



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO**



**AVALIAÇÃO DE GEOTEXTEIS NO CONTROLE DA EROSÃO
SUPERFICIAL A PARTIR DE UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL,
FAZENDA DO GLÓRIA – MG.**

JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA

**UBERLÂNDIA/MG
2006**

JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA

**AVALIAÇÃO DE GEOTEXTEIS NO CONTROLE DA EROSÃO
SUPERFICIAL A PARTIR DE UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL,
FAZENDA DO GLÓRIA – MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues.

**Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2006**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B574a Bezerra, José Fernando Rodrigues, 1979-

Avaliação de geotexteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental, Fazenda do Glória - MG / José Fernando Rodrigues Bezerra. - 2006.

104 f. : il.

Orientador: Silvio Carlos Rodrigues.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui bibliografia.

1. Geomorfologia - Teses. 2. Solos - Erosão - Teses. 3. Bioengenharia - Teses. 4. Geotêxteis - Teses. I. Rodrigues, Silvio Carlos. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 551.4

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

José Fernando Rodrigues Bezerra

***AVALIAÇÃO DE GEOTEXTEIS NO CONTROLE DA EROÇÃO SUPERFICIAL A
PARTIR DE UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL, FAZENDA DO GLÓRIA – MG.***

Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues (Orientador)

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Prof. Dr. Samuel do Carmo Lima

Data: ____ / ____ de ____

Resultado: _____

A minha mãe, Dagmar e a minha irmã, Janilde

*Ao meu pai José Francisco
in memoriam*

As minhas avós, Josefa e Nelsa

E aos meus sobrinhos

Agradecimentos:

A Deus pelo dom da vida e as portas abertas.

Ao professor Dr. Silvio Carlos Rodrigues pelo apoio, dedicação e orientação na realização da pesquisa.

Ao professor Dr. Antonio Cordeiro Feitosa pela dedicação, incentivo e iniciação a pesquisa científica.

Ao professor Dr. Antônio José Teixeira Guerra pela iniciação científica e as oportunidades.

Aos estagiários do Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – LAGES, especialmente para Edson, Pedro e Zé.

À minha amiga Rosângela, pela imensa amizade, carinho e apoio na pesquisa.

Ao Malaquias pela amizade e o apoio técnico na realização desta pesquisa.

Aos meus amigos Baltazar, Carioca e Clemilson pela amizade e companheirismo.

Aos meus novos amigos, Gleiciane, Josenilson, Clarice, Tatiane, Paulinha, Dane, Thaís, Érica e Michele pelo carinho.

Aos meus grandes amigos: Maria Ferreira, Eulina, Jane, Nana, Ribamar, Lílian, Marcinha, Jodelma, Wlisses, Lenice, José Antônio, Neillianne, Fernanda, Lívia, pela imensa amizade e os bons momentos.

Aos meus amigos do Bairro: Sérgio, Nilson, Alessy, Ronaldo, Jorge, Jumbinho, Jeová, Samuel, Reis e Rose.

Aos meus amigos de escola: Januário, Glauber, Elizene, Fernanda, Ronilson, Cleide, Tatiana e Germana.

A FAPEMIG pelo apoio a pesquisa.

A União Européia pelo apoio financeiro ao Projeto Borassus.

*“Tenho o desejo de realizar uma
tarefa importante na vida. Mas meu
primeiro dever está em realizar
humildes coisas como se fossem
grandes e nobres”.*

Helen Keller

RESUMO

Palavras-chave: Processos erosivos, Geomorfologia, Bioengenharia e Geotêxteis.

Este trabalho tem como objetivo analisar através do monitoramento e avaliação, a eficiência de geotêxteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental na Fazenda do Glória, Uberlândia – MG. Os procedimentos metodológicos adotados na realização desta pesquisa foram: Levantamento e análise dos materiais bibliográfico e cartográfico; confecção artesanal de 40 geotêxteis (fibra de buriti); construção de duas parcelas com 10 m² cada, possuindo 12° de declividade; aplicação de sementes e insumos na parcela, tais como NPK e calcário; aplicação da tela vegetal; monitoramento dos índices pluviométricos; fotocomparação; tensiometria (120, 80, 30 e 15 cm de profundidade) e medição da umidade superficial. No laboratório, foram analisados a pesagem dos sedimentos coletados (2l) nos galões, granulometria, quantidade de matéria orgânica e pH. A estação experimental possui duas parcelas, solo exposto e geotextil, na qual foram monitorados durante 5 meses os parâmetros já descritos, sempre comparando e correlacionando os dados obtidos. As geotêxteis garantiram a manutenção da umidade superficial, imprescindível para a germinação das sementes e comprovado no experimento a partir dos dados de umidade superficial que variaram no solo exposto entre 1,1 a 26,9%, enquanto na geotextil entre 3,5 a 34,1%. A maior umidade superficial nesta última, foi praticamente constante, desde a sua aplicação até o desenvolvimento da cobertura vegetal. Os dados de tensiometria demonstraram a importância do sistema radicular da vegetação para distribuição e manutenção da água no solo, sendo as menores poro-pressões encontradas nas profundidades de 15 e 30 cm na parcela com a geotextil, atingindo -67,1 kPa. No solo exposto, a poro-pressão foi constante, não ultrapassando -27,7 kPa (15 cm), o que demonstra de forma indireta um solo mais saturado, com rápida formação do fluxo superficial. Durante o monitoramento, foram registrados 1.087 mm de chuvas gerando um escoamento superficial de 2.991,6 l no solo exposto, enquanto no sistema SG, o fluxo superficial chegou a 1.289,2 l. No tocante aos processos erosivos, os resultados apontaram uma diferença significativa na contenção de sedimentos na parcela com solo com geotêxteis e gramíneas atingindo 13,18 kg/10m², enquanto no solo exposto chegou a 197,26 kg/10m².

ABSTRACT

Key Words: Erosion process, Geomorphology, Bioengineering, Geotextile.

This study had as objective to analyze the efficiency of geotextiles in the superficial erosion through monitoring and evaluation control at the experimental station on “Fazenda do Gloria”, Uberlândia - MG. The methodological procedures taken in the research accomplishment were: Survey and analysis of bibliographical and cartographic data; handmade confection of 40 geotextile (buriti mat); preparation of two plots measuring 10 m² each and having 12° of declivity; application of seeds and fertilizers in the area, such as NPK, calcareous and vegetal cover; pluviometric index monitoring; photo comparison; tensiometry (120, 80, 30 and 15 cm in depth) and measurement of soil superficial humidity. The weight of sediments collected (2l) in the gallons, granulometry, amount of organic substance and pH was analyzed in the laboratory. There were two plots at the experimental station, bare ground and geotextile. They were monitored for 6 months and the collected data was always noted and compared. In the geotextile plot, superficial humidity was maintained, which was essential for seeds germination and proven in the experiment from the data of superficial humidity that had varied in the bare ground between 1,1 26.9%, while in the geotextile it had been between 3,5 34.1%.

The highest superficial humidity index on the geotextile experiment was practically constant, since its application up to the vegetal covering development. The tensiometry data demonstrated the vegetation radicular system importance in the distribution and maintenance of water in the ground, the smallest pore pressure was detected in the depths of 15 and 30 cm in the geotextile plot, reaching -67,1 kPa. In the bare ground, the pore pressure was constant, not exceeding -27,7 kPa (15 cm), which demonstrated a more saturated ground, with rapid superficial flow formation. It had been registered 1,087 mm of rain during the monitoring process, causing a superficial draining of 2,991, 6 l in the bare ground, while in the system SG superficial flow came to 1,289, 2 l. In regards to the erosive process, the results pointed a significant difference in the containment of sediments in the plot having geotextile and grass reaching 13,18kg/10m², while in the bared SOIL it came to 197,26Kg/10m².

