxas de cobertura foram observadas nos tratamentos B1M1, B2M1 e CM1, e as menores taxas nos tratamentos B1M2, B2M2, B2M3 e ASB. Após um período de 12 meses verificou que os melhores resultados alcançados foram nos tratamentos B1M1, B2M1, CM1 e CM2.

6.3. Perda de solo

O substrato estudado apresentou um alto índice de erodibilidade e, conseqüentemente, uma baixa resistência à erosão.

Dentre os tratamentos que utilizaram biomanta, os que reduziram consideravelmente a perda de sedimentos foram aqueles onde se utilizou a tela do tipo Sintemax. Porém, a sua densidade de fibras dificultou o crescimento de algumas espécies vegetais.

O maior teor de perda de sedimentos, nas amostras avaliadas, deu-se nos tratamentos ASB e AP. Na área testemunho (AP), além de se observar erosão em sulcos, houve exposição de resíduos.

Nos tratamentos que receberam a tela vegetal do tipo B1, observou-se, além de boa redução da perda de substrato, uma boa incorporação superficial de resíduos orgânicos ao substrato. No entanto, sua eficiência em reter sedimentos foi inferior à manta do tipo B2.

A relação direta entre a erosividades das chuvas e a perda de solo foi confirmada pelos resultados observados.

Em virtude da elevada variabilidade dos resultados de perda de solo, o aumento do número de observações, ou seja, da quantidade de eventos de chuva, através de coletas sucessivas feitas ao longo dos anos, torna-se essencial para permitir uma análise mais detalhada.

6.4. Efeitos deletérios

Os principais efeitos deletérios observados durante o experimento foram o ataque de pragas (*Spodoptera frugiperda*) no início do crescimento das plantas, e no final ácaros brancos e *Atta laevigata* (saúva-da-mata).

Durante o recobrimento dos RSU houve um espalhamento destes resíduos sobre a vegetação dificultando o seu estabelecimento.

6.5. Custo

Os tratamentos utilizando manta biotêxtil apresentaram uma relação eficiência/custo alta. Para os tratamentos utilizando a biomanta sintemax, embora com um maior custo, os resultados de perdas de solo foram inferiores aos demais tratamentos.

As técnicas de revegetação ainda constituem um grande laboratório de tentativas, existindo uma grande especificidade para cada área a ser recomposta, sendo este, o único estudo utilizando diversas espécies em substrato de cobertura final de aterros sanitários.

6.6. Sugestão de critérios de implantação de camadas de cobertura final

6.6.1. Construção da camada de cobertura final

Dentre as características estudadas para a construção de sistemas de cobertura final, sugere-se a seleção de técnicas mais criteriosas a serem adotadas para camada superficial desse sistema, conforme descrito a seguir.

A camada superficial (topsoil) deve ser preparada para o estabelecimento de espécies vegetais. Portanto, em relação à sua composição química deve-se utilizar materiais de maior homogeneidade para aumentar a representatividade de amostras e facilitar posteriormente a sua correção de fertilidade. Utilizar materiais de determinada textura que tenham boa capacidade drenante, desde que não ocorra lixiviação de nutrientes e nem acumule água na superfície.

A espessura da camada vai variar com o tipo de espécie vegetal, ou seja, se forem espécies gramíneas em geral, implantar espessura mínima de 50 cm, se espécies leguminosas herbáceas, espessura de 60 cm, e leguminosas arbustivas, espessura de 80 cm.

As espessuras sugeridas são função do porte das raízes das diversas espécies e tem como objetivo impedir que o enraizamento penetre nas camadas inferiores do sistema de cobertura, o que pode comprometer o seu funcionamento. Espécies arbóreas não são recomendadas. É importante utilizar espécies de rápido crescimento para diminuir a perda deste material em épocas de chuvas ou implantar a vegetação com geossintéticos protetores.

Em relação aos materiais geossintéticos, é importante estabelecer como critérios de seleção a facilidade de crescimento das diversas espécies de plantas e sua capacidade de impedir o carreamento de sólidos durante os períodos intensos de chuva. De acordo com os estudos realizados com as mantas sintemax e biotêxtil, conclui-se que a manta ideal é aquela que possui uma densidade de matéria orgânica inferior à sintemax e superior à biotêxtil.

A compactação dessa camada deve ser realizada com equipamentos mais leves e não deve ser muito intensa, visando facilitar o enraizamento das espécies vegetais.

Para a construção da camada de proteção, caso se utilizem materiais com alta capacidade de retenção de água, deverá ser utilizada uma camada com espessura adequada à condição pluviométrica da região. Caso contrário, pode-se utilizar camada compacta com alta capacidade impermeabilizante mas que, não acumule água na camada de cobertura superficial.

A camada de proteção deve ser aquela que impeça a exposição do RSU às intempéries e o seu contato com sistema de raízes da vegetação.

A camada de drenagem deve ser construída para eliminar com maior eficiência possível os líquidos e gases que saem do sistema, sendo que a espessura varia com as condições de funcionamento do sistema de cobertura final. Esta camada não deve estar em contato com nenhum tipo de vegetação.

6.6.2. Revegetação da camada de cobertura final

A TAB. 6.1 descreve o comportamento das diferentes espécies vegetais utilizadas na pesquisa nos seus diferentes tratamentos, baseados em uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos.

TABELA 6.1 – Resultados gerais das espécies vegetais na cobertura final no ADRSU e Belo Horizonte – EV (espécie vegetal), TGL (Taxa de germinação em laboratório), DIC (Densidade Inicial em Campo). FAB (Facilidade de atravessar a biomanta), EFF (Emissão de flores e frutos), TF (Teor de fitomassa), PAP (Parte aérea da planta), DRP (Densidade de raiz da planta), CIMOS (Capacidade de incorporar M.O. ao solo), FS (Facilidade simbiótica).

EV	TGL	DIC	FAB		EFF	TF		CIMOS	FS
			B1	B2		PAP	DRP		
Leguminosas									
calopogônio	Amarelo	Vermelho	Verde						
feijão-de-porco	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Verde	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Verde
feijão guandu	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
c. ochroleuca	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde
c. juncea	Vermelho	Verde	Vermelho						
c. breiflora	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
mucuna preta	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho
nabo forrageiro	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Amarelo	Verde	Vermelho
lablab	Amarelo	Verde	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Amarelo	Verde	Vermelho
Gramíneas									
aveia preta	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Vermelho
b. brizantha	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho
b. decumbens	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho
b. humidicola	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho
b. ruziziens	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho
pensacola	Amarelo	Vermelho							
colonião	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Vermelho	Vermelho
jaraguá	Vermelho								
meloso	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
puerária	Vermelho								

Legenda: Alto Médio Baixo ou nenhum Planta morta

Com base nos resultados obtidos no experimento, pode-se verificar que as espécies de calopogônio, pensacola, jaraguá e puerária não são indicadas para utilização em camadas de cobertura final de ADRSU. As espécies de leguminosas como, feijão guandu, c. ochroleuca, c. juncea e c. breiflora são importantes para serem utilizadas no enriquecimento e recobrimento de substratos de cobertura final de ADRSU. As espécies gramíneas como b. decumbens, b. humidicola, b. ruziziens e colonião são indicadas tanto para recobrimento destes substratos quanto para o controle de erosão.

As espécies como *c. juncea*, *c. ochroleuca*, *c. breiflora*, aveia preta, colômbio, meloso, *b. humidicola*, *b. decumbens*, *b. ruziziens* e *b. brizantha* são indicadas para serem utilizadas em consórcios com as duas biomantas utilizadas na pesquisa.

A TAB. 6.2 descreve os desempenhos dos diferentes tratamentos utilizados na pesquisa, baseados em uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos.

TABELA 6.2 – Resultados gerais dos tratamentos experimentais no ADRSU de Belo Horizonte - Germinação inicial (GI), TFA (Teor de fitomassa por área), TCA (Taxa de cobertura por área) e RPS (Redução na perda de solo)

Tratamentos	GI	TFA		TCA		RPS
		Início	Final	Início	Final	
B1M1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
B1M2	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
B1M3	Alto	Alto	Médio	Médio	Médio	Alto
B2M1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
B2M2	Alto	Alto	Médio	Alto	Alto	Alto
B2M3	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
CM1	Médio	Médio	Alto	Médio	Alto	Alto
CM2	Médio	Médio	Médio	Médio	Alto	Alto
CM3	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio	Alto
ASB	Alto	Médio	Alto	Alto	Médio	Alto

Legenda: ■ Alto ■ Médio ■ Baixo

O principal tratamento experimental recomendado para maior recobrimento e acúmulo de fitomassa em taludes de ADRSU é o BIM1, que se caracteriza pelo uso da manta biotêxtil e espécies como *b. humidicola*, *b. brizantha*, colômbio, mucuna preta, *c. breiflora* e feijão-deporco. Este tratamento durante todo o período de monitoramento, em comparação aos demais se destacou em todos os parâmetros avaliados, com exceção da germinação inicial.

Embora as conclusões mencionadas reflitam as condições do experimento realizado, pode-se afirmar que as características do substrato avaliado reproduzem, de uma forma geral, as condições observadas em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil. A utilização dos critérios sugeridos deve se basear em estudos específicos para a área a ser recuperada.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como forma de dar continuidade ao trabalho desenvolvido, são apresentadas a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um adequado acompanhamento de adaptação de espécies vegetais em uma seqüência cronológica de maior período de tempo;
- Realizar um estudo mais aprofundado dos microorganismos associados às raízes das espécies de feijão-de-porco, feijão guandu e c. ochroleuca;
- Estabelecer um tipo de estudo de dosagens de adubos químicos e orgânicos para auxiliar no estabelecimento das espécies de plantas nas camadas de cobertura final;
- Realizar um estudo mais detalhado das principais influências do substrato nas espécies vegetais, como exemplo, os gases produzidos no aterro;
- Estabelecer um período de tempo maior de estudo dos consórcios das espécies vegetais para que expressem seus benefícios juntamente com as biomantas, ou seja, que atenda critérios geotécnicos e conservacionistas do solo;
- Realizar um aprofundamento do estudo das espécies vegetais brasileiras, buscando dados consistentes, sobre sua adaptação em camadas de cobertura final de aterros sanitários;
- Utilizar diversos tipos de geossintéticos existentes no mercado para ampliar os conhecimentos do consórcio entre espécies vegetais e biomantas;
- Realizar a análise química dos sedimentos que são carregados para o corpo d'água a fim de conhecer o aporte de nutrientes perdidos por área e em um intervalo de tempo;
- Avaliar o acúmulo de metais pesados no tecido das plantas para verificar possíveis interferências no seu crescimento e desenvolvimento;

- Realizar um estudo prolongado dos efeitos da erosividade na perda de solo.
- Utilizar métodos mais sofisticados como WEPP para a avaliação de perda de solo.
- Verificar o ganho de resistência dos solos em função da presença de raízes;
- Adequar o experimento à época correta de implantação da vegetação.

8. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459*: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6508*: Solo: Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm: Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180*: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181*: Análise Granulométrica: Terminologia. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10703*: Degradação do solo: Terminologia. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13896*: Aterros de resíduos não perigosos: Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10157*: Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419*: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ACCIOLY, A.M.A. Amenizantes e estratégias para o estabelecimento de vegetação em solos de áreas contaminadas por metais pesados. 2001. 186 f. (*Tese de Doutorado*). Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- ACCIOLY, A. M.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; AVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.299-352. 2000.
- AITA,C.;BASSO,C.J.;CERETTA,C.A.;GONÇALVES,C. N. & DA ROS,C.O.C. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 25, p.157-165, 2001.
- ALVARENGA, R. C. Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos. 1993. 112 f. (*Tese de Doutorado*). Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.10, p.273-277, 1986.
- ALVARENGA, R. C.; SANS, L. M. A.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região de Sete Lagoas. Sete Lagoas: ed 1. Sete Lagoas: EMBRAPA. (*Folheto*), 1998, n. 24. 8 p.
- ALBUQUERQUE, N.M. *Revised Universal Soil Loss Equation*. *Agronomy Technical Note: US Department of Agriculture*. Natural resources conservation service. n. 28. 2003.

- AMABILE, R. F.; FANCELLE, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 1. 2000.
- ANDRADE, J. C. M.; MAHLER, C. F. Avaliação de aspectos da fertilidade de metais tóxicos no solo de cobertura de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos visando sua vegetação. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, vitória. *Anais...* (CD ROM). Vitória: ABES, 2000.
- ANGULO, R. J.; ROLOGG, G.; SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n. 8, pg. 7 – 12. 1984.
- ASTM (1992). *Standard Test method for laboratory deter of water (Moisture) content of soil and rock*. D 2216, American Society For testing And Materials. 4p.
- BAKER, A. J. M. Accucmulators and escluders-strategies in the response of plantas to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 3, pg. 643 – 654, 1981.
- BENNIE, A. T. P. *Growth and mechanical impedance*. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. *Plant roots*. 2 ed. New York: M. Dekker, 1996. p. 453-470.
- BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n. 1, 2004.
- BERTOL, L.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações de erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, p.187-192, 1987.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. *Conservação do solo*. 1. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. de. F.; DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. de. C.; MEHL, H. U.; SANS, L. M.; PEIXOTO, R. T. dos. G.; Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em latossolo vermelho-escuro sob plantios de *E. dunnii*. <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/com_tec4.html>. (Comunicado Técnico). n. 04. Acesso em 25 de abril de 2004.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.4, p. 91 - 98, 1990.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo contaminado com metais pesados: efeito de misturas de espécies e inoculação com fungos micorrízicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1443-152, dez. 2001.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, nov. 2002.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de um Latossolo roxo, submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 14, p.99-105,1990.
- CASTRO, J. P. C. de. Reabilitação de áreas degradadas - aspectos legais. In: *Recuperação de áreas degradadas*. 1. ed. Viçosa: UFV, pg. 9-14. 1998. 251 p.

- CHAUDRI, A. M.; McGRATH, S. P.; GILLER, K. E.; RIETZ, E.; SAUERBECK, D. R. Enumeration of indigenous *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* in soil previously treated with metal-contaminated sewage sludge. *Soil Biol. Biochem.* v.25, pg 301-309, 1993.
- CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V.H.;FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. SBCS - UFV. Viçosa, p. 731-750. 1996.
- CODE OF FEDERAL REGULATIONS. 40 CFR 258 – Criteria for Municipal Solid Waste Landfills (Subpart C – Operating Criteria), Protection of Environment, The Office of the federal Register National Archives and Records Administration, U.S. Printing Office, Washington, D. C., U.S., pp.397-400, 2002.
- COELHO, A. T. Avaliação de efeitos do recobrimento orgânico nos processos erosivos laminares em talude de corte rodoviário na região de Ribeirão das Neves, MG. 1999. 170 f. *Dissertação* (Mestrado em Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- COELHO, A. T.; GALVÃO, T. C.B.; PEREIRA, A. R. The effects of vegetative cover in the erosion prevention of a road slope. *Environmental Management and Health*; v. 12, n. 1, 2001.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 27, p.743-753, 2003.
- COGO, N. P. Uma contribuição á metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I- Sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., passo fundo, 1978. *Anais*. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.75-97. 1978.
- COPPIN, R.; RICHARD, T. *Use of vegetation in civil engineering*. Sevenoaks, Kent: Butterworths. 1990. 305 p.
- CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. *Circular Técnica*. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas. 1995. 45 p.
- CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P.;HSU, F. C. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advance in Agronomy*, New york, v.56, p.55-114, 1996.
- D'AGOSTINI, L. R. *Erosão: o problema mais que o processo*. Ed. UFSC, Florianópolis. 1999. 131p.
- DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 5, n. 1, p. 133-137. 1981.
- DIAS-FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: *Recuperação de áreas degradadas*. ed.1. Viçosa: UFV, pg. 135-148. 1998. 251 p.
- DIAS, L. E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: *Recuperação de áreas degradadas*. ed.1. Viçosa: UFV, pg. 27-44. 1998. 251 p.
- DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: *Recuperação de áreas degradadas*. 1. ed. Viçosa: UFV, 1998. 251 p.