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS DA PESQUISA	04
2.1 Objetivo Geral	04
2.2 Objetivos específicos	04
3. JUSTIFICATIVAS	05
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	08
4.1 Fotocomparação e Desenvolvimento da Cobertura Vegetal	08
3.2 Umidade do Solo	11
4.3 Potencial Matricial	15
4.4 Geotêxteis e Erosão Superficial	19
5. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	23
5.1 Levantamentos Bibliográfico e Cartográfico	26
5.2 Levantamento de Campo	26
5.2.1 Estação Experimental	26
5.2.2 Fotocomparação com Classificação Supervisionada	30
5.2.3 Umidade no Solo	32
5.2.4 Potencial Matricial	34
5.3 Trabalho de Laboratório e Gabinete	35
5.3.1 Laboratório	35
5.3.2 Análises Estatísticas	38
6. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA	40

7. ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS	41
8. FOTOCOMPARAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA COBERTURA VEGETAL	43
9. UMIDADE SUPERFICIAL	62
10. POTENCIAL MATRICIAL E EROSÃO SUPERFICIAL	63
11. GEOTÊXTEIS E EROSÃO SUPERFICIAL	75
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
REFERÊNCIAS	97

LISTA DE FIGURAS

Fig. 01 - Mapa de Localização da área de estudo	03
Fig. 02 – Síntese dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa	25
Fig. 03 – Estação experimental com solo exposto e solo com geotêxteis	28
Fig. 04 – Geotêxtil confeccionado com fibra de buriti	29
Fig. 05 - Fotografia digital horizontal na parcela com solo exposto.	31
Fig. 06 – Classificação supervisionada da fotografia na parcela com solo exposto	32
Fig. 07 - Utilização do medidor de umidade superficial	33
Fig. 08 - Utilização de tensímetro para a medição do potencial matricial	34
Fig. 09 – Agitador e Jogo de peneiras para a análise granulométrica	37
Fig. 10 – Estufas utilizadas para secagem das amostras	37
Fig. 11 – Distribuição dos índices pluviométricos no período do monitoramento	42
Fig. 12 – Relação entre o desenvolvimento da cobertura vegetal, geotêxtil e solo	44
Fig. 13 – Classificação supervisionada indicando a proteção dos geotêxteis na superfície do solo	44
Fig. 14 – Fotocomparação com visualização dos geotêxteis e início do desenvolvimento das gramíneas	45
Fig. 15 – Fotocomparação com visualização dos geotêxteis, gramíneas e o processo de biodegradação	46
Fig. 16 – Ação do cupim na biodegradação dos geotêxteis	47
Fig. 17 – Visualização da decomposição do geotêxtil pelos fungos através de um microscópio eletrônico (20x)	48
Fig. 18 – Vista parcial do processo de biodegradação do geotêxtil fornecendo matéria orgânica para o solo no início do monitoramento	49
Fig. 19 – Processo de biodegradação do geotêxtil fornecendo matéria orgânica para o solo no penúltimo mês de monitoramento	49
Fig. 20 – Fotocomparação com visualização parcial das gramíneas encobrindo os geotêxteis e protegendo o solo	50
Fig. 21 – Fotocomparação com visualização das gramíneas	51
Fig. 22 – Fotocomparação com visualização da influência das gramíneas na área amostral	51
Fig. 23 – Vista da estação experimental durante a influência dos geotêxteis sobre a umidade superficial	53
Fig. 24 – Variação da umidade superficial entre as duas parcelas – SE solo exposto e SG solo geotêxtil durante a primeira etapa de estudo	53
Fig. 25 – Biodegradação e acumulação de sedimentos nos geotêxteis	54
Fig. 26 – Vista da estação experimental na segunda etapa do monitoramento da umidade superficial	55
Fig. 27 – Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante a segunda etapa de estudo	56
Fig. 28 – Seixos e cascalhos na parcela com solo exposto	56
Fig. 29 – Vista da estação experimental durante a influência das gramíneas sobre a umidade	58

superficial

Fig. 30 - Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante a terceira etapa de estudo	58
Fig. 31 - Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante todo o monitoramento	60
Fig. 32 - Comportamento da umidade superficial no experimento no período com baixa precipitação	60
Fig. 33 – Potencial matricial nas profundidades de 15 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG)	69
Fig. 34 – Potencial matricial nas profundidades de 30 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG)	69
Fig. 35 – Potencial matricial nas profundidades de 80 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG)	69
Fig. 36 – Potencial matricial nas profundidades de 120 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG)	69
Fig. 37 – Relação do potencial matricial (15 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de gramínea (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis)	70
Fig. 38 – Relação do potencial matricial (30 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de gramínea (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis)	70
Fig. 39 – Relação do potencial matricial (30 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de gramínea (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis)	70
Fig. 40 – Relação do potencial matricial (30 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de gramínea (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis)	70
Fig. 41 – Relação entre potencial matricial e escoamento superficial (Solo Exposto -15 cm)	72
Fig. 42 – Relação entre potencial matricial e escoamento superficial (Solo Geotêxtil -15 cm)	72
Fig. 43 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis sem a presença de vegetação	72
Fig. 44 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis e gramíneas	73
Fig. 45 – Movimentação da água no perfil do sistema solo com geotêxteis e sem a presença da vegetação	74
Fig. 46 – Movimentação da água no perfil do sistema solo com geotêxteis e gramíneas	74
Fig. 47 – Variação temporal do escoamento superficial nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG)	76
Fig. 48 – Variação temporal da perda de sedimentos nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG)	76
Figura 49 – Granulometria do material superficial nas parcelas com solo exposto e geotêxteis	82
Fig. 50 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência dos geotêxteis	83
Fig. 51 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxteis na primeira etapa	84
Fig. 52 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na primeira etapa	84
Fig. 53 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência dos geotêxteis e gramíneas	86
Fig. 54 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxteis na segunda etapa	86
Fig. 55 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na segunda etapa	87
Fig. 56 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência das gramíneas	89

Fig. 57 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxtil na terceira etapa	89
Fig. 58 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na terceira etapa	90
Fig. 59 – Diferença no <i>splash erosion</i> nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis	91
Fig. 60 – Pedestal formado na parcela com solo exposto a partir do trabalho da erosão diferencial	91
Fig. 61 – Ravina com ramificações	92
Fig. 62 – Retenção de sedimentos mais grosseiros nos geotêxteis	92
Fig. 63 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis sem a presença de vegetação	93
Fig. 64 – Diferença na produção de sedimentos nas parcelas com solo exposto e solo com geotêxteis sem a vegetação	93

QUADROS

Quadro 01 – Gramíneas utilizadas na recuperação de processos erosivos	10
Quadro 02 – Dados de umidade superficial nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis e gramíneas (SG)	62
Quadro 03 – Variação do escoamento superficial e perdas de sedimentos nas parcelas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis e gramíneas (SG)	76
Quadro 04 – Intervalos de chuvas com seu respectivo escoamento superficial e perdas de sedimentos na parcela com solo exposto	81
Quadro 05 – Intervalos de chuvas com seu respectivo escoamento superficial e perdas de sedimentos na parcela solo com geotêxteis e gramíneas	81

1. INTRODUÇÃO

A intervenção antrópica nas formas do relevo, nos últimos anos, vem acelerando o processo de degradação ambiental, se tornando um tema essencial dentro da ciência geomorfológica (GARDINER, 1986; TRICART, 1986; ROSS, 1990; GUERRA & CUNHA, 1996; GUERRA & MARÇAL, 2006). A Geomorfologia está direcionada para a compreensão das formas do relevo, procurando-se estabelecer a explicação genética e as inter-relações com os demais componentes da natureza. Nesse contexto, a erosão dos solos ganha cada vez destaque.