- DOELMAN, P. Resistance of soil microbial communities to heavy metals. In: JENSEN, V.; KJOLLER, A.; SORENSEN, L. H. *Microbial Communities in soil. England: Elsevier Applied Science Publishers*, 1985. p. 369-384.
- EINLOFT, R.; OZÓRIO, T. F.; SILVA JÚNIOR, W. M. da. Técnica de revegetação para recuperação de áreas degradadas. *Revista Ação Ambiental*, Viçosa, ano 2, n. 10, p.19-20. 2000.
- ELTROP, L.; BROWN, G.; JOACHIM, O.; BRINKMANN, K. Lead tolerance of betula and salix in the mining area of mechernich/Germany. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 131, n2, p. 279-285,1991.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2 ed. 1997. 212p.
- FAVARETTO, N. K.; MORAES, A. de; MOTTA, A. C. V.; PREVEDELLO, B. M. S. Efeito da revegetação e adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n.2, p.289-297, fev. 2000.
- FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; MCGREGOR, K. C.; BINGNER, R. L. *Revised Universal Soil Loss Equation.Version 2.(RUSLE2)*. USDA-Agricultural Research Service. USER'S GUIDE. Washington, D.C. December 31, 2002. 170 p.
- FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C.; MAGALHÃES, M. H. A.; BORGES, S. M. *Manual para normalização de publicações técnico-científicas*. 6. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2003. 230 p.
- FRANCO, A. A. Recuperação de áreas degradadas. In: *Anais*. REIS, M. G. F. I Encontro para conservação da natureza: Gestão Municipal. Viçosa. 1997. pg 195-201. 488 p.
- FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. *Fertilização em reflorestamento com espécies nativas*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 351-383.
- GARCIA, A.R.; MACHADO, C.C.; SILVA, E.; SOUZA, A.P. de. PEREIRA, R.S. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.4, p.535-542, 2003.
- GARCIA, L. F. Introdução e avaliação de leguminosas para adubação verde em solos arenosos de tabuleiros costeiros do Piauí. 2002. *Revista Faculdade de Agronomia*. Parnaíba. v. 28. pg 93-103. 2002.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O. CUBILLA, M. NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em mistura de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 27:325-334, 2003.
- GILL, M.; HAUSER, V. L.; HORIN, J. D.; WEAND, B. L.; CASAGRANDE, D. J. Landfill Remediation Project Manager's Handbook. Air Force Center for Environmental Excellence. Mitretek Systems Center for Science and Technology. McLean, Virginia, 1999. 148 p.
- GOMES, M. A. F.; BOEIRA, R. C.; S, M. D. “Estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho-Escuro da área experimental da EMBRAPA MEIO AMBIENTE: Subsídios de avaliação do comportamento físico do solo na presença de lodo de esgoto”. Disponível em http://www.cnpma.embrapa.br/download/estabilidade_de_agregados.pdf. Acesso em 25 abr, 2004.
- GRAY, D. H. SOTIR, R. B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. Canada. 1995. 378 p.

- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.
- HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C. & FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaça: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. n. 25. pg 331-340, 2001.
- IBAMA. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração*. Brasília, IBAMA, 96p. 1990.
- IPT. 2002.: *Manual de Gerenciamento Integrado - Lixo Municipal* -. IPT/CEMPRE, 2. ed, 2002. 392 p.
- IPT. 2000. *Manual de Gerenciamento Integrado - Lixo Municipal*.. IPT/CEMPRE, 2. ed, 2000. 370 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press, 1985.
- KOERNER, R. M.; DANIEL, D. E. *Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps*. 1. ed. Virginia: Asce press, 1997. 256 p.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Am. Stat. Assoc*, v. 47, pg. 583 – 621, 1952.
- LAL, R. *Soil erosion: research methods*. 2. ed. Florida: St. Lucie Press, 1994. 340 p.
- LEKHA, K. R. *Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – A case study*. Kerala, India: Centre for Water Resources Development and Management. Geotextiles and Geomembranes n.22. pg. 399-413. 2003.
- LEPSCH, I.; BELLINAZZI, J. R.; BERTOLLINI, D. ESPÍNOLA, C. R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no Sistema de Capacidade de Uso*. 4ª aproximação. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas: São Paulo. 1991.
- LIER, Q. de J. V.; ALBUQUERQUE, J. A. Novo método para calcular o diâmetro médio de agregados de solo.. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, n. 21. pg 699-705, 1997.
- LOPES, P. R.; COGO, N. P & LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, n. 11. pg 71-75, 1987.
- MACAGNAN, V. L. Variação da cobertura vegetal e seus reflexos na erosão superficial. 1990. 157 f. *Dissertação* (Mestrado em Ciências do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 1990.
- MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos*. Piracicaba: ProduQuímica, 1999. 153p.
- MARQUES, A. C. M. *Utilização de geossintéticos em Geotecnia Ambiental. Curso sobre aplicações de geossintéticos em geotecnia e meio ambiente*. São Paulo. 1998. 42 p.
- MELO, E. F. R. Q. Recuperação de área degradada da Itaipu Binacional com forrageiras e adubações. *Dissertação* (Mestrado em Ciências do solo) Foz do Iguaçu: CNPQ/Itaipu binacional, 1994. 159p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; AURAUJO, R. S. *Microrganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental*. 1. ed. Brasília: EMBRAPA-CNPPAF, 1994. 142 p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, O. S. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 1. ed. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

- MORGAN, R. P. C. RICKSON, R. J. *Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. Silsoe College, Cranfield University, UK. London: Chapman & Hall. 1995. 274 p.
- NASCIMENTO, P. C.; NETO, F. L. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 23, p.121-125, 1999.
- NETO, J. A. M. *Avaliação do uso de forrageiras e de adubações na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração do xisto*. Curitiba: UFPR, 1995. 83 p.
- NETO, J. T. P. *Manual de compostagem*. 1. ed. Viçosa: UFV. 1996. 56 p.
- NUERNBERG, N. J.; STAMMEL, J. G.; CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul-rio-grandense. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 10:185-190, 1986.
- OLIVEIRA, L. E. M. Análise de crescimento em plantas. Lavras. *Apostila de Aulas práticas*. UFLA. 2002. 8p.
- PAULA, J. L. de ; COELHO, M. A. Método para determinação da estabilidade de agregados em solos sódicos e salino-sódicos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 6, p.155-160, 1982.
- PEREIRA, A. R. Curso sobre erosão e controle de sedimentos: Especificações técnicas e guias de instalação. (*Folheto*). Belo Horizonte, 2003. 19 p.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidade de plantio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa. v. 28, n. 1, 2004.
- POLÍTICA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. *DECRETO 97.632*: Informação e documentação: referências: elaboração. Brasília. 10 de Abril. 1989.
- REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: *Recuperação de áreas degradadas*. 1 ed. Viçosa: UFV, pg. 163-176. 1998. 251 p.
- RESENDE, A. V.; KONDO, M. K. Lavras. In: *Recuperação de áreas degradadas. Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, v.22, n. 210, p. 46-56. 2001. 84 p.
- RESENDE, M.; CURI, N. REZENDE, S. B. de. CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 2 ed. Viçosa: NEPUT. 1997. 367 p.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G; V. ALVAREZ, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5ª Aproximação*: Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- RODRIGUES, F. C. M. P. *Manual de análise de sementes florestais*. 1. ed. Campinas: FUNDAÇÃO CARGILL, 1988. 100 p.
- RODRIGUES, R. R. Recuperação de Áreas: subsídios para definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. In: *Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, III. (palestra)*. Ouro Preto. MG. 1999.
- SANTIAGO, R. D.; SILVA, I. de. F. da. ANDRADE, A. P. de. Agregação do solo: Efeito de diferentes gramíneas na sua formação estabilização. In: *XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Agricultura e Sustentabilidade no Semi-Árido, (Resumos expandidos)*. SBCS – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 1998.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I-Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 24, p.427-436, 2000.

- SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L.; BRUM, C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão e, sistemas de culturas em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, Campinas. v. 21, p.287-291, 1997.
- SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. de. S. Guandu: planta forrageira para a produção de proteína. Campo Grande. EMBRAPA: CNPQC. (*Comunicado Técnico*). n. 21. 1983. 4p.
- SHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. de.; MAIA, M. de. S. Vigor de semente e análise de crescimento de aveia preta. *Revista Scientia Agrícola*. Pelotas: UFPel. v. 57, n. 2, p.305-312. 2000.
- SILVA, A. M. da.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: ed. RiMa, 2004. 140p.
- SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes*. EMBRAPA Solos: Brasília, DF, 1999. 370 p.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 21, p.113-117, 1997.
- SILVA, E. T. da.; LEMOS, C. R. de.; LOYOLA, J. M. R.; FRANCO, M. R.; MORAES, P. E. S. CHAMECKI, P. R. Compostagem como alternativa para o tratamento de lixo orgânico domiciliar e recuperação de áreas degradadas. In: Recuperação de áreas degradadas. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, v.22, n. 210, pg. 77-84. 2001. 84 p
- SILVA, M. L. N.; CURI, N. LIMA, J. M.de; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.35, n.6, pg. 1207 – 1220. 2000.
- SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. In: Recuperação de áreas degradadas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, pg. 18-26, 2001.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. *Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perceptivas*. 1. ed. Brasília: FAEPE-ABEAS, 1998. 235 p.
- SMLU 2003. *Relatório mensal de caracterização de composto orgânico do aterro sanitário de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, dezembro. 2003.
- SOUZA, C. R. de. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. *Revista Scientia Florestalis*. Piracicaba: ESALQ/USP. n. 60, pg.45-51. 2001.
- SOUSA, H. A. de.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. de. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – MG. Ouro Preto. *Revista da escola de Minas*. v.55(4). pg. 291-300.2002.
- STOCKING, M. *Modelagem de perdas de solo: Sugestões para uma aproximação brasileira*. Brasília: Secretaria Nacional de Produção Agropecuária, Secretaria de Recursos Naturais, 1985. 92 p.
- WILCOXON, F. *Individual comparisons by ranking methods*. *Biometrics Bull*. V.1, pg. 80 – 83, 1945.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. (*Agricultural Handbook, 537*). Washington, USDA, 1978. 58p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. *Rainfall energy and its relationships to soil loss*. *Trans. Am. Geoph. Union*, 39:285-291, 1958.

WUTKE, E.B.; VILA, J.C.; PEREIRA, N.A.; AMBROSANO, G.M.B. Sucessão de culturas aumenta rendimento do feijoeiro irrigado no Nordeste paulista. <<http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/55/paginas10a13.pdf>>. Campinas, n. 55. 2003.

ZACHAR, D. *Soil erosion. Development in Soil Science 10*. Elsevier Scientific Publishing Company, Bratislava, Czechoslovakia, 1982.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, Madison, 28: 337 – 351, 1936.

9. ANEXOS

Planilha 1 - Resultados da análise química do substrato (metais pesados)

Talude	Profundidade (cm)	Cd	Cr	Cu	Ni
1	0 - 20	1	50,9	10,1	14,7
1	40 -60	1	39,8	15,5	15,3
2	0 - 20	1	27,5	13,1	9,66
2	40 -60	1	35,9	14	12,9
3	0 - 20	1	35,4	20,2	17,4
3	40 -60	1	69,1	19,6	26
4	0 - 20	1	17,1	10,8	9,2
4	40 -60	1	51,6	16,3	17,1
5	0 - 20	1	22,6	10,6	13,3
5	40 -60	1	44,4	29	15,7
6	0 - 20	1	30,7	19,4	13,4
6	40 -60	1	40,2	15,5	14,5

Talude	Profundidade (cm)	Pb	Zn	Hg
1	0 - 20	62,6	63,4	20
1	40 -60	81,3	73,5	85
2	0 - 20	105,7	64,8	56,8
2	40 -60	89,2	79,8	57,6
3	0 - 20	72,6	64,2	36,1
3	40 -60	76,1	70,7	107,8
4	0 - 20	67,6	43	28,6
4	40 -60	88,1	59,6	107,7
5	0 - 20	73,5	49,2	20
5	40 -60	89,4	79,5	93,2
6	0 - 20	84	79,5	93,2
6	40 -60	65,9	64,4	101,2

Planilha 2 - Tabela de taxa de cobertura em outubro de 2004

Trat	Parcela	Repet	Cobert												
B1M1	1	1	100,00	B1M3	2	5	36,67	B2M3	1	4	17,22	CM2	3	3	26,11
B1M1	1	2	100,00	B1M3	3	1	63,33	B2M3	1	5	20,11	CM2	3	4	10,78
B1M1	1	3	69,78	B1M3	3	2	1,33	B2M3	2	1	11,44	CM2	3	5	37,11
B1M1	1	4	79,78	B1M3	3	3	56,22	B2M3	2	2	95,67	CM3	1	1	4,67
B1M1	1	5	94,78	B1M3	3	4	16,33	B2M3	2	3	9,56	CM3	1	2	20,67
B1M1	2	1	35,56	B1M3	3	5	80,22	B2M3	2	4	77,22	CM3	1	3	3,00
B1M1	2	2	11,00	B2M1	1	1	100,00	B2M3	2	5	5,00	CM3	1	4	10,33
B1M1	2	3	59,56	B2M1	1	2	100,00	B2M3	3	1	9,22	CM3	1	5	6,33
B1M1	2	4	24,78	B2M1	1	3	97,89	B2M3	3	2	3,56	CM3	2	1	53,89
B1M1	2	5	2,78	B2M1	1	4	66,44	B2M3	3	3	1,11	CM3	2	2	9,33
B1M1	3	1	97,11	B2M1	1	5	100,00	B2M3	3	4	3,56	CM3	2	3	12,56
B1M1	3	2	7,78	B2M1	2	1	16,33	B2M3	3	5	1,22	CM3	2	4	50,00
B1M1	3	3	37,00	B2M1	2	2	12,22	CM1	1	1	67,22	CM3	2	5	30,78
B1M1	3	4	6,11	B2M1	2	3	17,78	CM1	1	2	83,11	CM3	3	1	6,11
B1M1	3	5	18,56	B2M1	2	4	20,22	CM1	1	3	60,56	CM3	3	2	1,11
B1M2	1	1	14,44	B2M1	2	5	36,67	CM1	1	4	16,75	CM3	3	3	36,67
B1M2	1	2	3,00	B2M1	3	1	39,00	CM1	1	5	74,56	CM3	3	4	7,56
B1M2	1	3	27,78	B2M1	3	2	15,00	CM1	2	1	38,89	CM3	3	5	77,44
B1M2	1	4	3,33	B2M1	3	3	60,56	CM1	2	2	39,11	AP1	1	1	61,44
B1M2	1	5	6,89	B2M1	3	4	19,22	CM1	2	3	32,78	AP1	1	2	10,22
B1M2	2	1	19,11	B2M1	3	5	84,56	CM1	2	4	45,56	AP1	1	3	7,78
B1M2	2	2	63,00	B2M2	1	1	11,11	CM1	2	5	60,67	AP1	1	4	5,00
B1M2	2	3	5,00	B2M2	1	2	7,78	CM1	3	1	60,00	AP1	1	5	51,67
B1M2	2	4	19,11	B2M2	1	3	11,33	CM1	3	2	59,44	AP1	2	1	1,11
B1M2	2	5	1,33	B2M2	1	4	1,44	CM1	3	3	19,67	AP1	2	2	0,00
B1M2	3	1	5,00	B2M2	1	5	0,67	CM1	3	4	47,78	AP1	2	3	2,22
B1M2	3	2	0,56	B2M2	2	1	16,33	CM1	3	5	43,89	AP1	2	4	1,11
B1M2	3	3	26,11	B2M2	2	2	2,11	CM2	1	1	100,00	AP1	2	5	23,00
B1M2	3	4	10,78	B2M2	2	3	37,00	CM2	1	2	83,44	AP1	3	1	7,89
B1M2	3	5	75,22	B2M2	2	4	0,00	CM2	1	3	19,67	AP1	3	2	5,78
B1M3	1	1	1,00	B2M2	2	5	6,33	CM2	1	4	52,78	AP1	3	3	3,56
B1M3	1	2	1,67	B2M2	3	1	9,11	CM2	1	5	11,33	AP1	3	4	6,11
B1M3	1	3	26,56	B2M2	3	2	1,11	CM2	2	1	5,67	AP1	3	5	2,22
B1M3	1	4	16,22	B2M2	3	3	29,11	CM2	2	2	25,78				
B1M3	1	5	52,00	B2M2	3	4	0,22	CM2	2	3	4,11				
B1M3	2	1	30,22	B2M2	3	5	0,78	CM2	2	4	12,89				
B1M3	2	2	65,67	B2M3	1	1	1,44	CM2	2	5	24,11				
B1M3	2	3	76,22	B2M3	1	2	20,22	CM2	3	1	66,33				
B1M3	2	4	33,89	B2M3	1	3	5,33	CM2	3	2	38,89				