A erosão é um dos principais processos de modificação da paisagem, podendo ser intensificada pela ação antrópica. Essa interferência pode ser percebida de forma direta em áreas urbanas e rurais. Nos centros urbanos onde a transformação da paisagem apresenta-se de forma desordenada, sem que haja um planejamento adequado, os problemas ambientais são iminentes, como erosão, assoreamento, poluição e contaminação da água entre outros que afetam a qualidade de vida da população.

A principal estratégia da conservação do solo é obter o máximo nível de produtividade das terras, mantendo a perda de solo em baixo nível. Outro aspecto importante é a necessidade de diminuir a erosão para o controle da perda de nutrientes das terras cultiváveis, com o intuito de prevenir a poluição dos corpos d'água; diminuição das taxas de sedimentação em reservatórios, rios, canais e lagos. Assim, a erosão deve ser controlada para prevenir a degradação das terras que acarreta o seu abandono e torna difícil a sua recuperação, implicando severas limitações para o uso futuro.

O conhecimento geomorfológico associado à Engenharia, Pedologia, Bioengenharia e outras ciências afins, vem contribuindo no controle e recuperação de áreas degradadas. Esse conhecimento é obtido, na maioria das vezes, a partir do estudo acadêmico básico, através de levantamentos sistemáticos, principalmente com as estações experimentais que vêm se destacando nas últimas décadas sobre o entendimento do início e desenvolvimento de processos erosivos (BACCARO, 1999; CASSETI, 2006).

A Bioengenharia é uma associação de técnicas de engenharia e biologia, baseando-se na utilização de materiais flexíveis (geotêxtil) e rígidos (ferro, concreto, etc.). O geotêxtil é uma manta anti-erosiva colocada sobre o solo e confeccionada a partir de diversos materiais, principalmente feitas com folhas de palmáceas que tem como características a biodegradabilidade. Os geotêxteis vêm contribuindo como uma técnica de conservação do solo desde 1950, utilizado principalmente nos projetos de engenharia civil. Recentemente, outros profissionais como geógrafos, biólogos, engenheiros florestais, agrônomos vêm utilizando essa técnica, com diversos tipos de materiais.

Na área de estudo, localizada na Fazenda Experimental do Glória – Uberlândia/MG (Fig. 01), foram desenvolvidos estudos sobre as características dos processos erosivos, principalmente no que se refere ao conhecimento das características do terreno e do escoamento superficial (SILVA, 2005; ALVES, 2002). Através dessa dinâmica, pode-se determinar a melhor forma de controle da erosão a partir das técnicas de bioengenharia.

Nesta dissertação, avalia-se a eficiência dos geotêxteis confeccionados com a fibra do buriti no controle da erosão superficial, a partir do monitoramento de uma estação experimental. Os parâmetros levantados para análise da eficiência da técnica constam: fotocomparação, umidade superficial, potencial matricial e perda de sedimentos e água.

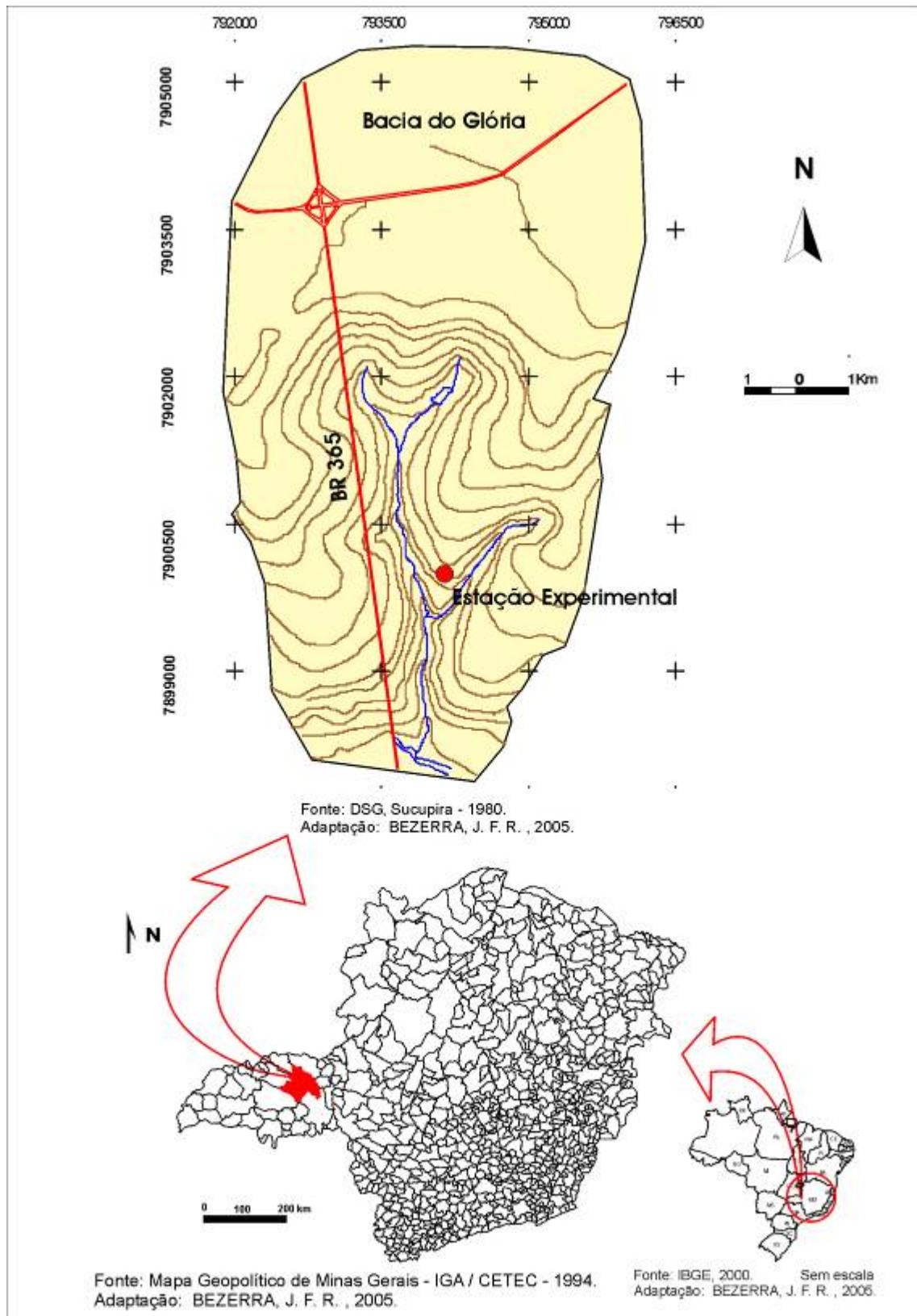


Fig. 01 – Mapa de Localização da área de estudo.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a eficiência dos geotêxteis, confeccionados com fibra de buriti, no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental na Fazenda do Glória, Município de Uberlândia – MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar o desenvolvimento da cobertura vegetal na parcela com geotêxteis através da utilização de fotografias horizontais do mesmo ponto e o tratamento dessas fotografias com o software ENVI 4.0, bem como o processo de biodegradação.
- Avaliar a eficiência dos geotêxteis na manutenção da umidade superficial no experimento no decorrer do monitoramento, comparado-a com a parcela com solo exposto.
- Analisar os dados de potencial matricial fornecidos pelos tensiômetros, para a compreensão da dinâmica dos fluxos internos da água nas parcelas com geotêxteis e com solo exposto e correlacionando-os com os processos erosivos;
- Analisar a dinâmica do escoamento superficial nas parcelas da estação experimental, para a verificação do comportamento dos geotêxteis na diminuição do fluxo superficial e no transporte de sedimentos.