Planilha 3 - Tabela de taxa de cobertura em março de 2005

Trat	Parcela	Repet	Cobert												
B1M1	1	1	100,00	B1M3	2	5	94,22	B2M3	1	4	97,22	CM2	3	3	48,33
B1M1	1	2	100,00	B1M3	3	1	71,11	B2M3	1	5	80,56	CM2	3	4	100,00
B1M1	1	3	83,67	B1M3	3	2	12,78	B2M3	2	1	90,00	CM2	3	5	73,89
B1M1	1	4	79,78	B1M3	3	3	64,44	B2M3	2	2	100,00	CM3	1	1	29,44
B1M1	1	5	93,89	B1M3	3	4	56,11	B2M3	2	3	87,33	CM3	1	2	35,56
B1M1	2	1	40,56	B1M3	3	5	70,00	B2M3	2	4	69,44	CM3	1	3	22,44
B1M1	2	2	41,67	B2M1	1	1	100,00	B2M3	2	5	23,11	CM3	1	4	41,67
B1M1	2	3	54,44	B2M1	1	2	100,00	B2M3	3	1	27,44	CM3	1	5	24,44
B1M1	2	4	26,67	B2M1	1	3	100,00	B2M3	3	2	51,67	CM3	2	1	71,67
B1M1	2	5	21,11	B2M1	1	4	100,00	B2M3	3	3	21,67	CM3	2	2	36,67
B1M1	3	1	99,78	B2M1	1	5	100,00	B2M3	3	4	42,22	CM3	2	3	43,33
B1M1	3	2	32,22	B2M1	2	1	76,56	B2M3	3	5	44,67	CM3	2	4	75,56
B1M1	3	3	84,44	B2M1	2	2	40,00	CM1	1	1	100,00	CM3	2	5	61,67
B1M1	3	4	59,44	B2M1	2	3	7,89	CM1	1	2	100,00	CM3	3	1	16,11
B1M1	3	5	68,33	B2M1	2	4	36,33	CM1	1	3	72,78	CM3	3	2	13,33
B1M2	1	1	30,00	B2M1	2	5	50,56	CM1	1	4	67,78	CM3	3	3	64,44
B1M2	1	2	5,00	B2M1	3	1	76,33	CM1	1	5	98,89	CM3	3	4	70,00
B1M2	1	3	65,56	B2M1	3	2	74,22	CM1	2	1	62,78	CM3	3	5	89,44
B1M2	1	4	41,67	B2M1	3	3	100,00	CM1	2	2	73,89	AP	1	1	95,00
B1M2	1	5	44,44	B2M1	3	4	52,00	CM1	2	3	32,78	AP	1	2	52,78
B1M2	2	1	60,00	B2M1	3	5	84,56	CM1	2	4	68,33	AP	1	3	27,78
B1M2	2	2	100,00	B2M2	1	1	35,56	CM1	2	5	83,33	AP	1	4	60,89
B1M2	2	3	17,78	B2M2	1	2	33,89	CM1	3	1	90,56	AP	1	5	90,33
B1M2	2	4	40,22	B2M2	1	3	17,56	CM1	3	2	67,22	AP	2	1	7,78
B1M2	2	5	11,33	B2M2	1	4	9,89	CM1	3	3	61,11	AP	2	2	0,00
B1M2	3	1	13,89	B2M2	1	5	17,67	CM1	3	4	95,56	AP	2	3	2,78
B1M2	3	2	2,22	B2M2	2	1	82,22	CM1	3	5	92,11	AP	2	4	1,67
B1M2	3	3	65,56	B2M2	2	2	17,22	CM2	1	1	100,00	AP	2	5	20,56
B1M2	3	4	58,33	B2M2	2	3	94,22	CM2	1	2	100,00	AP	3	1	0,89
B1M2	3	5	78,33	B2M2	2	4	4,67	CM2	1	3	73,89	AP	3	2	5,89
B1M3	1	1	64,44	B2M2	2	5	29,11	CM2	1	4	77,22	AP	3	3	6,44
B1M3	1	2	15,56	B2M2	3	1	33,89	CM2	1	5	28,89	AP	3	4	13,22
B1M3	1	3	76,11	B2M2	3	2	1,11	CM2	2	1	29,44	AP	3	5	14,67
B1M3	1	4	52,22	B2M2	3	3	60,56	CM2	2	2	45,56				
B1M3	1	5	66,67	B2M2	3	4	10,78	CM2	2	3	4,11				
B1M3	2	1	44,44	B2M2	3	5	27,89	CM2	2	4	54,44				
B1M3	2	2	54,44	B2M3	1	1	57,22	CM2	2	5	75,56				
B1M3	2	3	82,22	B2M3	1	2	65,00	CM2	3	1	100,00				
B1M3	2	4	85,00	B2M3	1	3	82,78	CM2	3	2	100,00				

Planilha 4 - Caracterização física do solo (ASTM)

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	GRANULOMETRIA					Classificação (ASTM)
				% Pedr	% Areia	% Silte	% Argila	Grupo	
AP2-T	36	24	12	10,7	45,8	25,5	18,0	SC	Areia argilosa
AP2-M	41	30	11	1,9	36,2	41,6	20,3	ML	Silte arenoso
AP2-B	36	24	12	5,8	40,5	31,9	21,8	CL	Argila pouco plástica arenosa
B2M22-T	35	22	13	8,9	44,8	23,2	23,1	SC	Areia argilosa
B2M22-M	34	20	14	7,5	46,0	21,8	24,7	SC	Areia argilosa
B2M22-B	35	23	12	9,5	44,8	24,9	20,8	SC	Areia argilosa
B1M12-T	29	15	14	4,3	55,2	30,2	10,3	SP-SC	Areia mal graduada com argila
B1M12-M	32	20	12	4,3	47,5	25,3	22,9	SC	Areia argilosa
B1M12-B	33	19	14	5,2	44,9	34,7	15,2	SC	Areia argilosa
CM32-T	35	19	16	4,3	47,1	27,8	20,8	SC	Areia argilosa
CM32-M	37	26	11	12,0	43,6	24,0	20,4	SC	Areia argilosa
CM32-B	40	27	13	5,6	47,2	25,5	21,7	SC	Areia argilosa
B1M32-T	38	27	11	6,2	48,2	27,3	18,3	SC	Areia argilosa
B1M32-M	33	21	12	2,0	49,1	27,0	21,9	SC	Areia argilosa
B1M32-B	37	24	13	4,3	48,9	25,8	21,0	SC	Areia argilosa
B2M32-T	38	24	14	7,1	44,4	33,3	15,2	SC	Areia argilosa
B2M32-M	37	21	16	7,2	44,8	32,1	15,9	SC	Areia argilosa
B2M32-B	37	20	17	8,5	43,0	31,4	17,1	SC	Areia argilosa
B1M22-T	37	25	12	7,1	45,9	25,1	21,9	SC	Areia argilosa
B1M22-M	39	24	15	8,6	42,1	28,4	20,9	SC	Areia argilosa
B1M22-B	40	21	19	8,3	44,3	28,0	19,4	SC	Areia argilosa
CM22-T	39	28	11	6,9	42,1	33,8	17,2	ML	Silte arenoso
CM22-M	43	32	11	4,4	44,3	33,3	18,0	ML	Silte arenoso
CM22-B	35	20	15	2,4	41,6	35,9	20,1	CL	Argila pouco plástica arenosa
CM11-T	33	23	10	14,8	48,4	26,5	10,3	SW-SC	Areia bem graduada com argila
CM11-M	39	25	14	3,8	42,5	32,7	21,0	CL	Argila pouco plástica arenosa
CM11-B	38	24	14	6,6	49,1	26,6	17,7	SC	Areia argilosa
AP1-T	37	27	10	9,9	49,4	24,7	16,0	SM	Areia siltosa
AP1-M	38	28	10	6,5	47,4	26,7	19,4	SM	Areia siltosa
AP1-B	38	26	12	6,8	42,0	27,2	24,0	CL	Argila pouco plástica arenosa
CM23-T	34	24	10	4,1	43,9	32,9	19,1	CL	Argila pouco plástica arenosa
CM23-M	39	24	15	1,6	40,4	33,2	24,8	CL	Argila pouco plástica arenosa
CM23-B	42	29	13	1,8	43,2	35,9	19,1	ML	Silte arenoso
Mínimo	29,00	15,00	10,00	1,60	36,20	21,80	10,30		
Mediana	37,00	24,00	12,50	6,35	44,80	27,55	19,75		
Méida	36,79	23,82	12,97	6,33	45,11	29,22	19,34		
Máximo	43,00	32,00	19,00	14,80	55,20	41,60	24,80		
Sd	3,00	3,63	2,17	3,06	3,50	4,53	3,47		
variação	8,15	15,23	16,75	48,41	7,76	15,50	17,92		

Planilha 5 - Caracterização física do solo (USDA)

Amostra	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	Índice de vazios	Porosidade (%)	Granulometria			M	Fator k
						% areia	% silte	% argila		
AP2-T	1,37	1,25	2,55	1,04	51,06	43,00	28,00	18,00	2296,00	0,17
AP2-M	1,80	1,67	2,53	0,51	33,98	35,00	44,00	20,30	3506,80	0,26
AP2-B	1,57	1,42	2,61	0,83	45,49	38,00	30,00	21,80	2346,00	0,17
B2M22-T	1,70	1,61	2,59	0,61	37,93	41,00	27,00	23,10	2076,30	0,16
B2M22-M	1,56	1,50	2,61	0,74	42,56	42,00	25,00	24,70	1882,50	0,14
B2M22-B	1,67	1,59	2,59	0,63	38,70	39,00	27,00	20,80	2138,40	0,16
B1M12-T	1,60	1,50	2,62	0,75	42,91	52,00	32,00	10,30	2870,40	0,21
B1M12-M	1,73	1,57	2,56	0,63	38,80	44,00	29,00	22,90	2235,90	0,17
B1M12-B	1,29	1,19	2,59	1,17	53,87	42,00	37,00	15,20	3137,60	0,23
CM32-T	1,30	1,18	2,60	1,19	54,43	47,00	35,00	20,80	2772,00	0,20
CM32-M	1,36	1,26	2,63	1,09	52,14	39,00	27,00	20,40	2149,20	0,16
CM32-B	1,54	1,38	2,62	0,90	47,27	42,00	30,00	21,70	2349,00	0,17
B1M32-T	1,31	1,20	2,61	1,17	53,95	42,00	30,00	18,30	2451,00	0,18
B1M32-M	1,57	1,53	2,60	0,70	41,02	43,00	31,00	21,90	2421,10	0,18
B1M32-B	1,76	1,62	2,62	0,62	38,30	46,00	28,00	21,00	2212,00	0,17
B2M32-T	1,41	1,40	2,48	0,77	43,59	40,00	35,00	15,20	2968,00	0,22
B2M32-M	1,82	1,81	2,60	0,44	30,52	40,00	34,00	15,90	2859,40	0,21
B2M32-B	1,51	1,50	2,58	0,72	41,85	38,00	34,00	17,10	2818,60	0,21
B1M22-T	1,44	1,43	2,61	0,82	45,10	39,00	28,00	21,90	2186,80	0,16
B1M22-M	1,76	1,75	2,59	0,48	32,60	35,00	30,00	20,90	2373,00	0,18
B1M22-B	1,53	1,52	2,62	0,72	41,93	38,00	31,00	19,40	2498,60	0,19
CM22-T	1,53	1,36	2,61	0,92	47,98	37,00	37,00	17,20	3063,60	0,23
CM22-M	1,26	1,12	2,59	1,32	56,82	41,00	36,00	18,00	2952,00	0,22
CM22-B	1,62	1,40	2,65	0,89	47,01	38,00	39,00	20,10	3116,10	0,23
CM11-T	1,55	1,46	2,66	0,82	45,02	42,00	29,00	10,30	2601,30	0,19
CM11-M	1,92	1,82	2,61	0,43	30,17	40,00	35,00	21,00	2765,00	0,20
CM11-B	1,80	1,75	2,60	0,49	32,66	45,00	29,00	17,70	2386,70	0,18
AP1-T	1,75	1,63	2,64	0,62	38,36	43,00	28,00	16,00	2352,00	0,17
AP1-M	1,80	1,67	2,64	0,59	36,92	42,00	30,00	19,40	2418,00	0,18
AP1-B	1,47	1,34	2,60	0,94	48,55	33,00	30,00	24,00	2280,00	0,17
CM23-T	1,44	1,32	2,64	1,01	50,14	44,00	36,00	19,10	2912,40	0,22
CM23-M	1,76	1,56	2,63	0,68	40,54	37,00	37,00	24,80	2782,40	0,21
CM23-B	1,53	1,39	2,59	0,86	46,22	39,00	40,00	19,10	3236,00	0,24
Mínimo	1,26	1,12	2,48	0,43	30,17	33,00	25,00	10,30	1882,50	0,14
Mediana	1,56	1,50	2,61	0,75	42,91	41,00	30,00	20,10	2451,00	0,18
Média	1,58	1,48	2,60	0,79	43,29	40,79	32,06	19,34	2588,31	0,19
Máximo	1,92	1,82	2,66	1,32	56,82	52,00	44,00	24,80	3506,80	0,26
sd	0,18	0,19	0,03	0,23	7,17	3,77	4,47	3,47	389,93	0,03
variação	11,33	12,58	1,34	29,36	16,56	9,25	13,95	17,92	15,07	14,62

Planilha 6 - Cálculo da intensidade de chuva (evento 1 - 28/11/2004)

Hora - dia	Tempo (min)	Acumulado (min)	Intervalo PP	Acumul PP	Intensidade	energia	Intrevalo ener
23--1	120,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	240,00	0,20	0,20	0,10	0,081	0,02
3--5	120,00	360,00	0,30	0,50	0,15	0,080	0,02
5--7	120,00	480,00	1,60	2,10	0,80	0,076	0,12
7--9	120,00	600,00	0,60	2,70	0,30	0,079	0,05
9--11	120,00	720,00	0,20	2,90	0,10	0,081	0,02
11--13	120,00	840,00	0,00	2,90	0,00	0,081	0,00
13--15	120,00	960,00	0,00	2,90	0,00	0,081	0,00
15--17	120,00	1080,00	0,00	2,90	0,00	0,081	0,00
17--19	120,00	1200,00	0,00	2,90	0,00	0,081	0,00
19--21	120,00	1320,00	14,60	17,50	7,30	0,045	0,65
21--23	120,00	1440,00	2,80	20,30	1,40	0,072	0,20
23--1	120,00	1560,00	0,00	20,30	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	1680,00	0,00	20,30	0,00	0,081	0,00
3--5	120,00	1800,00	0,00	20,30	0,00	0,081	0,00
5--7	120,00	1920,00	0,00	20,30	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	2040,00	2,20	22,50	1,10	0,074	0,16
9--11	120,00	2160,00	0,50	23,00	0,25	0,080	0,04
11--13	120,00	2280,00	0,00	23,00	0,00	0,081	0,00
13--15	120,00	2400,00	0,00	23,00	0,00	0,081	0,00
15--17	120,00	2520,00	6,50	29,50	3,25	0,062	0,40
17--19	120,00	2640,00	6,80	36,30	3,40	0,061	0,42
19--21	120,00	2760,00	0,00	36,30	0,00	0,081	0,00
21--23	120,00	2880,00	0,00	36,30	0,00	0,081	0,00
soma			36,30				2,10

Planilha 7 - Cálculo da perda de solo calculado e observado (evento 1 - 28/11/2004)

Parc	R	K	LS	C	P	Perda (calc.)	Área parc	vol esco	solo sec alíquot	g/bombona	kg/área parc	kg/ha
B1M11	15,230	0,192	11,210	0,005	0,100	0,016	68,000	11,000	1,000	22,0000	0,022	3,235
B1M12	15,230	0,192	11,210	0,039	0,050	0,064	68,000	50,000	0,720	72,0000	0,072	10,588
B1M13	15,230	0,192	11,210	0,055	0,050	0,090	68,000	6,000	2,070	24,8400	0,02484	3,653
B1M21	15,230	0,192	11,210	0,055	0,050	0,090	68,000	36,500	1,240	90,5200	0,09052	13,312
B1M22	15,230	0,192	11,210	0,110	0,050	0,180	68,000	47,000	2,380	223,7200	0,22372	32,900
B1M23	15,230	0,192	11,210	0,038	0,050	0,062	68,000	4,000	0,740	5,9200	0,00592	0,871
B1M31	15,230	0,192	11,210	0,040	0,050	0,066	68,000	27,500	1,420	78,1000	0,0781	11,485
B1M32	15,230	0,192	11,210	0,005	0,050	0,008	68,000	5,500	0,440	4,8400	0,00484	0,712
B1M33	15,230	0,192	11,210	0,020	0,050	0,033	68,000	50,000	0,940	94,0000	0,094	13,824
B2M11	15,230	0,192	11,210	0,005	0,050	0,008	68,000	4,000	0,850	6,8000	0,0068	1,000
B2M12	15,230	0,192	11,210	0,009	0,050	0,015	68,000	50,000	0,390	39,0000	0,039	5,735
B2M13	15,230	0,192	11,210	0,020	0,050	0,033	68,000	45,000	0,390	35,1000	0,0351	5,162
B2M21	15,230	0,192	11,210	0,095	0,050	0,156	68,000	46,500	1,070	99,5100	0,09951	14,634
B2M22	15,230	0,192	11,210	0,022	0,050	0,036	68,000	1,500	0,280	0,8400	0,00084	0,124
B2M23	15,230	0,192	11,210	0,110	0,050	0,180	68,000	3,000	0,440	2,6400	0,00264	0,388
B2M31	15,230	0,192	11,210	0,025	0,050	0,041	68,000	50,000	0,290	29,0000	0,029	4,265
B2M32	15,230	0,192	11,210	0,011	0,050	0,018	68,000	47,000	0,880	82,7200	0,08272	12,165
B2M33	15,230	0,192	11,210	0,020	0,050	0,033	68,000	50,000	0,340	34,0000	0,034	5,000
CM11	15,230	0,192	11,210	0,005	0,050	0,008	68,000	5,000	0,650	6,5000	0,0065	0,956
CM12	15,230	0,192	11,210	0,015	0,050	0,025	68,000	50,000	1,290	129,0000	0,129	18,971
CM13	15,230	0,192	11,210	0,010	0,050	0,016	68,000	31,000	0,320	19,8400	0,01984	2,918
CM21	15,230	0,192	11,210	0,009	0,050	0,015	61,000	42,000	0,720	60,4800	0,06048	9,915
CM22	15,230	0,192	11,210	0,033	0,050	0,054	61,000	50,000	1,460	146,0000	0,146	23,934
CM23	15,230	0,192	11,210	0,019	0,050	0,031	61,000	8,000	1,950	31,2000	0,0312	5,115
CM31	15,230	0,192	11,210	0,013	0,050	0,021	61,000	7,000	0,680	9,5200	0,00952	1,561
CM32	15,230	0,192	11,210	0,011	0,050	0,018	61,000	6,000	0,820	9,8400	0,00984	1,613
CM33	15,230	0,192	11,210	0,012	0,050	0,020	61,000	50,000	1,290	129,0000	0,129	21,148
ASB1	15,230	0,192	11,210	0,180	0,800	4,720	68,000	45,500	4,660	424,0600	0,42406	62,362
ASB2	15,230	0,192	11,210	0,300	0,800	7,867	61,000	50,000	432,860	43286,0000	43,286	7096,066
ASB3	15,230	0,192	11,210	0,250	0,800	6,556	68,000	10,500	4,950	103,9500	0,10395	15,287
AP1	15,230	0,192	11,210	1,000	1,300	42,614	68,000	48,000	31,630	3036,4800	3,03648	446,541
AP2	15,230	0,192	11,210	1,000	1,300	42,614	68,000	50,000	400,580	40058,0000	40,058	5890,882
AP3	15,230	0,192	11,210	1,000	1,300	42,614	68,000	50,000	97,840	9784,0000	9,784	1438,824

Planilha 8 - Cálculo da intensidade de chuva (evento 2 - 06/12/2004)

Hora - dia	Tempo (min)	Acumulado (min)	Intervalo PP	Acumul PP	Intensidade	energia	Intrevalo ener
23--1	120,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	240,00	4,20	4,20	2,10	0,068	0,29
3--5	120,00	360,00	4,00	8,20	2,00	0,069	0,28
5--7	120,00	480,00	0,00	8,20	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	600,00	0,00	8,20	0,00	0,081	0,00
9--11	120,00	720,00	0,00	8,20	0,00	0,081	0,00
11--13	120,00	840,00	0,00	8,20	0,00	0,081	0,00
13--15	120,00	960,00	0,00	8,20	0,00	0,081	0,00
15--17	120,00	1080,00	26,20	34,40	13,10	0,028	0,73
17--19	120,00	1200,00	16,70	51,10	8,35	0,041	0,68
19--21	120,00	1320,00	2,60	53,70	1,30	0,073	0,19
21--23	120,00	1440,00	0,30	54,00	0,15	0,080	0,02
23--1	120,00	1560,00	3,40	57,40	1,70	0,071	0,24
1--3	120,00	1680,00	3,10	60,50	1,55	0,072	0,22
3--5	120,00	1800,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
5--7	120,00	1920,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	2040,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
9--11	120,00	2160,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
11--13	120,00	2280,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
13--15	120,00	2400,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
15--17	120,00	2520,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
17--19	120,00	2640,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
19--21	120,00	2760,00	0,00	60,50	0,00	0,081	0,00
21--23	120,00	2880,00	12,60	73,10	6,30	0,048	0,61
soma			73,10				3,26

Planilha 9 - Cálculo da perda de solo calculado e observado (evento 2 - 06/12/2004)

Parc	R	K	LS	C	P	Perda (calc.)	Área parc	vol esco	solo sec alíquot	g/bombona	kg/área parc	kg/ha
B1M11	48,900	0,192	11,210	0,005	0,050	0,026	68	50	0,3	30,000	0,030	4,412
B1M12	48,900	0,192	11,210	0,039	0,050	0,205	68	50	2,17	217,000	0,217	31,912
B1M13	48,900	0,192	11,210	0,055	0,050	0,289	68	50	2,56	256,000	0,256	37,647
B1M21	48,900	0,192	11,210	0,055	0,050	0,289	68	50	1,11	111,000	0,111	16,324
B1M22	48,900	0,192	11,210	0,110	0,050	0,579	68	50	5,63	563,000	0,563	82,794
B1M23	48,900	0,192	11,210	0,038	0,050	0,200	68	27,5	0,63	34,650	0,035	5,096
B1M31	48,900	0,192	11,210	0,040	0,050	0,210	68	50	1,26	126,000	0,126	18,529
B1M32	48,900	0,192	11,210	0,005	0,050	0,026	68	50	0,59	59,000	0,059	8,676
B1M33	48,900	0,192	11,210	0,020	0,050	0,105	68	50	0,92	92,000	0,092	13,529
B2M11	48,900	0,192	11,210	0,005	0,050	0,026	68	50	1,67	167,000	0,167	24,559
B2M12	48,900	0,192	11,210	0,009	0,050	0,047	68	50	0,56	56,000	0,056	8,235
B2M13	48,900	0,192	11,210	0,020	0,050	0,105	68	50	0,45	45,000	0,045	6,618
B2M21	48,900	0,192	11,210	0,095	0,050	0,500	68	50	1,46	146,000	0,146	21,471
B2M22	48,900	0,192	11,210	0,022	0,050	0,116	68	50	0,88	88,000	0,088	12,941
B2M23	48,900	0,192	11,210	0,110	0,050	0,579	68	17,5	0,95	33,250	0,033	4,890
B2M31	48,900	0,192	11,210	0,025	0,050	0,132	68	25	0,51	25,500	0,026	3,750
B2M32	48,900	0,192	11,210	0,011	0,050	0,058	68	50	0,32	32,000	0,032	4,706
B2M33	48,900	0,192	11,210	0,020	0,050	0,105	68	50	0,49	49,000	0,049	7,206
CM11	48,900	0,192	11,210	0,005	0,050	0,026	68	50	0,16	16,000	0,016	2,353
CM12	48,900	0,192	11,210	0,015	0,050	0,079	68	50	10,66	1066,000	1,066	156,765
CM13	48,900	0,192	11,210	0,010	0,050	0,053	68	50	1,09	109,000	0,109	16,029
CM21	48,900	0,192	11,210	0,009	0,050	0,047	61	50	3,31	331,000	0,331	54,262
CM22	48,900	0,192	11,210	0,033	0,050	0,174	61	50	3,1	310,000	0,310	50,820
CM23	48,900	0,192	11,210	0,019	0,050	0,100	61	50	1,64	164,000	0,164	26,885
CM31	48,900	0,192	11,210	0,013	0,050	0,068	61	50	1,86	186,000	0,186	30,492
CM32	48,900	0,192	11,210	0,011	0,050	0,058	61	50	1,2	120,000	0,120	19,672
CM33	48,900	0,192	11,210	0,012	0,050	0,063	61	50	1,73	173,000	0,173	28,361
ASB1	48,900	0,192	11,210	0,180	0,800	15,156	68	50	551,23	55123,000	55,123	8106,324
ASB2	48,900	0,192	11,210	0,300	0,800	25,260	61	50	570,12	57012,000	57,012	9346,230
ASB3	48,900	0,192	11,210	0,250	0,800	21,050	68	50	581,56	58156,000	58,156	8552,353
AP1	48,900	0,192	11,210	1,000	1,300	136,823	68	50	247,53	24753,000	24,753	3640,147
AP2	48,900	0,192	11,210	1,000	1,300	136,823	68	50	729,68	72968,000	72,968	10730,588
AP3	48,900	0,192	11,210	1,000	1,300	136,823	68	50	668,39	66839,000	66,839	9829,265

Planilha 10 - Cálculo da intensidade da chuva (evento 3 - 11/01/2005)

Hora - dia	Tempo (min)	Acumulado (min)	Intervalo PP	Acumul PP	Intensidade	energia	Intrevalo ener
23--1	120,00	120,00	4,60	4,60	2,30	0,067	0,31
1--3	120,00	240,00	1,40	6,00	0,70	0,077	0,11
3--5	120,00	360,00	0,10	6,10	0,05	0,081	0,01
5--7	120,00	480,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	600,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
9--11	120,00	720,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
11--13	120,00	840,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
13--15	120,00	960,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
15--17	120,00	1080,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
17--19	120,00	1200,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
19--21	120,00	1320,00	0,00	6,10	0,00	0,081	0,00
21--23	120,00	1440,00	0,20	6,30	0,10	0,081	0,02
23--1	120,00	1560,00	0,00	6,30	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	1680,00	0,00	6,30	0,00	0,081	0,00
3--5	120,00	1800,00	0,00	6,30	0,00	0,081	0,00
5--7	120,00	1920,00	0,00	6,30	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	2040,00	1,60	7,90	0,80	0,076	0,12
9--11	120,00	2160,00	0,90	8,80	0,45	0,078	0,07
11--13	120,00	2280,00	0,90	9,70	0,45	0,078	0,07
13--15	120,00	2400,00	0,20	9,90	0,10	0,081	0,02
15--17	120,00	2520,00	0,90	10,80	0,45	0,078	0,07
17--19	120,00	2640,00	4,90	15,70	2,45	0,066	0,33
19--21	120,00	2760,00	0,90	16,60	0,45	0,078	0,07
21--23	120,00	2880,00	1,40	18,00	0,70	0,077	0,11
soma			18,00				1,29

Planilha 11 - Cálculo da perda de solo calculado e observado (evento 3 - 11/01/2005)

Parc	R	K	LS	C	P	Perda (calc.)	Área parc	vol esco	solo sec alíquot	g/bombona	kg/área parc	kg/ha
B1M11	3,225	0,192	11,210	0,005	0,050	0,002	68,000	2,000	3,180	12,720	0,013	1,871
B1M12	3,225	0,192	11,210	0,039	0,050	0,014	68,000	2,000	0,120	0,480	0,000	0,071
B1M13	3,225	0,192	11,210	0,055	0,050	0,019	68,000	5,000	2,210	22,100	0,022	3,250
B1M21	3,225	0,192	11,210	0,055	0,050	0,019	68,000	2,000	0,360	1,440	0,001	0,212
B1M22	3,225	0,192	11,210	0,110	0,050	0,038	68,000	50,000	0,720	72,000	0,072	10,588
B1M23	3,225	0,192	11,210	0,038	0,050	0,013	68,000	4,000	1,900	15,200	0,015	2,235
B1M31	3,225	0,192	11,210	0,040	0,050	0,014	68,000	6,000	1,470	17,640	0,018	2,594
B1M32	3,225	0,192	11,210	0,005	0,050	0,002	68,000	2,000	0,970	3,880	0,004	0,571
B1M33	3,225	0,192	11,210	0,020	0,050	0,007	68,000	45,500	6,510	592,410	0,592	87,119
B2M11	3,225	0,192	11,210	0,005	0,050	0,002	68,000	5,000	1,270	12,700	0,013	1,868
B2M12	3,225	0,192	11,210	0,009	0,050	0,003	68,000	34,000	0,140	9,520	0,010	1,400
B2M13	3,225	0,192	11,210	0,020	0,050	0,007	68,000	3,000	0,100	0,600	0,001	0,088
B2M21	3,225	0,192	11,210	0,095	0,050	0,033	68,000	19,000	0,330	12,540	0,013	1,844
B2M22	3,225	0,192	11,210	0,022	0,050	0,008	68,000	1,000	11,450	22,900	0,023	3,368
B2M23	3,225	0,192	11,210	0,110	0,050	0,038	68,000	4,000	0,670	5,360	0,005	0,788
B2M31	3,225	0,192	11,210	0,025	0,050	0,009	68,000	2,000	0,660	2,640	0,003	0,388
B2M32	3,225	0,192	11,210	0,011	0,050	0,004	68,000	50,000	0,110	11,000	0,011	1,618
B2M33	3,225	0,192	11,210	0,020	0,050	0,007	68,000	20,000	0,530	21,200	0,021	3,118
CM11	3,225	0,192	11,210	0,005	0,050	0,002	68,000	6,000	1,370	16,440	0,016	2,418
CM12	3,225	0,192	11,210	0,015	0,050	0,005	68,000	50,000	2,430	243,000	0,243	35,735
CM13	3,225	0,192	11,210	0,010	0,050	0,003	68,000	6,500	1,320	17,160	0,017	2,524
CM21	3,225	0,192	11,210	0,009	0,050	0,003	61,000	2,000	2,330	9,320	0,009	1,528
CM22	3,225	0,192	11,210	0,033	0,050	0,011	61,000	2,000	4,260	17,040	0,017	2,793
CM23	3,225	0,192	11,210	0,019	0,050	0,007	61,000	4,000	6,520	52,160	0,052	8,551
CM31	3,225	0,192	11,210	0,013	0,050	0,005	61,000	2,000	0,630	2,520	0,003	0,413
CM32	3,225	0,192	11,210	0,011	0,050	0,004	61,000	2,000	3,100	12,400	0,012	2,033
CM33	3,225	0,192	11,210	0,012	0,050	0,004	61,000	1,000	1,370	2,740	0,003	0,449
ASB1	3,225	0,192	11,210	0,180	0,800	1,000	68,000	50,000	15,790	1579,000	1,579	232,206
ASB2	3,225	0,192	11,210	0,300	0,800	1,666	61,000	50,000	40,970	4097,000	4,097	671,639
ASB3	3,225	0,192	11,210	0,250	0,800	1,388	68,000	50,000	23,420	2342,000	2,342	344,412
AP1	3,225	0,192	11,210	1,000	1,300	9,024	68,000	50,000	72,440	7244,000	7,244	1065,294
AP2	3,225	0,192	11,210	1,000	1,300	9,024	68,000	50,000	25,470	2547,000	2,547	374,559
AP3	3,225	0,192	11,210	1,000	1,300	9,024	68,000	50,000	20,460	2046,000	2,046	300,882