3. JUSTIFICATIVAS

Com a crescente urbanização, os problemas sócio-ambientais nas cidades se intensificam, devido ao crescimento urbano desordenado, desconsiderando os limites impostos pelo ambiente. Nesse sentido, os processos erosivos tornam-se cada vez mais presentes nos centros urbanos e nas áreas rurais, em todo país, principalmente nas zonas de cobertura sedimentar recente, contendo sedimentos inconsolidados e friáveis.

Com a intensificação desses processos tem-se a necessidade da produção de trabalhos científicos que analisem a complexidade dessa problemática, identificando suas causas e fatores determinantes, no intuito de se evitar efeitos catastróficos.

Nas pesquisas desenvolvidas com o conhecimento geográfico e particularmente com a Geografia Física, percebe-se uma grande carência de estudos que proporcionem uma maior integração entre a teoria e a prática. Nesse sentido, esta pesquisa tenta transpor essa barreira, criando uma metodologia própria de estudo sobre recuperação de processos erosivos, com aplicação do conhecimento adquirido para a contenção de processos erosivos com geotêxteis confeccionados com a fibra do buriti.

A busca de novas metodologias na pesquisa é uma característica essencial do desenvolvimento científico. Essa busca caracterizada por constantes questionamentos sobre o conhecimento convencional, é o que direciona esta pesquisa. Durante décadas, a engenharia tradicional foi vista por muitos como a única forma de recuperação de áreas degradadas por processos erosivos com a utilização de muros de arrimo, grandes

quantidades de concreto e ferro, que impedia a infiltração e acelerava a formação do escoamento superficial.

Com este estudo pretende-se aplicar uma metodologia alternativa na recuperação de áreas degradadas por erosão, quando comparada à engenharia tradicional, que garantam o retorno das características mais próximas ao equilíbrio natural (infiltração, retorno da fauna e flora, etc.), além do baixo custo da aplicação da técnica.

A Geomorfologia pode contribuir na recuperação de encostas, em conjunto com a Engenharia, Geologia, Pedologia e outras ciências afins. Nem sempre a melhor solução precisa ser necessariamente um grande muro de arrimo, muitas vezes, outras técnicas, ditas naturais e de custo mais baixo, podem trazer os mesmos benefícios, sem transformar tanto a paisagem anterior. Além disso, sua durabilidade pode ser igual ou até maior do que as obras tradicionais de contenção de encostas feitas pela engenharia (GUERRA. 2003, p. 212).

O Brasil possui uma grande disponibilidade de matéria prima natural que pode ser utilizada em projetos de recuperação de processos erosivos e que garanta uma maior interação entre as comunidades envolvidas e o meio acadêmico. A exploração desse recurso deve ser feita de forma sustentável e autorizada pelos órgãos competentes, que permitam a não depredação desse recurso.

Dentre os recursos vegetais disponíveis para a recuperação destacam-se: capins quicuí e braquiária (gramíneas), mucuna-preta e feijão-guadum (leguminosas) e a fibra do coqueiro (palmáceas), dentre muitos outros. Essa pesquisa constitui um dos primeiros estudos sobre utilização da fibra do buriti como matéria-prima para a confecção dos geotêxteis. Outros trabalhos com essa técnica (fibra do buriti) estão sendo desenvolvidos em São Luís - MA (FURTADO et al, 2005).

Em áreas com grande disponibilidade de mão-de-obra, principalmente nas zonas rurais e nas periferias das cidades a fabricação artesanal dos geotêxteis pode complementar a

renda ou até mesmo ser a única fonte de renda dessas populações. Dentro dessa perspectiva, o treinamento das comunidades envolvidas na confecção dos geotêxteis dever ser realizado por artesões e auxiliados por geógrafos, que já possuem experiência e as especificações técnicas para a elaboração da tela.

No município de Uberlândia, as áreas degradadas por erosão apresentam alto estágio de evolução, cuja utilização de telas biodegradáveis confeccionadas com fibra vegetal (buriti) pode ser a melhor solução. Dessa forma, a bioengenharia, com o auxílio de outras ciências, pode solucionar toda essa problemática de degradação dos solos, sendo uma associação de técnicas de engenharia e biologia, baseando-se na utilização de materiais flexíveis (geotêxtil) e rígidos (ferro, concreto, etc.). Uma das grandes vantagens dessa técnica é o desenvolvimento de microorganismos, devolvendo a vida para os solos erodidos. A bioengenharia é recente no Brasil, que é um país rico em recursos vegetais, caracterizando-se pelo custo reduzido, chegando até 1/3 dos gastos de uma obra de engenharia tradicional.

O inadequado uso do solo na área da Fazenda Experimental do Glória (uso intensivo agrícola e pastoril), vem ocasionando uma série de processos erosivos superficiais e subsuperficiais (ALVES, 2002; SILVA, 2005, GARBIN JR, 2006, PINESE JR, 2006). A estação experimental, construída para a avaliação da eficiência dos geotêxteis, surge como uma alternativa técnica para tentar minimizar a degradação do solo dessa área.

Portanto, este projeto justifica-se pela necessidade de conhecer melhor o problema relacionado com esse tema (erosão) que vem se desenvolvendo em áreas urbanas e rurais, com o intuito de propor medidas de controle e recuperação de áreas degradadas por voçorocas, através do emprego da bioengenharia e do conhecimento geomorfológico.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Fotocomparação e Desenvolvimento da Cobertura Vegetal

A fotocomparação do desenvolvimento da cobertura vegetal foi realizada com fotografias digitais terrestres. Segundo Fahsi (2002) *apud* Santos (2004):

As fotografias podem ser classificadas em terrestres e aéreas, de acordo com a localização da câmera no espaço. Se ela estiver posicionada em alguma plataforma diretamente em contato com o chão, fotos terrestres são obtidas, normalmente oblíquas ou horizontais, já que o eixo da câmera fica situado em uma angulação de quase 90° em relação ao eixo vertical. As fotografias aéreas, dependendo de sua inclinação em relação ao eixo perpendicular ao terreno podem ser subdivididas em verticais e oblíquas (FAHSI, 2002 apud SANTOS, 2004, p. 10).

Em relação ao tipo de resolução, Rosalen (1997) *apud* Santos (2004) considera os seguintes tipos de fotografias digitais: A resolução espacial e resolução radiométrica.

A resolução espacial refere-se à quantidade de pixels ou pontos (dots) existentes em uma certa unidade de medida (polegadas – inch ou milímetros – mm) e pode ser expressa em dpi (dots per inch) ou dpmm (dots per millimeter). Uma resolução melhor implica em uma maior quantidade de pixels presentes na medida. A resolução radiométrica refere-se aos tipos de cores que podem existir em cada pixel. Quanto melhor a resolução radiométrica, maior será a quantidade de bits necessária para representar as cores de pixels, gerando imagens com um tamanho maior em bytes na memória (ROSALEN, 1997 apud SANTOS, 2004, p. 33).