Planilha 12 - Cálculo da intensidade da chuva (evento 4 - 26/01/2005)

Hora - dia	Tempo (min)	Acumulado (min)	Intervalo PP	Acumul PP	Intensidade	energia	Intrevalo ener
23--1	120,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	240,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,00
3--5	120,00	360,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,00
5--7	120,00	480,00	3,80	3,80	1,90	0,069	0,26
7--9	120,00	600,00	0,00	3,80	0,00	0,081	0,00
9--11	120,00	720,00	0,00	3,80	0,00	0,081	0,00
11--13	120,00	840,00	0,60	4,40	0,30	0,079	0,05
13--15	120,00	960,00	0,70	5,10	0,35	0,079	0,06
15--17	120,00	1080,00	0,00	5,10	0,00	0,081	0,00
17--19	120,00	1200,00	0,10	5,20	0,05	0,081	0,01
19--21	120,00	1320,00	0,40	5,60	0,20	0,080	0,03
21--23	120,00	1440,00	1,60	7,20	0,80	0,076	0,12
23--1	120,00	1560,00	0,00	7,20	0,00	0,081	0,00
1--3	120,00	1680,00	0,00	7,20	0,00	0,081	0,00
3--5	120,00	1800,00	0,00	7,20	0,00	0,081	0,00
5--7	120,00	1920,00	0,00	7,20	0,00	0,081	0,00
7--9	120,00	2040,00	0,40	7,60	0,20	0,080	0,03
9--11	120,00	2160,00	1,90	9,50	0,95	0,075	0,14
11--13	120,00	2280,00	0,10	9,60	0,05	0,081	0,01
13--15	120,00	2400,00	0,40	10,00	0,20	0,080	0,03
15--17	120,00	2520,00	0,00	10,00	0,00	0,081	0,00
17--19	120,00	2640,00	0,00	10,00	0,00	0,081	0,00
19--21	120,00	2760,00	0,00	10,00	0,00	0,081	0,00
21--23	120,00	2880,00	0,00	10,00	0,00	0,081	0,00
soma			10,00				0,74

Planilha 13 - Cálculo da perda de solo calculado e observado (evento 4 - 26/01/2005+M60)

Parc	R	K	LS	C	P	Perda (calc.)	Área parc	vol esco	solo sec alíquot	g/bombona	kg/área parc	kg/ha
B1M11	1,330	0,192	11,210	0,005	0,050	0,001	68	3	0,35	2,1000	0,0021	0,309
B1M12	1,330	0,192	11,210	0,039	0,050	0,006	68	28	0,13	7,2800	0,00728	1,071
B1M13	1,330	0,192	11,210	0,055	0,050	0,008	68	5	0,48	4,8000	0,0048	0,706
B1M21	1,330	0,192	11,210	0,055	0,050	0,008	68	35	0,19	13,3000	0,0133	1,956
B1M22	1,330	0,192	11,210	0,110	0,050	0,016	68	50	0,27	27,0000	0,027	3,971
B1M23	1,330	0,192	11,210	0,038	0,050	0,005	68	5	1,84	18,4000	0,0184	2,706
B1M31	1,330	0,192	11,210	0,040	0,050	0,006	68	5	0,42	4,2000	0,0042	0,618
B1M32	1,330	0,192	11,210	0,005	0,050	0,001	68	2	1,5	6,0000	0,006	0,882
B1M33	1,330	0,192	11,210	0,020	0,050	0,003	68	50	0,77	77,0000	0,077	11,324
B2M11	1,330	0,192	11,210	0,005	0,050	0,001	68	3	0,95	5,7000	0,0057	0,838
B2M12	1,330	0,192	11,210	0,009	0,050	0,001	68	50	0,07	7,0000	0,007	1,029
B2M13	1,330	0,192	11,210	0,020	0,050	0,003	68	5	0,32	3,2000	0,0032	0,471
B2M21	1,330	0,192	11,210	0,095	0,050	0,014	68	5	0,57	5,7000	0,0057	0,838
B2M22	1,330	0,192	11,210	0,022	0,050	0,003	68	5	6,07	60,7000	0,0607	8,926
B2M23	1,330	0,192	11,210	0,110	0,050	0,016	68	8	0,16	2,5600	0,00256	0,376
B2M31	1,330	0,192	11,210	0,025	0,050	0,004	68	5	0,79	7,9000	0,0079	1,162
B2M32	1,330	0,192	11,210	0,011	0,050	0,002	68	50	0,65	65,0000	0,065	9,559
B2M33	1,330	0,192	11,210	0,020	0,050	0,003	68	25	0,31	15,5000	0,0155	2,279
CM11	1,330	0,192	11,210	0,005	0,050	0,001	68	4	0,3	2,4000	0,0024	0,353
CM12	1,330	0,192	11,210	0,015	0,050	0,002	68	50	0,24	24,0000	0,024	3,529
CM13	1,330	0,192	11,210	0,010	0,050	0,001	68	5	1,23	12,3000	0,0123	1,809
CM21	1,330	0,192	11,210	0,009	0,050	0,001	61	5	0,38	3,8000	0,0038	0,623
CM22	1,330	0,192	11,210	0,033	0,050	0,005	61	5	0,46	4,6000	0,0046	0,754
CM23	1,330	0,192	11,210	0,019	0,050	0,003	61	5	0,57	5,7000	0,0057	0,934
CM31	1,330	0,192	11,210	0,013	0,050	0,002	61	3	0,28	1,6800	0,00168	0,275
CM32	1,330	0,192	11,210	0,011	0,050	0,002	61	4	0,69	5,5200	0,00552	0,905
CM33	1,330	0,192	11,210	0,012	0,050	0,002	61	5	1,14	11,4000	0,0114	1,869
ASB1	1,330	0,192	11,210	0,180	0,800	0,412	68	50	2,68	268,0000	0,268	39,412
ASB2	1,330	0,192	11,210	0,300	0,800	0,687	61	50	15,68	1568,0000	1,568	257,049
ASB3	1,330	0,192	11,210	0,250	0,800	0,573	68	50	16,76	1676,0000	1,676	246,471
AP1	1,330	0,192	11,210	1,000	1,300	3,721	68	50	46,57	4657,0000	4,657	684,853
AP2	1,330	0,192	11,210	1,000	1,300	3,721	68	50	13,58	1358,0000	1,358	199,706
AP3	1,330	0,192	11,210	1,000	1,300	3,721	68	50	17,89	1789,0000	1,789	263,088

Planilha 14 - Peso específico aparente nas diferentes posições do talude (g/cm³)

Parcela	Posição	Densidade	Parcela	Posição	Densidade	Parcela	Posição	Densidade
B1M11	TT	1,192	B2M22	MT	1,562	CM33	BT	1,458
B1M11	MT	1,564	B2M22	BT	1,667	AP1	TT	1,753
B1M11	BT	1,525	B2M23	TT	1,296	AP1	MT	1,803
B1M12	TT	1,600	B2M23	MT	1,517	AP1	BT	1,473
B1M12	MT	1,734	B2M23	BT	1,140	AP2	TT	1,371
B1M12	BT	1,294	B2M31	TT	1,691	AP2	MT	1,796
B1M13	TT	1,385	B2M31	MT	1,590	AP2	BT	1,569
B1M13	MT	1,423	B2M31	BT	2,018	AP3	TT	1,730
B1M13	BT	1,390	B2M32	TT	1,410	AP3	MT	1,589
B1M21	TT	1,329	B2M32	MT	1,817	AP3	BT	1,705
B1M21	MT	1,790	B2M32	BT	1,508			
B1M21	BT	1,364	B2M33	TT	1,386			
B1M22	TT	1,441	B2M33	MT	1,507			
B1M22	MT	1,758	B2M33	BT	1,150			
B1M22	BT	1,533	CM11	TT	1,546			
B1M23	TT	1,489	CM11	MT	1,923			
B1M23	MT	1,541	CM11	BT	1,805			
B1M23	BT	1,647	CM12	TT	1,753			
B1M31	TT	1,407	CM12	MT	1,803			
B1M31	MT	1,410	CM12	BT	1,473			
B1M31	BT	1,477	CM13	TT	1,192			
B1M32	TT	1,311	CM13	MT	1,564			
B1M32	MT	1,569	CM13	BT	1,525			
B1M32	BT	1,762	CM21	TT	1,540			
B1M33	TT	1,609	CM21	MT	1,386			
B1M33	MT	1,673	CM21	BT	1,998			
B1M33	BT	1,314	CM22	TT	1,529			
B2M11	TT	1,405	CM22	MT	1,259			
B2M11	MT	1,568	CM22	BT	1,623			
B2M11	BT	1,781	CM23	TT	1,441			
B2M12	TT	1,333	CM23	MT	1,758			
B2M12	MT	1,456	CM23	BT	1,533			
B2M12	BT	1,739	CM31	TT	1,304			
B2M13	TT	1,315	CM31	MT	1,234			
B2M13	MT	1,216	CM31	BT	1,605			
B2M13	BT	1,437	CM32	TT	1,296			
B2M21	TT	1,741	CM32	MT	1,356			
B2M21	MT	1,606	CM32	BT	1,535			
B2M21	BT	1,445	CM33	TT	1,262			
B2M22	TT	1,701	CM33	MT	1,410			

Planilha 15 - Teor de fitomassa parte aérea das espécies vegetais (12 meses)

Parcela	fit umida (g/m ²)	fit seca (g/m ²)	Parcela	fit umida (g/m ²)	fit seca (g/m ²)	Parcela	fit umida (g/m ²)	fit seca (g/m ²)
B1M11	1500	760,895	B2M13	1000	432,480	CM23	2980	1656,062
B1M11	1300	540,648	B2M21	350	145,833	CM23	2100	1025,340
B1M11	2750	1264,962	B2M21	500	325,870	CM31	600	314,072
B1M12	450	187,567	B2M21	1500	630,756	CM31	250	147,705
B1M12	500	205,724	B2M22	950	413,134	CM31	1500	674,272
B1M12	400	137,250	B2M22	800	344,778	CM32	1950	1402,362
B1M13	600	276,846	B2M22	1800	816,784	CM32	1000	608,391
B1M13	1600	821,372	B2M23	400	182,339	CM32	700	482,772
B1M13	1650	682,350	B2M23	350	151,395	CM33	880	499,112
B1M21	1100	535,534	B2M23	100	40,301	CM33	500	305,300
B1M21	820	403,346	B2M31	650	402,319	CM33	300	198,209
B1M21	720	333,520	B2M31	650	265,099	AP1	1680	883,090
B1M22	550	261,597	B2M31	250	131,786	AP1	780	385,504
B1M22	1900	1053,859	B2M32	1000	465,867	AP1	1700	750,877
B1M22	200	82,912	B2M32	1900	813,082	AP2	1450	798,759
B1M23	1400	822,434	B2M32	1000	600,172	AP2	10	7,222
B1M23	480	275,559	B2M33	1050	316,366	AP2	100	43,610
B1M23	900	462,617	B2M33	800	305,689	AP3	50	22,987
B1M31	850	535,478	B2M33	250	87,110	AP3	100	36,444
B1M31	480	273,317	CM11	600	376,850	AP3	40	13,875
B1M31	550	280,212	CM11	1350	676,759			
B1M32	980	703,949	CM11	1800	1406,589			
B1M32	1000	596,658	CM12	700	324,538			
B1M32	800	456,595	CM12	300	191,951			
B1M33	900	492,707	CM12	800	409,796			
B1M33	600	324,906	CM13	1400	573,206			
B1M33	750	363,729	CM13	1000	527,393			
B2M11	1900	826,053	CM13	2200	1132,442			
B2M11	1880	1213,076	CM21	400	223,319			
B2M11	1750	1303,944	CM21	750	392,326			
B2M12	1200	518,618	CM21	380	169,536			
B2M12	350	183,165	CM22	800	414,912			
B2M12	950	405,829	CM22	650	349,164			
B2M13	2200	925,051	CM22	320	154,696			
B2M13	1550	667,382	CM23	400	204,392			

Planilha 16 - Teor de fitomassa parte aérea das espécies vegetais (1 mês)

Parcela	fit umida (g/m ²)	fit seca (g/m ²)
AP1	182,04	89,2
AP2	134,24	65,78
AP3	144,20	70,66
B1M11	301,53	147,75
B1M12	134,67	65,99
B1M13	384,06	188,19
B1M21	74,45	36,48
B1M22	147,63	72,34
B1M23	156,69	76,78
B1M31	106,76	52,31
B1M32	160,90	78,84
B1M33	310,73	152,26
B2M11	233,61	114,47
B2M12	114,00	55,86
B2M13	69,06	33,84
B2M21	66,98	32,82
B2M22	81,67	40,02
B2M23	98,98	48,5
B2M31	114,06	55,89
B2M32	98,86	48,44
B2M33	33,16	16,25
CM11	196,24	96,16
CM12	247,18	121,12
CM13	166,90	81,78
CM21	227,80	111,62
CM22	164,51	80,61
CM23	166,16	81,42
CM31	203,94	99,93
CM32	310,55	152,17
CM33	163,78	80,25

Planilha 17 - Teor de contribuição em fitomassa parte aérea para cada espécie vegetal

Tratamento	Espécie	indivíduos/m2	g/m2 ÚMIDO	g/m2 SECO	Tratamento	Espécie	indivíduos/m2	g/m2 ÚMIDO	g/m2 SECO
B1M3	RS	63	22,49	13,72	B1M2	CC	63	23,61	17,47
B1M3	RS	65	53,92	32,89	B1M2	CC	60	57,19	42,32
B1M3	RS	59	7,31	4,46	B1M2	BR	4	1,78	1,33
B1M3	RS	63	27,90	17,02	B1M2	BR	8	1,47	1,10
B1M3	CJ e CO	106	104,18	87,51	B1M2	BR	6	1,62	1,22
B1M3	CJ e CO	51	19,84	16,66	B2M2	LP	27	17,71	12,75
B1M3	CJ e CO	79	62,01	52,09	B2M2	LP	104	4,94	3,56
B1M3	BD	110	27,10	16,53	B2M2	LP	8	0,71	0,51
B1M3	BD	102	13,76	8,39	B2M2	LP	46	7,79	5,61
B1M3	BD	106	20,43	12,46	B2M2	CC	57	21,86	16,17
B1M3	AS	233	46,27	14,80	B2M2	CC	104	30,29	22,41
B1M3	AS	53	20,57	6,58	B2M2	CC	82	19,55	14,47
B1M3	AS	163	17,33	5,54	B2M2	CC	81	23,90	17,68
B1M3	AS	150	28,05	8,98	B2M2	BR	88	20,00	15,00
B1M1	SA	53	182,39	147,73	B2M2	BR	53	18,29	13,71
B1M1	SA	22	63,10	51,11	B2M2	BR	70	19,14	14,36
B1M1	SA	47	232,04	187,95	B2M3	RS	63	41,55	25,35
B1M1	SA	41	159,18	128,93	B2M3	RS	61	7,27	4,43
B1M1	RS	8	39,69	24,21	B2M3	RS	78	23,90	14,58
B1M1	CE	6	19,43	16,90	B2M3	RS	67	24,24	14,79
B1M1	CE	10	11,73	10,21	B2M3	BD	33	8,24	5,03
B1M1	CE	8	15,58	13,56	B2M3	AS	22	12,90	4,13
B1M1	CB	80	18,12	14,86	B2M3	AS	51	3,86	1,23
B1M1	CB	43	7,27	5,96	B2M3	AS	24	16,29	5,21
B1M1	CB	61	12,69	10,41	B2M3	AS	33	11,01	3,52
B1M1	BH, BB e PM	37	4,63	2,55	B2M1	SA	14	34,12	27,64
B1M1	BH, BB e PM	29	1,39	0,76	B2M1	SA	18	39,04	31,62
B1M1	BH, BB e PM	92	33,88	18,63	B2M1	SA	49	143,92	116,57
B1M1	BH, BB e PM	52	13,30	7,31	B2M1	SA	27	72,36	58,61
B1M2	LP	43	5,55	4,00	B2M1	CE	4	18,00	15,66
B1M2	LP	55	24,61	17,72	B2M1	CB	29	40,86	33,50
B1M2	LP	86	17,78	12,80	B2M1	BH, BB e PM	20	3,08	1,69
B1M2	LP	61	15,98	11,51	B2M1	BH, BB e PM	43	4,63	2,55
B1M2	CC	82	73,12	54,11	B2M1	BH, BB e PM	12	4,04	2,22
B1M2	CC	39	41,27	30,54	B2M1	BH, BB e PM	25	3,92	2,16

Planilha 17 - Teor de contribuição em fitomassa parte aérea para cada espécie vegetal (continuação...)