A classificação de objetos ou fenômenos é realizada por meio de sua principal característica (diferentes cores que podem representar uma represa, vegetação, rios, cidade etc.) que o descrevem para diferenciá-lo entre si. Os métodos de classificação podem ser compreendidos em dois grupos: a classificação supervisionada e a não-supervisionada (SulSoft, 2004).

Nesta pesquisa, utilizou-se a classificação supervisionada, que segundo a SulSoft, (2004), “tem como princípio básico o uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão características para uma determinada classe”. Esta empresa (2004) considera as seguintes etapas de uma classificação supervisionada: 1. Definição das classes na qual a imagem vai ser dividida; 2. A escolha da amostra de treinamento da cada classe; 3. Aplicação de um algoritmo de classificação em que todos os pixels são classificados.

O método estatístico escolhido para a classificação supervisionada na pesquisa foi o método Maximum Likelihood, que segundo SulSoft, (2004), tem como princípio básico a seguinte linha de raciocínio: uma classificação errada de um pixel particular não tem mais significado do que a classificação errada de qualquer outro pixel na imagem.

Quanto à cobertura vegetal, de acordo como as considerações de Crispim & Branco (2002):

Os capins do gênero Brachiaria possuem cerca de 90 espécies, comumente chamados de braquiária, têm distribuição marcadamente tropical, tendo como centro de origem primário a África Equatorial. No Brasil, como forrageira é conhecida desde a década de 1950. Conta-se que as braquiárias entraram no Brasil juntamente com os escravos, pois serviam de colchão nos navios negreiros. As gramíneas do gênero Brachiaria são largamente utilizadas em pastagens na América Tropical. As braquiárias são os capins mais plantados no país, sendo utilizados nas fases de cria, recria e engorda dos animais (CRISPIM & BRANCO, 2002).

No tocante ao processo de biodegradação, a fibra do Buriti (*Mauritia flexuosa*) apresenta-se como um material com alto teor de celulose, baixo teor de lignina. A celulose é um dos componentes das células dos vegetais, aparecendo nas raízes, troncos, folhas, flores e sementes. Segundo a Wikipédia (2005) a celulose caracteriza-se como:

É um polímero carboidratado classificado como polissacarídeo. É o componente estrutural primário das plantas e não é digerível pelo Homem. A lignina é um polímero tridimensional amorfo encontrado nas plantas terrestres, associado à parede celular vegetal, cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais (WIKIPÉDIA, 2005).

A degradação da fibra do buriti depende dos seguintes fatores segundo as considerações de Tauk (1990):

Condições locais e regionais como clima, tipo de solo, vegetação, fauna e microrganismos decompositores. A diversidade bioquímica de substratos macromoleculares indica que os organismos devem possuir amplo espectro de enzimas extracelulares. As propriedades do solo, tais como, argila, pH, matéria orgânica, tensão de água e aeração atuam como fatores ambientais do processo de decomposição (TAUK, 1990).

A escolha da espécie (Quadro 01) para utilização nas parcelas da estação experimental foi baseada a partir de estudos da composição florística da vegetação da região, tal como o capim braquiária (*Brachiaria brizantha*), utilizado nas pastagens no Cerrado, e amplamente utilizado na Fazenda Experimental do Glória. As espécies nativas devem ter preferência sobre as introduzidas. As desvantagens das últimas estariam relacionadas à susceptibilidade a doenças ou a insetos, a exclusão de outra vegetação desejável, inibição do ciclo de nutrientes, susceptibilidade ao fogo, exclusão da fauna, uso excessivo de água, interrupção e supressão de interação biológica. Embora a braquiária não seja nativa do Brasil, sendo oriunda da África, apresentou uma boa adaptabilidade ao país.

Quadro 01 – Gramíneas utilizadas na recuperação de processos erosivos.

NOME	NOME CIENTÍFICO
Gramma Bermuda	<i>Cynodon dactylon</i> [L.] Pers
Gramma Pensacola	<i>Paspalum notatum</i> Fluegg, var. <i>saurae</i> Parodi, cv Pensacola
Capim Chorão	<i>Eragrostis curvula</i> [Schrad] Nees
Capim Quiquio	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst
Capim Pangola	<i>Digitaria decumbens</i> Stent.
Capim barba-de-bode	<i>Aristida jubata</i> [Arech] Herter
Gramma Cinzenta	<i>Paspalum nicorae</i> Parodi
Capim Braquiária	<i>Brachiaria brizantha</i>

4.2 Umidade no Solo

A umidade exerce uma importância fundamental no solo, uma vez que fornece água para atender às exigências de evapotranspiração dos vegetais em crescimento, fornece água para o lençol freático e constituem a solução do solo. A água como solvente universal, desempenha uma função vital, juntamente com os nutrientes dissolvidos, formando uma solução.

Os dados de umidade foram obtidos através da Reflectometria de Microondas ou Reflectometria no Domínio de Tempo (RDT), que segundo Buckman & Brady (2004):

Essa técnica baseia-se no efeito da umidade θ sobre a velocidade de propagação V de microondas em cabos condutores que são introduzidos no solo. A velocidade V depende do meio que envolve o cabo, isto é, sua constante dielétrica K , que depende da proporção de matéria sólida $K_s \approx 3$, de água $K_{\text{água}} \approx 80$ e ar $K_{\text{ar}} \approx 1$. O instrumento envia um pulso de microondas pela haste de comprimento L , que é refletida e detectada. O tempo t de propagação na haste é proporcional à constante dielétrica K , que por sua vez depende de θ (BUCKMAN & BRADY, 2004, p. 139).

Uma das principais características dos solos é a retenção de água durante um determinado tempo. Essa água é essencial para a vida das plantas, e sua reposição é realizada pelas chuvas ou irrigação. Ela pode estar concentrada entre os macroporos, microporos ou agregados (LEPSCH, 1993, p. 49). O mesmo autor (1993) define três estados de retenção da umidade no solo: molhado, úmido e seco.

No solo molhado, o ar está ausente e todos os poros encontram-se preenchidos com água (água gravitativa). O solo úmido (água capilar) contém ar nos macroporos (poros maiores que 0,05 mm de diâmetro) e água nos microporos (poros menores que 0,05 mm). O solo seco (água inativa) pode conter ainda certa quantidade de água sob a forma de películas extremamente fina ao redor das partículas coloidais (LEPSCH, 1993, p. 49 e 52).

Estes estados de retenção de umidade dependem também da taxa de infiltração que segundo Morgan (1986) *apud* Guerra (2001, p. 166) é o índice que mede a velocidade com que a água se infiltra no solo. “Durante um evento chuvoso a água se infiltra nos solos através das forças de gravidade e capilaridade envolvendo cada partícula do solo com uma película de água”. Na medida em que a precipitação se intensifica, todos os poros dos solos são preenchidos, diminuindo a capilaridade.

Segundo as considerações de Buckman & Brady (1976, p. 194) a retenção da umidade no solo depende de duas forças: adesão e coesão. “A adesão é a atração das superfícies sólidas pelas moléculas d’água e coesão é a atração das moléculas d’águas em si”. A soma dessas forças possibilita a fração sólida do solo reter a água e controlar sua movimentação e utilização.

A distribuição e variação das chuvas influenciam diretamente a variação da umidade superficial. O aumento ou diminuição da umidade corresponde a uma alta ou baixa precipitação. A variabilidade da umidade do solo depende também de outros fatores como a topografia, propriedades do solo, vegetação e uso dos solos. Um melhor entendimento dos processos, que controlam a umidade é muito importante para o melhoramento dos modelos hidrológicos e o manejo do uso da terra.

Segundo Pinto *et al* (1976) a evaporação na camada mais superficial do solo depende:

Do tipo de solo e do seu grau de umidade. Em solos arenosos saturados, a intensidade da evaporação pode ser superior à da superfície das águas; em solos argilosos saturados, pode-se reduzir a 75% daquele valor; se o solo é alimentado pelo lençol freático, por capilaridade, a intensidade de evaporação é menor (PINTO et al, 1976, p. 58).

Para Buckman & Brady (1976) quando se observa à diminuição da umidade num solo saturado, dois fatos se tornam evidentes:

1. a umidade é retida no solo por sucção ou por tensão e há exigência de trabalho para remoção da água. 2. a tensão com que a água é retida dependerá da quantidade realmente presente, quanto menor for está quantidade, maior será a tensão (BUCKMAN & BRADY, 1976, p. 193).

Na manutenção da umidade no solo, os geotêxteis se “apropriam” de algumas características da serrapilheira. Segundo a definição de Guerra & Guerra (1997):

A serrapilheira é a matéria orgânica decomposta, que ocorre no topo dos solos. Podem ser formados a partir de restos de folhas, sementes, frutos, galhos e restos de animais que vivem nas áreas florestais. Essa matéria orgânica decomposta, além de contribuir para maior fertilidade dos solos, também auxilia em diminuir o efeito do impacto das gotas de chuvas, que ocorre pelo atravessamento (GUERRA & GUERRA, 1997, p. 569).

Sobre a importância do revestimento vegetal no solo, Lepsch (1993, p. 149) considera que este “revestimento protege o solo contra a interceptação das gotas de chuva e do escoamento superficial”. Outros benefícios são os fornecimentos de matéria orgânica e sombreamento do solo, proporcionando o aparecimento de organismos que são essências ao solo. Essas colocações podem ser aplicadas aos geotêxteis.

Em relação à presença da cobertura vegetal Pinto *et al* (1976) considera que:

*Ela atenua ou elimina a ação da compactação ocasionada pelo efeito splash e permite o estabelecimento de uma camada orgânica em decomposição que favorece a atividade escavadora de insetos e animais. A cobertura vegetal densa favorece a infiltração, pois dificulta o escoamento superficial das águas. Cessada a chuva, retira a umidade do solo, através das suas raízes, possibilitando maiores valores da capacidade de infiltração no início das precipitações (PINTO *et al*, 1976, p. 48).*

De acordo Buckman & Brady (1976) é:

Necessária grande quantidade de energia térmica para evaporar a água nos solos, sendo a fonte básica a energia solar. Numa determinada região a energia radiante absorvida pelos solos varia muito, não só entre as áreas, mas também de um dia para outro. A nebulosidade também pode regular as variações no calor solar incidindo diretamente sobre o solo. Enquanto houver umidade disponível (no solo) para a evaporação, haverá uma correlação íntima entre evaporação e absorção da energia radiante (BUCKMAN & BRADY, 1976, p. 226).

Nesse sentido Buckman & Brady (1976) enumera alguns fatores vegetais e climáticos que exercem influência marcante sobre a quantidade de água que as plantas podem absorver com eficiência em um determinado solo:

Sistemas radiculares, resistência à seca, assim como estágio e intensidade de crescimento se constituem em fatores vegetais de grande importância. Temperatura e umidade do ar são variações climáticas que exercem influência sobre a eficiência na utilização da água no solo (BUCKMAN & BRADY, 1976, p. 204).

Sobre a influência das gramíneas na água do solo Coelho Netto (2001) ressalta que:

Uma vez atendida a demanda (sucção das raízes e solo) das gramíneas, a água excedente pode gerar fluxos de “tronco”, como extensão dos fluxos d’água provenientes diretamente das folhas. A convergência das folhas em direção a um núcleo comum de enraizamento propicia maior favorecimento à produção do chamado fluxo de tronco, o qual, em conjugação com o sistema radicular da gramínea, implicará sensíveis variações espaciais das quantidades de precipitações terminais que penetram à superfície mineral (COELHO NETTO, 2001, p. 113).

As águas das chuvas se acumulam nas folhas das gramíneas, e essas convergem para um núcleo comum (“Tronco”), que gera um fluxo de água até atingir a superfície. Esse fluxo do “tronco” nas gramíneas, quando atinge o solo, pode infiltrar, podendo ser absorvida pelas raízes das plantas ou alimentar o lençol freático. O solo estando saturado pode ocorrer à formação de poças e posteriormente o escoamento superficial.

4.3 Potencial Matricial

O conhecimento sobre a dinâmica superficial e subsuperficial da água no solo constitui uma importante ferramenta no processo de identificação, análise e recuperação de áreas degradadas por erosão. A dinâmica interna da água no solo revela uma relação de diversos fatores que controlam o componente hídrico, como o clima, propriedades física do solo, tensão, sistema radicular da vegetação, macro e micro fauna e uso do solo.

Para obtenção desses dados de disponibilidade hídrica alguns aparelhos são utilizados, destacando-se os tensiômetros, que são instrumentos que medem a tensão com que a água é retida no solo em seus espaços porosos de diferentes diâmetros (macro e microporos), devido à capilaridade que é um fenômeno físico responsável pela descida e subida do nível de água no solo, através dos condutos capilares, gerando uma pressão negativa na interface entre a água e as partículas sólidas do solo, denominada de potencial matricial.

O conceito de potencial matricial está estritamente ligado ao conceito de infiltração, pois ambas são controladas por fatores comuns, como a capilaridade, permeabilidade, porosidade, granulometria, compactação. Segundo Pinto *et al* (1976, p. 44) a infiltração pode ser denominada como “o fenômeno de penetração da água nas camadas próximas a superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada-suporte, que a retém, formando então a água do solo”.

O mesmo autor (1976, p. 45-46) enumera os principais fatores intervenientes no processo de infiltração, “como o tipo de solo, altura de retenção superficial e espessura da camada saturada, grau de umidade do solo, ação da precipitação sobre o solo, compactação macroestrutura do terreno, cobertura vegetal, temperatura e presença do ar”.

A manutenção da umidade no perfil do solo degradado por processos erosivos requer o desenvolvimento de projetos de recuperação que garantam a infiltração, redistribuição da água no solo e diminuição do escoamento superficial. Tais soluções podem ser encontradas dentro das diversas aplicações da bioengenharia, principalmente em regiões com grande disponibilidade de recursos naturais como nos trópicos úmidos.

O potencial total da água no solo pode ser obtido através do cálculo da diferença entre o estado da água no solo e um estado padrão em um determinado ponto. O conhecimento das diferenças do potencial da água no solo permite determinar sua tendência de movimento (REICHARDT & TIMM, 2004, p. 97).

O potencial da água é composto por uma série de elementos, como descrito na seguinte equação:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_{os} + \Psi_m \quad (1)$$

Onde:

Ψ = Potencial total da água do solo

Ψ_p = Componente de pressão

Ψ_g = Componente gravitacional

Ψ_{os} = Componente osmótica

Ψ_m = Componente matricial

Nesta pesquisa, trabalhar-se-á com a quinta integral Ψ_m da equação, denominada componente matricial, que é a forma mais comum de se estabelecer a dinâmica da água no solo. Essa dinâmica está relacionada ao conceito de potencial matricial, que segundo Reichardt (1985):

É o resultado de forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a água e as partículas sólidas, isto é, a matriz do solo. Essas forças atraem e fixam a água no solo, diminuindo sua energia potencial com relação à água livre. São fenômenos capilares que resultam da tensão superficial da água e de seu ângulo de contato com as partículas sólidas (REICHARDT, 1985, p. 115).