Tratamento	Espécie	indivíduos/m2	g/m2 ÚMIDO	g/m2 SECO	Tratamento	Espécie	indivíduos/m2	g/m2 ÚMIDO	g/m2 SECO
CM1	SA	41	140,16	113,53	CM3	BD	98	12,88	7,86
CM1	SA	35	79,02	64,01	CM3	BD	86	17,06	10,41
CM1	SA	22	105,86	85,74	CM3	BD	47	4,86	2,96
CM1	SA	33	108,35	87,76	CM3	BD	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
CM1	CE	6	50,86	44,25	CM3	AS	176	18,57	5,94
CM1	CE	6	17,84	15,52	CM3	AS	163	13,33	4,26
CM1	CE	2	12,31	10,71	CM3	AS	212	12,33	3,94
CM1	CE	5	27,00	23,49	CM3	AS	184	14,74	4,72
CM1	CB	63	5,08	4,17	ASB	SA	71	19,53	15,82
CM1	CB	80	6,41	5,25	ASB	SA	14	32,04	25,95
CM1	CB	171	14,31	11,73	ASB	SA	27	19,41	15,72
CM1	CB	105	8,60	7,05	ASB	SA	37	23,66	19,17
CM1	BH, BB e PM	20	1,80	0,99	ASB	RS	129	24,51	14,95
CM1	BH, BB e PM	153	9,92	5,46	ASB	RS	35	2,82	1,72
CM1	BH, BB e PM	194	12,12	6,67	ASB	RS	194	47,55	29,01
CM1	BH, BB e PM	122	7,95	4,37	ASB	RS	119	24,96	15,23
CM2	LP	47	7,18	5,17	ASB	CJ	24	2,71	2,28
CM2	LP	67	12,59	9,07	ASB	CJ	55	3,08	2,59
CM2	LP	53	36,43	26,23	ASB	CJ	40	2,90	2,43
CM2	LP	56	18,73	13,49	ASB	CE	16	29,76	25,89
CM2	CC	124	165,65	122,58	ASB	CE	8	34,98	30,43
CM2	CC	180	106,20	78,59	ASB	CE	8	30,16	26,24
CM2	CC	41	55,96	41,41	ASB	CE	11	31,63	27,52
CM2	CC	115	109,27	80,86	ASB	AS	200	13,37	4,28
CM2	BR	31	3,08	2,31	ASB	AS	147	9,82	3,14
CM2	BR	29	2,55	1,91	ASB	AS	151	4,57	1,46
CM2	BR	30	2,82	2,11	ASB	AS	166	9,25	2,96
CM3	RS	41	32,35	19,73					
CM3	RS	47	15,92	9,71					
CM3	RS	71	21,43	13,07					
CM3	RS	53	23,23	14,17					
CM3	CJ e CO	45	29,00	24,36					
CM3	CJ e CO	149	45,94	38,59					
CM3	CJ e CO	35	10,45	8,78					
CM3	CJ e CO	76	28,46	23,91					

Planilha 18 - Resultado da análise química do substrato (fertilidade)

Parcela	Posição	M.O.	C	N	H ₂ O	H + Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K	SB	T	t	m	v
		dag/kg			pH		cmol. carga/dm ³		Mg/dm ³		cmol. carga/dm ³		%			
B1M33	TT	1,58	0,92	0,09	7,7	0,78	0,02	2,99	0,73	1	92	3,96	4,74	3,98	0,51	83,54
B1M33	MT	2,14	1,24	0,11	6,8	1,04	0,02	3,27	0,45	2,4	70	3,9	4,94	3,92	0,52	78,91
B1M33	BT	2,48	1,44	0,12	6,2	1,49	0,02	3,34	0,63	3,1	86	4,19	5,68	4,21	0,48	73,8
CM12	TT	2,84	1,65	0,14	8,1	0,69	0,01	5,36	1,71	6,9	146	7,45	8,14	7,46	0,14	91,51
CM12	MT	6,3	3,65	0,28	7,8	0,92	0,01	7,78	1,12	30	244	9,53	10,45	9,54	0,11	91,18
CM12	BT	1,48	0,86	0,08	7,3	0,9	0,01	4,74	0,75	4,3	98	5,74	6,64	5,75	0,18	86,42
AP3	TT	1,58	0,92	0,09	7,1	0,91	0,01	2,37	0,25	1	37	2,71	3,62	2,72	0,37	74,83
AP3	MT	1,37	0,8	0,08	8,1	0,76	0,01	3,07	0,31	1,5	64	3,55	4,3	3,56	0,29	82,44
AP3	BT	1,37	0,8	0,08	7,2	1,02	0,01	2,74	0,32	<1	41	3,17	4,19	3,18	0,32	75,67
B2M33	TT	2,14	1,24	0,11	7,6	0,86	0,01	4,34	0,73	1,7	107	5,35	6,21	5,36	0,19	86,11
B2M33	MT	1,16	0,67	0,07	8,2	0,62	0,01	2,64	0,69	1,3	118	3,64	4,26	3,65	0,28	85,47
B2M33	BT	1,91	1,11	0,11	8	0,68	0,01	4,54	0,67	4,8	168	5,65	6,33	5,66	0,18	89,2
B2M23	TT	2,14	1,24	0,11	7,9	0,72	0,01	4,92	1,04	7,8	166	6,38	7,11	6,39	0,16	89,84
B2M23	MT	1,06	0,62	0,06	7,9	0,68	0,01	2,3	0,56	1	92	3,09	3,77	3,1	0,33	82,06
B2M23	BT	1,16	0,67	0,07	8,1	0,61	0,01	2,47	0,69	1,3	113	3,45	4,06	3,46	0,29	84,95
B1M23	TT	1,48	0,86	0,08	7,3	0,86	0,01	2,74	0,6	1	63	3,51	4,37	3,52	0,29	80,25
B1M23	MT	1,8	1,04	0,1	7,9	0,78	0,01	3,67	0,37	2,6	58	4,19	4,97	4,2	0,24	84,28
B1M23	BT	1,37	0,8	0,08	8	0,7	0,01	3,04	0,79	1,3	70	4,01	4,71	4,02	0,25	85,17
B2M13	TT	1,27	0,73	0,07	4,9	1,49	0,21	1,55	0,85	1	210	2,93	4,42	3,14	6,77	66,35
B2M13	MT	1,18	0,86	0,08	6,5	1,14	0,01	2,17	1	1	192	3,67	4,8	3,68	0,28	76,29
B2M13	BT	3,73	2,16	0,19	7,8	0,78	0,01	4,64	0,59	8,4	266	5,91	6,69	5,92	0,17	88,34
CM21	TT	2,84	1,65	0,14	8,1	0,71	0,01	5,11	0,73	7,5	176	6,3	7	6,31	0,16	89,91
CM21	MT	2,96	1,72	0,15	7,9	0,73	0,01	5,49	0,9	4	145	6,76	7,49	6,77	0,15	90,26
CM21	BT	1,8	1,04	0,1	8,1	0,68	0,01	4,62	0,83	4	132	5,78	6,47	5,79	0,18	89,44
B1M13	TT	1,8	1,04	0,1	7,9	0,7	0,01	3,52	0,92	3,3	105	4,71	5,41	4,72	0,21	87,08
B1M13	MT	1,8	1,04	0,1	7,9	0,73	0,01	3,99	0,39	2,6	60	4,54	5,27	4,55	0,22	86,14
B1M13	BT	1,8	1,04	0,1	8,2	0,64	0,01	3,74	1,6	6,9	163	5,76	6,4	5,77	0,18	90,02
CM31	TT	1,58	0,92	0,09	7,1	0,95	0,02	4,49	0,53	8,1	60	5,18	6,13	5,2	0,39	84,45
CM31	MT	2,72	1,58	0,14	8,2	0,69	0,01	4,39	0,76	7,5	125	5,47	6,16	5,48	0,19	88,78
CM31	BT	1,8	1,04	0,1	7,6	0,77	0,01	4,19	0,81	5,8	74	5,19	5,96	5,2	0,2	87,05
mínimo		1,060	0,620	0,060	4,900	0,610	0,010	1,550	0,250	1,000	37,000	2,710	3,620	2,720	0,110	66,350
mediana		1,800	1,040	0,100	7,900	0,765	0,010	3,705	0,730	3,100	106,000	4,625	5,545	4,635	0,230	85,790
média		2,021	1,178	0,107	7,580	0,834	0,018	3,807	0,744	4,590	118,033	4,856	5,690	4,874	0,474	84,325
máximo		6,300	3,650	0,280	8,200	1,490	0,210	7,780	1,710	30,000	266,000	9,530	10,450	9,540	6,770	91,510
Sd		1,028	0,591	0,043	0,724	0,221	0,036	1,286	0,330	5,532	59,325	1,528	1,486	1,520	1,194	6,048
variação		50,834	50,170	40,198	9,554	26,467	>99	33,772	44,325	120,541	50,261	31,475	26,113	31,178	>99	7,172

Obs: Matéria Orgânica foi obtida pelo Método Colorimétrico

Carbono Org. = M. Org./ 1,724

Nitrogênio calculado / Matéria Orgânica

CaCl₂ = pH em Cloreto de Cálcio

KCl = pH em Cloreto de Potássio

H₂O = pH em Água

pH = Relação 1:2,5

SB = Soma de bases

T = Capacidade de troca de cátions

t= Capacidade efetiva de troca de cátions

m = Índice de saturação de Alumínio

V = Índice de saturação de base

O cálculo de SB, T, t, m e V, não considera valores de Sódio (Na)

Solução estratora: Fósforo e potássio Mehlich 1

Cálcio, Magnésio e Alumínio Cloreto de potássio 1 normal

Hidrogênio + Alumínio - pH em S. M. P.

Planilha 19 - Temperatura e umidade relativa média durante o monitoramento da pesquisa (temperatura e umidade relativa

Mês / Ano	Temperatura Média	Variação da Umidade	
	Mensal (°C)	Mínima (%)	Máxima (%)
jan/04	26,3	40,0	88,0
fev/04	25,3	41,0	77,0
mar/04	26,7	40,0	72,0
abr/04	24,3	46,0	76,0
mai/04	24,2	36,0	68,0
jun/04	21,8	43,0	71,0
jul/04	20,7	42,0	72,0
ago/04	22,9	36,0	59,0
set/04	26,6	26,0	55,0
out/04	26,9	36,0	63,0
nov/04	26,8	31,0	69,0
dez/04	26,2	40,0	79,0
jan/05	26,4	35,0	78,0
fev/05	27,8	32,0	77,0
mar/05	27,7	28,2	80,0

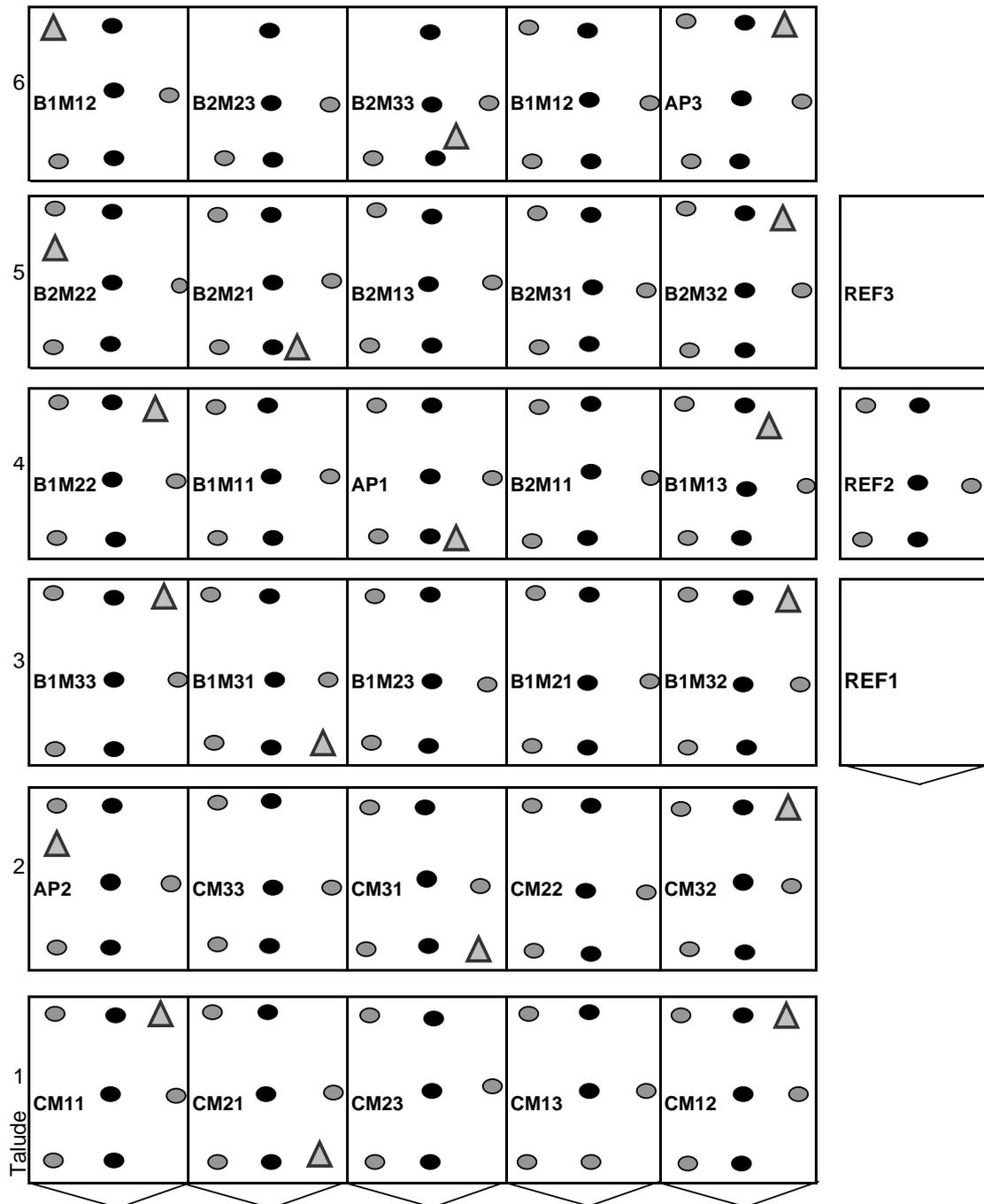
Planilha 20 - Precipitação pluviométrica durante o monitoramento da pesquisa

Ano	Mês	Dias do mês																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2003	Janeiro	35,20	40,00	41,10	0,00	52,70	42,20	67,10	2,20	23,70	30,60	0,00	37,80	31,20	24,30	93,50	60,00	49,40	19,70	4,30
2003	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	41,00	3,00	30,70	
2003	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,30	0,30	0,00	19,40	5,00	17,10	0,00	54,60	9,60	0,50	6,20
2003	Abril	0,80	0,00	0,10	0,10	0,00	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Maiο	0,00	0,00	0,00	0,00	19,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Junho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
2003	Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	7,40	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
2003	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	2,10	0,20	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Novembro	8,90	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	32,50	1,10	16,30	0,00	0,00	0,00	24,10	0,00	0,00	0,80	26,90	0,00	18,00
2003	Dezembro	11,20	13,50	57,00	3,10	33,80	52,90	13,60	1,20	2,20	0,00	0,00	0,00	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Janeiro	19,30	69,10	1,80	11,60	0,00	0,00	1,20	28,80	79,30	30,00	2,30	35,60	25,50	41,50	7,50	1,70	0,30	0,00	0,00
2004	Fevereiro	0,00	14,30	0,50	0,00	0,00	0,00	33,00	17,70	7,20	44,50	14,00	0,00	4,30	24,30	31,50	4,00	0,00	5,10	5,50
2004	Março	3,80	0,00	0,00	12,20	5,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,50	0,00	0,00	5,50	28,00	0,00	0,00	0,20
2004	Abril	0,00	0,00	0,00	19,80	7,00	14,00	0,90	0,40	0,00	15,50	50,70	1,50	0,10	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00
2004	Maiο	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	6,00	0,10
2004	Junho	0,00	1,80	1,20	8,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,40
2004	Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Outubro	0,00	14,90	37,10	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,90	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10
2004	Novembro	21,50	0,00	0,00	0,00	5,20	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,70	0,00	0,00	0,00	2,70	24,40	0,10	8,20
2004	Dezembro	0,10	0,00	2,50	0,00	0,00	63,60	19,50	0,30	32,20	12,40	7,10	29,90	0,00	0,70	0,00	1,90	0,00	7,70	5,20
2005	Janeiro	1,40	0,00	0,00	22,20	11,80	0,30	9,50	2,20	0,00	2,60	6,30	11,70	0,00	0,00	0,00	7,90	11,90	34,50	20,20
2005	Fevereiro	0,50	6,50	0,80	0,00	29,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,30	0,60	19,60	17,20

Planilha 20 - Precipitação pluviométrica durante o monitoramento da pesquisa (continuação...)