O potencial matricial está diretamente ligado à umidade, quanto mais úmido o solo, maior será o seu potencial. Segundo Reichardt (1985, p. 122) “a descrição matemática do potencial matricial é bastante difícil e sua determinação é normalmente experimental”. Dentre os instrumentos mais utilizados para a medição da pressão negativa (potencial matricial) no solo estão os tensiômetros, que de acordo com Coelho & Teixeira (2004) se baseiam na:

Formação de um equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho, através de uma cápsula porosa que entra em contato com o solo. Caso a água do solo esteja sob tensão, ela exerce uma sucção sobre o instrumento, retirando água deste, fazendo com que a pressão interna diminua. Como o instrumento é vedado, ocorre a formação do vácuo e a leitura no tensímetro fornece o potencial matricial da água no solo (COELHO & TEIXEIRA, 2004).

Com o potencial matricial pode-se também determinar o grau de saturação da água no solo. Quanto maior a saturação, menor será a capacidade da água em se infiltrar e mais rápida será a geração do escoamento superficial. De acordo com Guerra & Guerra (1997), o escoamento superficial ocorre quando:

O solo se torna saturado, e sua capacidade de infiltração na superfície do solo é excedida e não consegue mais absorver água. Em solos desprovidos de cobertura vegetal, a formação do escoamento superficial ocasiona a produção de sedimentos, dando início a processos erosivos, tais como sulcos, ravinas e voçorocas (GUERRA & GUERRA, 1997, p. 243).

Segundo Guerra & Guerra (1997, p. 243) “a produção de sedimentos resulta da erosão de material e o conseqüente transporte desse material, que vem a ser depositado em uma área mais deprimida, em relação à área fonte”.

Segundo Buckman & Brady (1976):

Quando a água da chuva ou de irrigação é adicionada a um solo, penetra na sua superfície substituindo em primeiro lugar o ar nos macroporos e, depois, nos microporos. A existência de água adicional resultará em movimento descendente por processo denominado fluxo saturado, que é favorecido por forças tanto de gravidade como de capilaridade. Tais movimentos prolongar-se-ão enquanto houver suprimento adequando de umidade e não existirem barreiras ao movimento descendente (BUCKMAN & BRADY, 1976, p. 216).

Os mesmos autores (1976) descrevem sobre os movimentos ascendentes e descendentes e ressaltam:

Os processos de evaporação e absorção da água ao redor das raízes dos vegetais resultarão em maior redução no teor de umidade de alguns pontos, em relação a outros e serão encontradas diferenças na tensão com que a umidade é retida. Ocorrerão fluxos não saturados e devido a essas diferenças de tensão, a água se movimentará das regiões de baixa tensão (elevado teor de umidade) para zonas de umidade esgotada, quando as películas forem finas e elevadas tensões (BUCKMAN & BRADY, 1976, p. 215).

4.4 Geotêxteis e Erosão Superficial

A inserção da Geomorfologia nos estudos ambientais está direcionada para a compreensão das formas do relevo, procurando-se estabelecer a explicação genética e as inter-relações com os demais componentes da natureza. Nesse contexto, a erosão dos solos ganha cada vez destaque nos estudos geomorfológicos.

De acordo com Guerra & Guerra (1997):

A Geomorfologia Ambiental refere-se à aplicação dos conhecimentos geomorfológicos, ao planejamento e ao manejo ambiental. Esse ramo do conhecimento inclui o levantamento dos recursos naturais, a avaliação das formas do terreno, a determinação das propriedades físicas e químicas dos materiais, o monitoramento dos processos geomorfológicos, as análises de laboratório e a elaboração dos mapas de riscos (GUERRA & GUERRA, 1997, p. 315).

Para Christofolletti (2001), a Geomorfologia:

Analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controlantes, bem como a dinâmica evolutiva. Compreende os estudos voltados para os aspectos morfológicos da topografia e da dinâmica responsável pelo funcionamento e pela esculturação das paisagens topográficas. Dessa maneira, ganha relevância por auxiliar a compreender o modelado terrestre, que surge como elemento do sistema ambiental físico e condicionante para as atividades humanas e organizações espaciais (CHRISTOFOLLETTI, 2001, p. 415).

Baccaro (1999) faz considerações sobre a Geomorfologia Experimental:

Na geomorfologia experimental há a necessidade de se realizar o monitoramento por meio de medidas e experimento de campo e laboratório, buscando índices quantitativos dos processos erosivos, levando-se em conta a periodicidade das mensurações, a regularidade das amostragens, a fim de se ter uma idéia da freqüência e taxa dos processos erosivos (BACCARO, 1999, p. 209).

As estações experimentais vêm se destacando nas últimas décadas no estudo sobre o entendimento do início e desenvolvimento de processos erosivos. Com o grande

conhecimento adquirido dentro do campo da geomorfologia experimental, as estações vêm sendo aplicadas em diversas pesquisas, como por exemplo, no controle e recuperação de processos erosivos através de parcelas com diferentes técnicas.

Os processos erosivos encontram-se diretamente relacionados ao desequilíbrio da paisagem, que pode ter origem natural, antrópica ou conjugada. Para Sudo (2000):

A modalidade de erosão acelerada ou antrópica, ao contrário da erosão natural, caracteriza-se pela retirada das camadas superficiais dos solos numa velocidade muito maior do que a natureza é capaz de reconstituí-las, de tal maneira que a consequência final é a exposição da rocha matriz às intempéries, levando assim, aos processos erosivos (SUDO, 2000, p. 130).

A erosão é considerada um processo natural de degradação dos solos. Porém, a interferência antrópica pode acelerar esse processo, causando uma rápida evolução, dando origem, assim, às voçorocas que de acordo com Neboit (1983) *apud* Oliveira (1999, p. 581), “o termo voçoroca vem sendo associado à erosão acelerada dos solos, derivando da concepção de que ravinas e voçorocas resultam de intervenção causada pela atividade humana”. Embora alguns autores defendam a existência desses processos erosivos sem a intervenção humana.

De acordo com Guerra (1998, p. 30) “a erosão em lençol ou laminar se inicia quando a água que se acumula nas depressões do terreno começa a descer pela encosta quando o solo está saturado e as poças não conseguem mais conter essa água”. O referido autor (2001) considera que esse:

Fluxo que se escoia sobre o solo se apresenta, quase sempre, com uma massa de água com pequenos cursos anastomosados e, raramente, na forma de um lençol de água, de profundidade uniforme. Se a chuva continuar caindo, o escoamento pode começar a se canalizar em sulcos, formando o escoamento superficial concentrado ou linear dando origem aos sulcos, ravinas e voçorocas (GUERRA, 2001, p. 170).

Cunha & Guerra (2000) consideram:

A possibilidade de recuperação de áreas degradadas a partir do estudo básico acadêmico, através de levantamentos sistemáticos, que são feitos muitas vezes, através do monitoramento das várias formas de degradação, como por exemplo, o monitoramento de processos erosivos acelerados (voçorocas) e da erosão das margens dos rios (CUNHA & GUERRA, 2000, p. 338).

De acordo com Salomão (1999):

A adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende da dinâmica de funcionamento hídrico sobre o terreno, devendo considerar também a dinâmica do uso do solo, suas propriedades físicas e químicas, bem como as condições climáticas, em áreas urbanas em especial a interferência antrópica (SALOMÃO, 1999, p. 229).