Ano	Mês												Acumulado	
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	(mm)
2003	Janeiro	51,70	33,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	29,00	0,80	0,00	775,10
2003	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101,20
2003	Março	0,80	22,50	0,00	3,10	0,00	0,00	0,70	8,70	0,50	0,00	0,00	0,00	155,30
2003	Abril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,30
2003	Maiο	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,60
2003	Junho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,80	0,40	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	5,90
2003	Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,10	0,10	0,00	0,00	15,00
2003	Outubro	0,00	0,00	0,00	10,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,10	6,60	39,60
2003	Novembro	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	0,10	2,10	0,00	24,90	0,00	171,00
2003	Dezembro	0,00	50,40	6,10	0,10	0,00	0,60	4,50	1,00	0,70	0,50	16,80	0,00	309,20
														1612,20
2004	Janeiro	0,00	0,00	34,00	3,50	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	393,40
2004	Fevereiro	13,70	7,50	0,00	51,90	0,00	7,60	3,80	34,00	14,00	0,00	0,00	0,00	338,40
2004	Março	2,40	0,00	15,10	9,20	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	4,00	88,60
2004	Abril	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	11,80	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	126,50
2004	Maiο	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,20	11,10	0,00	0,00	19,70
2004	Junho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00
2004	Julho	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,40
2004	Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,10	0,80	0,00	3,70	0,00	0,00	0,00	70,60
2004	Novembro	0,00	3,50	3,80	0,00	0,00	0,00	16,20	0,20	20,30	16,00	5,50	0,00	134,20
2004	Dezembro	48,60	6,70	30,40	13,00	58,40	0,00	7,90	0,00	57,80	13,30	2,80	0,10	422,10
														1657,9
2005	Janeiro	0,00	25,70	0,00	1,20	2,20	0,00	7,20	2,80	0,80	0,90	5,80	2,20	191,30
2005	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	3,90	32,60	1,20	0,30	1,90				121,60

Figura 01 - Pontos de coleta para análises químicas e físicas do substrato



Legenda

- Análises de estabilidade de agregados, densidade e fertilidade do solo (0-20 cm)
- Análise geotécnica (umidade, granulometria, limite de plasticidade e liquidez do solo) (0-20 cm)
- ▲ Análise de metais pesados (0-20 e 40-60)

Planilha 21 - Resultado dos testes de germinação das espécies vegetais

espécie	Luz	Temperat	repetição	%germ	espécie	Luz	Temperat	repetição	%germ	espécie	Luz	Temperat	repetição	%germ
AS	1	1	1	88	CO	1	1	1	56	SA	1	1	1	94
AS	1	1	2	72	CO	1	1	2	60	SA	1	1	2	94
AS	1	2	1	36	CO	2	1	1	68	SA	1	2	1	100
AS	1	2	2	30	CO	2	1	2	50	SA	1	2	2	92
BB	1	1	1	24	CO	1	2	1	40					
BB	1	1	2	26	CO	1	2	2	32					
BB	1	2	1	12	HR	1	1	1	2					
BB	1	2	2	12	HR	1	1	2	0					
BD	1	1	1	16	HR	2	1	1	0					
BD	1	1	2	28	HR	2	1	2	0					
BD	1	2	1	6	HR	1	2	1	0					
BD	1	2	2	10	HR	1	2	2	0					
BH	1	1	1	0	LP	1	1	1	94					
BH	1	1	2	0	LP	1	1	2	98					
BH	1	2	1	0	LP	1	2	1	8					
BH	1	2	2	0	LP	1	2	2	56					
BR	1	1	1	0	MM	1	1	1	42					
BR	1	1	2	2	MM	1	1	2	34					
BR	1	2	1	0	MM	1	2	1	2					
BR	1	2	2	0	MM	1	2	2	10					
CB	1	1	1	96	PM	1	1	1	18					
CB	1	1	2	100	PM	1	1	2	26					
CB	1	2	1	86	PM	2	1	1	18					
CB	1	2	2	98	PM	2	1	2	10					
CC	1	1	1	76	PM	1	2	1	0					
CC	1	1	2	94	PM	1	2	2	2					
CC	1	2	1	76	PN	1	1	1	8					
CC	1	2	2	30	PN	1	1	2	18					
CE	1	1	1	50	PN	1	2	1	56					
CE	1	1	2	48	PN	1	2	2	46					
CE	1	2	1	50	PP	1	1	1	14					
CE	1	2	2	52	PP	1	1	2	14					
CJ	1	1	1	38	PP	2	1	1	38					
CJ	1	1	2	38	PP	2	1	2	48					
CJ	1	2	1	32	PP	1	2	1	2					
CJ	1	2	2	18	PP	1	2	2	6					
CM	1	1	1	66	RS	1	1	1	64					
CM	1	1	2	72	RS	1	1	2	68					
CM	1	2	1	20	RS	1	2	1	82					
CM	1	2	2	36	RS	1	2	2	80					

Planilha 22 - Resultado da variação da umidade do substrato na coleta das amostras

Parcela	Posição	% umidade	Parcela	Posição	% umidade
B2M21	TT	16,602	B1M31	BT	16,431
B2M21	TT	15,932	B1M21	TT	13,327
B2M21	MT	15,881	B1M21	TT	15,473
B2M21	MT	15,158	B1M21	MT	19,754
B2M21	BT	14,607	B1M21	MT	21,215
B2M21	BT	32,382	B1M21	BT	18,173
B2M31	TT	16,210	B1M21	BT	44,789
B2M31	TT	16,540	CM11	TT	19,809
B2M31	MT	21,670	CM11	TT	17,768
B2M31	MT	17,514	CM11	MT	38,480
B2M31	BT	13,079	CM11	MT	20,445
B2M31	BT	13,039	CM11	BT	37,109
B1M11	TT	17,009	CM11	BT	37,751
B1M11	TT	16,046	CM21	TT	14,817
B1M11	MT	26,297	CM21	TT	14,706
B1M11	MT	22,736	CM21	MT	25,718
B1M11	BT	18,675	CM21	MT	27,999
B1M11	BT	19,118	CM21	BT	18,690
AP1	TT	26,016	CM21	BT	18,061
AP1	TT	43,151	CM31	TT	14,817
AP1	MT	22,635	CM31	TT	14,706
AP1	MT	21,905	CM31	MT	25,718
AP1	BT	20,532	CM31	MT	27,999
AP1	BT	17,689	CM31	BT	14,585
B2M11	TT	16,248	CM31	BT	14,963
B2M11	TT	14,388			
B2M11	MT	20,422			
B2M11	MT	22,575			
B2M11	BT	19,251			
B2M11	BT	38,520			
B1M31	TT	14,351			
B1M31	TT	14,777			
B1M31	MT	12,575			
B1M31	MT	15,497			
B1M31	BT	16,719			

Planilha 23 - Análise de estabilidade dos agregados

Parcela	Repetição	Peneira	Tara	Tara+Retido	Retido	Agregado	Parcela	Repetição	Peneira	Tara	Tara+Retido	Retido	Agregado
CM32MT	1	2	45,136	62,124	16,988	83,72597339	B1M22TT	1	2	45,883	58,902	13,019	67,66983731
CM32MT	1	1	43,284	44,239	0,955	4,706752095	B1M22TT	1	1	47,955	50,105	2,15	11,17521701
CM32MT	1	0,5	46,76	47,554	0,794	3,913257762	B1M22TT	1	0,5	50,806	52,618	1,812	9,418368938
CM32MT	1	0,25	49,904	50,649	0,745	3,671759487	B1M22TT	1	0,25	42,559	43,824	1,265	6,57518582
CM32MT	1	0,105	49,552	50,36	0,808	3,98225727	B1M22TT	1	0,105	45,223	46,216	0,993	5,161390925
CM32MT	2	2	50,411	66,361	15,95	81,01381552	B1M22TT	2	2	47,339	60,653	13,314	63,96656097
CM32MT	2	1	53,411	54,464	1,053	5,348435595	B1M22TT	2	1	47,096	49,527	2,431	11,6796387
CM32MT	2	0,5	51,59	52,474	0,884	4,490044697	B1M22TT	2	0,5	46,521	48,255	1,734	8,330931104
CM32MT	2	0,25	47,032	47,915	0,883	4,484965461	B1M22TT	2	0,25	45,042	47,248	2,206	10,59863553
CM32MT	2	0,105	53,313	54,231	0,918	4,662738724	B1M22TT	2	0,105	52,925	54,054	1,129	5,424233689
CM32TT	1	2	45,282	58,442	13,16	69,01977238	B1M22MT	1	2	42,663	47,952	5,289	33,96480863
CM32TT	1	1	48,879	49,957	1,078	5,653747312	B1M22MT	1	1	44,296	46,748	2,452	15,74621115
CM32TT	1	0,5	48,84	50,318	1,478	7,751612734	B1M22MT	1	0,5	44,712	47,639	2,927	18,79655792
CM32TT	1	0,25	51,773	53,539	1,766	9,262075838	B1M22MT	1	0,25	36,702	39,271	2,569	16,49755972
CM32TT	1	0,105	46,61	48,195	1,585	8,312791734	B1M22MT	1	0,105	44,631	46,966	2,335	14,99486257
CM32TT	2	2	44,104	54,544	10,44	63,70126304	B1M22MT	2	2	43,352	48,488	5,136	32,25117739
CM32TT	2	1	49,874	51,78	1,906	11,62975166	B1M22MT	2	1	43,797	46,346	2,549	16,00627943
CM32TT	2	0,5	45,663	47,724	2,061	12,57550796	B1M22MT	2	0,5	50,86	54,041	3,181	19,97488226
CM32TT	2	0,25	44,236	46,218	1,982	12,09347733	B1M22MT	2	0,25	48,89	51,607	2,717	17,06122449
CM32TT	2	0,105	48,736	46,216	0	0	B1M22MT	2	0,105	51,601	53,943	2,342	14,70643642
CM32BT	1	2	41,661	53,616	11,955	55,10740297	B1M22BT	1	2	52,875	61,365	8,49	49,94411436
CM32BT	1	1	46,616	48,728	2,112	9,735410713	B1M22BT	1	1	45,116	47,622	2,506	14,74204365
CM32BT	1	0,5	49,349	51,886	2,537	11,69447774	B1M22BT	1	0,5	50,292	52,524	2,232	13,13018413
CM32BT	1	0,25	45,538	48,129	2,591	11,94339449	B1M22BT	1	0,25	45,455	47,312	1,857	10,92417201
CM32BT	1	0,105	46,468	48,967	2,499	11,5193141	B1M22BT	1	0,105	52,477	54,391	1,914	11,25948585
CM32BT	2	2	45,027	51,408	6,381	40,36053131	B1M22BT	2	2	48,022	55,695	7,673	45,74886716
CM32BT	2	1	45,263	47,569	2,306	14,58570525	B1M22BT	2	1	45,146	47,812	2,666	15,89550419
CM32BT	2	0,5	44,966	47,512	2,546	16,10373182	B1M22BT	2	0,5	50,924	53,359	2,435	14,51824469
CM32BT	2	0,25	44,349	46,607	2,258	14,28209994	B1M22BT	2	0,25	53,319	55,333	2,014	12,00810875
CM32BT	2	0,105	45,217	47,536	2,319	14,66793169	B1M22BT	2	0,105	45,349	47,333	1,984	11,82923921
B1M32TT	1	2	45,284	53,454	8,17	45,71908226	B1M12TT	1	2	47,932	55,364	7,432	37,26434015
B1M32TT	1	1	45,776	48,248	2,472	13,83324007	B1M12TT	1	1	49,061	51,591	2,53	12,68551945
B1M32TT	1	0,5	43,022	45,721	2,699	15,10352546	B1M12TT	1	0,5	45,751	49,209	3,458	17,33854793
B1M32TT	1	0,25	45,954	48,364	2,41	13,48628987	B1M12TT	1	0,25	45,375	48,807	3,432	17,20818291
B1M32TT	1	0,105	43,246	45,365	2,119	11,85786234	B1M12TT	1	0,105	47,558	50,65	3,092	15,50340955
B1M32TT	2	2	48,329	56,052	7,723	44,33155387	B1M12TT	2	2	48,356	55,595	7,239	35,42278332
B1M32TT	2	1	45,435	47,635	2,2	12,62843694	B1M12TT	2	1	51,24	53,753	2,513	12,29692699
B1M32TT	2	0,5	38,888	41,538	2,65	15,21152632	B1M12TT	2	0,5	50,601	54,346	3,745	18,32550401
B1M32TT	2	0,25	44,079	46,582	2,503	14,36771712	B1M12TT	2	0,25	43,968	47,638	3,67	17,9585046
B1M32TT	2	0,105	45,522	47,867	2,345	13,46076574	B1M12TT	2	0,105	47,951	51,22	3,269	15,99628107
B1M32MT	1	2	44,922	53,105	8,183	45,05312999	B2M12MT	1	2	45,883	60,945	15,062	74,86827716
B1M32MT	1	1	45,778	48,627	2,849	15,68573474	B2M12MT	1	1	47,955	49,43	1,475	7,331742718
B1M32MT	1	0,5	46,717	49,646	2,929	16,12619061	B2M12MT	1	0,5	50,806	52,213	1,407	6,993736952
B1M32MT	1	0,25	45,807	48,077	2,27	12,49793536	B2M12MT	1	0,25	42,559	43,737	1,178	5,855452828
B1M32MT	1	0,105	44,72	46,652	1,932	10,6370093	B2M12MT	1	0,105	45,223	46,219	0,996	4,950790337

Planilha 23 - Análise de estabilidade dos agregados (continuação.....)

Parcela	Repetição	Peneira	Tara	Tara+Retido	Retido	Agregado	Parcela	Repetição	Peneira	Tara	Tara+Retido	Retido	Agregado
B1M32MT	2	2	45,816	53,657	7,841	42,04740455	B2M12MT	2	2	47,339	62,022	14,683	68,75351189
B1M32MT	2	1	46,232	49,433	3,201	17,16537967	B2M12MT	2	1	47,096	48,949	1,853	8,676718487
B1M32MT	2	0,5	45,286	48,211	2,925	15,68532819	B2M12MT	2	0,5	46,521	47,987	1,466	6,864581382
B1M32MT	2	0,25	44,923	47,341	2,418	12,96653797	B2M12MT	2	0,25	45,042	47,223	2,181	10,21258663
B1M32MT	2	0,105	45,66	47,923	2,263	12,13534964	B2M12MT	2	0,105	52,925	54,098	1,173	5,492601611
B1M32BT	1	2	46,467	54,686	8,219	44,48714479	B2M12BT	1	2	45,282	55,29	10,008	48,79570941
B1M32BT	1	1	44,48	47,749	3,269	17,69418133	B2M12BT	1	1	48,879	51,263	2,384	11,62359824
B1M32BT	1	0,5	47,835	50,535	2,7	14,61434371	B2M12BT	1	0,5	48,84	51,766	2,926	14,2662116
B1M32BT	1	0,25	47,7	50,014	2,314	12,52503383	B2M12BT	1	0,25	51,773	54,501	2,728	13,30082886
B1M32BT	1	0,105	47,299	49,272	1,973	10,67929635	B2M12BT	1	0,105	46,61	49,074	2,464	12,01365188
B1M32BT	2	2	43,098	50,802	7,704	41,25743051	B2M12BT	2	2	44,104	53,595	9,491	53,17980613
B1M32BT	2	1	42,956	46,496	3,54	18,95785359	B2M12BT	2	1	49,874	52,851	2,977	16,68067462
B1M32BT	2	0,5	49,657	52,518	2,861	15,32158732	B2M12BT	2	0,5	45,663	48,64	2,977	16,68067462
B1M32BT	2	0,25	39,208	41,605	2,397	12,83671611	B2M12BT	2	0,25	44,236	46,638	2,402	13,45884462
B1M32BT	2	0,105	47,132	49,303	2,171	11,62641247	B2M12BT	2	0,105	48,736	46,567	0	0
CM22TT	1	2	45,136	59,46	14,324	66,10059991	B2M22MT	1	2	45,32	64,226	18,906	71,02178813
CM22TT	1	1	43,284	45,591	2,307	10,64605445	B2M22MT	1	1	43,105	46,033	2,928	10,99924869
CM22TT	1	0,5	46,76	48,491	1,731	7,988001846	B2M22MT	1	0,5	49,672	52,002	2,33	8,752817431
CM22TT	1	0,25	49,904	51,493	1,589	7,332718043	B2M22MT	1	0,25	50,533	52,033	1,5	5,634861007
CM22TT	1	0,105	49,552	51,271	1,719	7,93262575	B2M22MT	1	0,105	45,457	46,413	0,956	3,591284748
CM22TT	2	2	50,411	62,471	12,06	58,14289847	B2M22MT	2	2	43,314	58,714	15,4	65,0173098
CM22TT	2	1	53,411	55,907	2,496	12,03355511	B2M22MT	2	1	35,216	38,41	3,194	13,48475893
CM22TT	2	0,5	51,59	53,898	2,308	11,12718156	B2M22MT	2	0,5	43,843	46,246	2,403	10,14523347
CM22TT	2	0,25	47,032	48,987	1,955	9,425320606	B2M22MT	2	0,25	44,705	46,273	1,568	6,619944271
CM22TT	2	0,105	53,313	55,236	1,923	9,271044258	B2M22MT	2	0,105	43,922	45,043	1,121	4,732753525
CM22MT	1	2	41,661	59,37	17,709	62,64459302	B2M22TT	1	2	52,875	62,812	9,937	44,55454423
CM22MT	1	1	46,616	49,492	2,876	10,17368849	B2M22TT	1	1	45,116	48,312	3,196	12,784
CM22MT	1	0,5	49,349	52,212	2,863	10,12770172	B2M22TT	1	0,5	50,292	53,912	3,62	14,48
CM22MT	1	0,25	45,538	48,131	2,593	9,172591885	B2M22TT	1	0,25	45,455	48,48	3,025	12,1
CM22MT	1	0,105	46,468	48,696	2,228	7,881424882	B2M22TT	1	0,105	52,477	55,002	2,525	10,1
CM22MT	2	2	45,027	57,023	11,996	52,5035014	B2M22TT	2	2	48,022	56,482	8,46	38,69551297
CM22MT	2	1	45,263	48,448	3,185	13,93995098	B2M22TT	2	1	45,146	48,563	3,417	15,62914513
CM22MT	2	0,5	44,966	47,879	2,913	12,74947479	B2M22TT	2	0,5	50,924	54,591	3,667	16,77262956
CM22MT	2	0,25	44,349	46,788	2,439	10,67489496	B2M22TT	2	0,25	53,319	56,726	3,407	15,58340575
CM22MT	2	0,105	45,217	47,532	2,315	10,13217787	B2M22TT	2	0,105	45,349	48,261	2,912	13,31930659
CM22BT	1	2	43,624	51,291	7,667	37,68493487	B2M22BT	1	2	44,922	59,844	14,922	65,69227383
CM22BT	1	1	48,852	52,195	3,343	16,43155566	B2M22BT	1	1	45,778	48,174	2,396	10,54809597
CM22BT	1	0,5	41,777	45,398	3,621	17,79798476	B2M22BT	1	0,5	46,717	48,851	2,134	9,394673123
CM22BT	1	0,25	45,655	48,806	3,151	15,48783485	B2M22BT	1	0,25	45,807	47,484	1,677	7,382786705
CM22BT	1	0,105	40,884	43,447	2,563	12,59768985	B2M22BT	1	0,105	44,72	46,306	1,586	6,982170372
CM22BT	2	2	46,433	54,872	8,439	40,11884954	B2M22BT	2	2	45,816	60,221	14,405	62,8161521
CM22BT	2	1	49,142	52,43	3,288	15,63109104	B2M22BT	2	1	46,232	49,149	2,917	12,72021629
CM22BT	2	0,5	42,024	45,591	3,567	16,95745187	B2M22BT	2	0,5	45,286	47,493	2,207	9,624106053
CM22BT	2	0,25	43,53	46,499	2,969	14,11457095	B2M22BT	2	0,25	44,923	46,561	1,638	7,142857143
CM22BT	2	0,105	47,435	50,207	2,772	13,17803661	B2M22BT	2	0,105	45,66	47,425	1,765	7,696668411

Planilha 23 - Análise de estabilidade dos agregados (continuação.....)

AP2TT	1	2	45,284	54,905	9,621	45,66424605	REF2MT	1	2	47,932	56,966	9,034	50,16937857
AP2TT	1	1	45,776	49,358	3,582	17,0012815	REF2MT	1	1	49,061	51,525	2,464	13,6835675
AP2TT	1	0,5	43,022	46,286	3,264	15,491955	REF2MT	1	0,5	45,751	47,784	2,033	11,29005387
AP2TT	1	0,25	45,954	48,401	2,447	11,61421994	REF2MT	1	0,25	45,375	47,666	2,291	12,72283001
AP2TT	1	0,105	43,246	45,401	2,155	10,2282975	REF2MT	1	0,105	47,558	49,743	2,185	12,13417004
AP2TT	2	2	48,329	57,608	9,279	43,04601967	REF2MT	2	2	48,356	56,403	8,047	44,88759971
AP2TT	2	1	45,435	49,496	4,061	18,83930228	REF2MT	2	1	51,24	53,431	2,191	12,22178836
AP2TT	2	0,5	38,888	42,239	3,351	15,54555576	REF2MT	2	0,5	50,601	53,298	2,697	15,04434652
AP2TT	2	0,25	44,079	46,595	2,516	11,67192429	REF2MT	2	0,25	43,968	46,451	2,483	13,85061639
AP2TT	2	0,105	45,522	47,871	2,349	10,897198	REF2MT	2	0,105	47,951	50,46	2,509	13,99564902
AP2BT	1	2	42,663	56,328	13,665	62,14470872	REF2BT	1	2	41,661	54,907	13,246	50,24275527
AP2BT	1	1	44,296	46,247	1,951	8,872618127	REF2BT	1	1	46,616	49,737	3,121	11,83811258
AP2BT	1	0,5	44,712	46,919	2,207	10,0368366	REF2BT	1	0,5	49,349	53,168	3,819	14,48566227
AP2BT	1	0,25	36,702	38,867	2,165	9,845832007	REF2BT	1	0,25	45,538	49,187	3,649	13,84084357
AP2BT	1	0,105	44,631	46,632	2,001	9,100004548	REF2BT	1	0,105	46,468	48,997	2,529	9,592626309
AP2BT	2	2	43,352	55,94	12,588	56,60580987	REF2BT	2	2	45,027	52,968	7,941	38,19257407
AP2BT	2	1	43,797	46,126	2,329	10,47306412	REF2BT	2	1	45,263	48,069	2,806	13,49557522
AP2BT	2	0,5	50,86	53,346	2,486	11,17906287	REF2BT	2	0,5	44,966	48,566	3,6	17,31435167
AP2BT	2	0,25	48,89	51,247	2,357	10,59897473	REF2BT	2	0,25	44,349	48,004	3,655	17,57887649
AP2BT	2	0,105	51,601	54,079	2,478	11,14308841	REF2BT	2	0,105	45,217	48,007	2,79	13,41862255
AP2MT	1	2	46,467	58,494	12,027	54,083101	REF2TT	1	2	45,136	54,33	9,194	46,21029353
AP2MT	1	1	44,48	47,362	2,882	12,95979854	REF2TT	1	1	43,284	45,813	2,529	12,71109771
AP2MT	1	0,5	47,835	50,493	2,658	11,95251372	REF2TT	1	0,5	46,76	49,782	3,022	15,18898271
AP2MT	1	0,25	47,7	50,203	2,503	11,25550859	REF2TT	1	0,25	49,904	52,652	2,748	13,81182147
AP2MT	1	0,105	47,299	49,68	2,381	10,7068981	REF2TT	1	0,105	49,552	51,955	2,403	12,07780458
AP2MT	2	2	43,098	56,381	13,283	58,43818742	REF2TT	2	2	50,411	58,891	8,48	42,4084817
AP2MT	2	1	42,956	45,544	2,588	11,3858337	REF2TT	2	1	53,411	56,188	2,777	13,88777756
AP2MT	2	0,5	49,657	51,878	2,221	9,771227453	REF2TT	2	0,5	51,59	54,843	3,253	16,26825365
AP2MT	2	0,25	39,208	41,497	2,289	10,07039155	REF2TT	2	0,25	47,032	49,962	2,93	14,65293059
AP2MT	2	0,105	47,132	49,481	2,349	10,33435988	REF2TT	2	0,105	53,313	55,869	2,556	1.243.235
B2M32TT	1	2	45,282	51,716	6,434	39,40711705	CM11TT	1	2	45,32	55,539	10,219	44,32059678
B2M32TT	1	1	48,879	50,358	1,479	9,058614565	CM11TT	1	1	43,105	46,381	3,276	14,20826647
B2M32TT	1	0,5	48,84	51,329	2,489	15,24468672	CM11TT	1	0,5	49,672	53,186	3,514	15,24049096
B2M32TT	1	0,25	51,773	54,599	2,826	17,30875237	CM11TT	1	0,25	50,533	53,32	2,787	12,08743549
B2M32TT	1	0,105	46,61	49,709	3,099	18,9808293	CM11TT	1	0,105	45,457	48,718	3,261	14,1432103
B2M32TT	2	2	44,104	50,05	5,946	46,35173059	CM11TT	2	2	43,314	49,616	6,302	32,97749869
B2M32TT	2	1	49,874	51,607	1,733	13,50951045	CM11TT	2	1	35,216	37,777	2,561	13,40136054
B2M32TT	2	0,5	45,663	48,028	2,365	18,43623324	CM11TT	2	0,5	43,843	46,943	3,1	16,22187336
B2M32TT	2	0,25	44,236	47,02	2,784	21,70252572	CM11TT	2	0,25	44,705	47,891	3,186	16,67189953
B2M32TT	2	0,105	48,736	47,594	0	0	CM11TT	2	0,105	43,922	47,883	3,961	20,72736787
B2M32BT	1	2	45,883	50,816	4,933	33,82937869	CM11MT	1	2	18,01	37,007	18,997	75,97584386
B2M32BT	1	1	47,955	49,445	1,49	10,21807708	CM11MT	1	1	24,777	26,75	1,973	7,890737482
B2M32BT	1	0,5	50,806	53,207	2,401	16,46550542	CM11MT	1	0,5	23,566	24,919	1,353	5,411134219
B2M32BT	1	0,25	42,559	45,285	2,726	18,69428062	CM11MT	1	0,25	44,005	45,939	1,934	7,734762438
B2M32BT	1	0,105	45,223	48,255	3,032	20,7927582	CM11MT	1	0,105	45,026	45,773	0,747	2,987521996

Planilha 23 - Análise de estabilidade dos agregados (continuação.....)

B2M32BT	2	2	47,339	52,43	5,091	31,59168477	CM11MT	2	2	43,158	61,692	18,534	76,99721657
B2M32BT	2	1	47,096	48,696	1,6	9,928637915	CM11MT	2	1	44,134	46,302	2,168	9,006688546
B2M32BT	2	0,5	46,521	48,971	2,45	15,20322681	CM11MT	2	0,5	42,785	44,272	1,487	6,177558057
B2M32BT	2	0,25	45,042	48,931	3,889	24,13279553	CM11MT	2	0,25	43,692	44,748	1,056	4,387021727
B2M32BT	2	0,105	52,925	56,01	3,085	19,14365498	CM11MT	2	0,105	45,57	46,396	0,826	3,431515101
B2M32MT	1	2	43,624	50,339	6,715	26,86	CM11BT	1	2	52,875	65,398	12,523	54,40761177
B2M32MT	1	1	48,852	51,316	2,464	9,856	CM11BT	1	1	45,116	48,385	3,269	14,20254594
B2M32MT	1	0,5	41,777	44,745	2,968	11,872	CM11BT	1	0,5	50,292	53,377	3,085	13,40313681
B2M32MT	1	0,25	45,655	48,58	2,925	11,7	CM11BT	1	0,25	45,455	47,733	2,278	9,897032628
B2M32MT	1	0,105	40,884	43,834	2,95	11,8	CM11BT	1	0,105	52,477	54,339	1,862	8,089672851
B2M32MT	2	2	46,433	54,316	7,883	42,13254944	CM11BT	2	2	48,022	59,757	11,735	51,76216312
B2M32MT	2	1	49,142	51,401	2,259	12,07375735	CM11BT	2	1	45,146	48,089	2,943	12,9813418
B2M32MT	2	0,5	42,024	44,853	2,829	15,12025655	CM11BT	2	0,5	50,924	54,164	3,24	14,29138547
B2M32MT	2	0,25	43,53	46,368	2,838	15,16835917	CM11BT	2	0,25	53,319	55,912	2,593	11,4375193
B2M32MT	2	0,105	47,435	50,336	2,901	15,5050775	CM11BT	2	0,105	45,349	47,509	2,16	9,527590314
B1M12MT	1	2	44,922	50,792	5,87	35,81670633	B1M12TT	2	0,5	49,657	53,426	3,769	17,74064486
B1M12MT	1	1	45,778	47,547	1,769	10,79382513	B1M12TT	2	0,25	39,208	43,117	3,909	18,39962344
B1M12MT	1	0,5	46,717	49,288	2,571	15,68735127	B1M12TT	2	0,105	47,132	50,383	3,251	15,3024241
B1M12MT	1	0,25	45,807	48,743	2,936	17,91445482	B1M12TT	1	2	46,467	54,806	8,339	39,09333833
B1M12MT	1	0,105	44,72	47,963	3,243	19,78766246	B1M12TT	1	1	44,48	47,413	2,933	13,7499414
B1M12MT	2	2	45,816	50,492	4,676	28,61513983	B1M12TT	1	0,5	47,835	51,669	3,834	17,97384089
B1M12MT	2	1	46,232	48,306	2,074	12,69200171	B1M12TT	1	0,25	47,7	51,139	3,439	16,12207585
B1M12MT	2	0,5	45,286	48,279	2,993	18,31589254	B1M12TT	1	0,105	47,299	50,085	2,786	13,06080353
B1M12MT	2	0,25	44,923	48,207	3,284	20,09668931	B1M12TT	2	2	43,098	50,633	7,535	35,46716875
B1M12MT	2	0,105	45,66	48,974	3,314	20,2802766	B1M12TT	2	1	42,956	45,737	2,781	13,09013886