Sobre medidas de recuperação Guerra (2001) faz as seguintes considerações:

As medidas de recuperação das encostas afetadas pela erosão dos solos e pelos movimentos de massa que não levem em conta os processos geomorfológicos que causaram esses impactos, nem as características hidrológicas e geológicas podem ter insucessos, ou seja, muitas vezes as técnicas de recuperação adotadas atuam sobre a consequência, sem averiguar quais as causas que deram origem a um determinado impacto numa encosta (GUERRA, 2001, p. 211).

O conhecimento geomorfológico associado a outras técnicas de contenção tal como a bioengenharia vem contribuindo no controle e recuperação de processos erosivos em alta escala. Uma das grandes vantagens da utilização dos geotêxteis como uma técnica de conservação do solo é o desenvolvimento de microorganismos. Outra vantagem segundo Lekha (2003) é que:

Os geotêxteis protegem as sementes e o solo até a encosta ficar estabilizada com a cobertura vegetal, formando uma proteção entre as partículas do solo e as águas das chuvas, minimizando o escoamento superficial e sua velocidade, mantendo a capacidade do solo de absorver água (LEKHA, 2003).

De acordo com Fullen & Guerra (2002), os geotêxteis podem:

Garantir benefícios para o desenvolvimento de determinadas regiões, devido à disponibilidade de matéria-prima; são sustentáveis, se corretamente explorada; a confecção da geotêxtil é simples, sem a necessidade de alto desperdício de energia; geração de empregos para a população rural; são biodegradáveis, podendo aumentar a fertilidade e matéria orgânica no solo; controlam processos erosivos, “imitando” as propriedades da cobertura vegetal; estimulam um extrativismo sustentável; estimulam o reflorestamento; a exportação para outros países pode garantir o desenvolvimento da economia (FULLEN & GUERRA, 2002).

Em se tratando da Bioengenharia aplicada à estabilidade de taludes, Araújo et al (2005) faz as seguintes considerações:

As medidas de bioengenharia são um caso especial de estabilização biotécnica, no qual plantas e partes de plantas, principalmente estacas vivas, são incrustadas e arranjadas no solo em padrões e configurações especiais. Essa técnica possui as seguintes características: reforço para o solo, barreiras contra o movimento de terra, concentradores de umidade e drenos hidráulicos. As raízes adventícias ao longo do comprimento das estacas e ramos oferecem um reforço secundário (ARAÚJO et al, 2005, p. 235).

Segundo a Deflor (2005) as principais vantagens da manta antierosiva (geotêxtil) são:

Proteger imediatamente o solo contra erosão laminar; servir para germinação de sementes; aumenta a capacidade de troca catiônica do solo; reduzir a erodibilidade e incorporar a matéria orgânica no solo; possuir degradação programável; reduzir a evaporação da água do solo; reduzir a insolação direta sobre o solo; ancorar sementes, fertilizantes e top-soil; reduzir o escoamento superficial da água; favorecer a infiltração de água no solo; reduzir o carregamento de sedimentos para os cursos d'água; permitir o plantio em épocas de estiagem; incorporar e manter os nutrientes no solo; melhorar imediatamente o aspecto visual das áreas degradadas; proporcionar rapidez no processo de re-vegetação; impedir a erosão eólica; proteger margens de cursos d'água, reservatórios e canais; Ser translúcida (garante a entrada da luminosidade); absorver a luminosidade (incham e tornam-se semipermeáveis) (DEFLOR, 2005).

5. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A metodologia utilizada em qualquer pesquisa dentro da ciência moderna é de fundamental importância para alcançar maior confiabilidade nos resultados na tentativa de explicar a realidade. Na geomorfologia, a partir da observação, monitoramento e experimentação em campo e em laboratório, diversos processos geomorfológicos foram identificados e modelos de explicação da gênese e evolução do relevo foram propostos.

O termo metodologia pode ser definido como o conjunto detalhado e seqüencial de métodos e técnicas científicas a serem executados ao longo da pesquisa, de tal modo que se consiga atingir os objetivos inicialmente propostos e, ao mesmo tempo, atender aos critérios de menor custo, maior rapidez, maior eficácia e maior confiabilidade de informação. O Método é o conjunto de etapas a serem cumpridas na busca de um conhecimento e as técnicas, a forma mais rápida e segura de se atingir um objetivo, utilizando-se de um instrumental adequado (BARRETO & HONORATO, 1999).

A geomorfologia vem contribuindo substancialmente através desses procedimentos, nos estudos sobre o controle e recuperação de processos erosivos, principalmente através do entendimento da dinâmica do funcionamento hídrico sobre o solo, incluindo o impacto das gotas de chuvas, remoção de partículas pela erosão laminar e em sulcos, como também no conhecimento dos fluxos de água subsuperficiais que origina a erosão por dutos.

No desenvolvimento da ciência geomorfológica, várias metodologias foram propostas para explicação e conhecimento dos processos, fatores e agentes morfogenéticos responsáveis pelos processos de esculturação da superfície terrestre, destacando-se os

seguintes métodos: geomorfologia experimental (AB´SABER, 1969), dialético (SANTOS, 1978), fenomenológico (RELPH, 1979), dedutivo, indutivo, positivista, hipotético-dedutivo, qualitativo e quantitativo (GUERRA & GUERRA, 1997) e geossistêmico (MONTEIRO, 2000).

No decorrer desse desenvolvimento, alguns métodos se destacaram na pesquisa geomorfológica, sendo amplamente utilizados por pesquisadores de diversos níveis de formação. O método hipotético-dedutivo, conforme exposto por Popper (1974) *apud* Gil (1999), consiste na adoção da seguinte linha de raciocínio:

Quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o problema. Para tentar explicar as dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se conseqüências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tornar falsas as conseqüências deduzidas das hipóteses. Enquanto no método dedutivo se procura a todo custo confirmar a hipótese, no método hipotético-dedutivo, ao contrário, procuram-se evidências empíricas para derrubá-la (GIL, 1999, p.30).

Copi (1979) *apud* Lakatos (1982, p. 68) enumera as seguintes etapas do método hipotético-dedutivo: Problema, hipóteses preliminares, fatos adicionais, hipóteses, dedução de conseqüências de aplicação. Segundo Bunge (1974) *apud* Lakatos (1982, p. 68) o método hipotético-dedutivo apresenta as fases:

*Colocação do problema (reconhecimento dos fatos, decoberta do problema, formulação do problema); construção de um modelo teórico (seleção dos fatores pertinentes, invenção das hipóteses centrais e das suposições auxiliares); dedução de conseqüências particulares (procura de suportes racionais, procura de suportes empíricos); testes das hipóteses (esboço da prova, execução da prova, elaboração dos dados, inferência da conclusão); adição ou introdução das conclusões na teoria (comprovação das conclusões com as predições e retrodições, reajuste do modelo, sugestões para trabalhos posteriores) (BUNGE *apud* LAKATOS, 1982, p. 68).*

Dentro dessa perspectiva metodológica, a pesquisa seguirá esta hipótese de trabalho: Os geotêxteis, confeccionados com fibra de buriti, podem manter a superfície do solo mais úmida, servir de suporte para o crescimento da vegetação, melhorar indiretamente a circulação da água no perfil do solo, aumentar a infiltração, reduzir o escoamento superficial, diminuir a erosão superficial, aumentar o teor de matéria orgânica, sendo eficientes no controle dos processos erosivos superficiais, constituindo uma alternativa em relação à engenharia tradicional (Fig. 02).

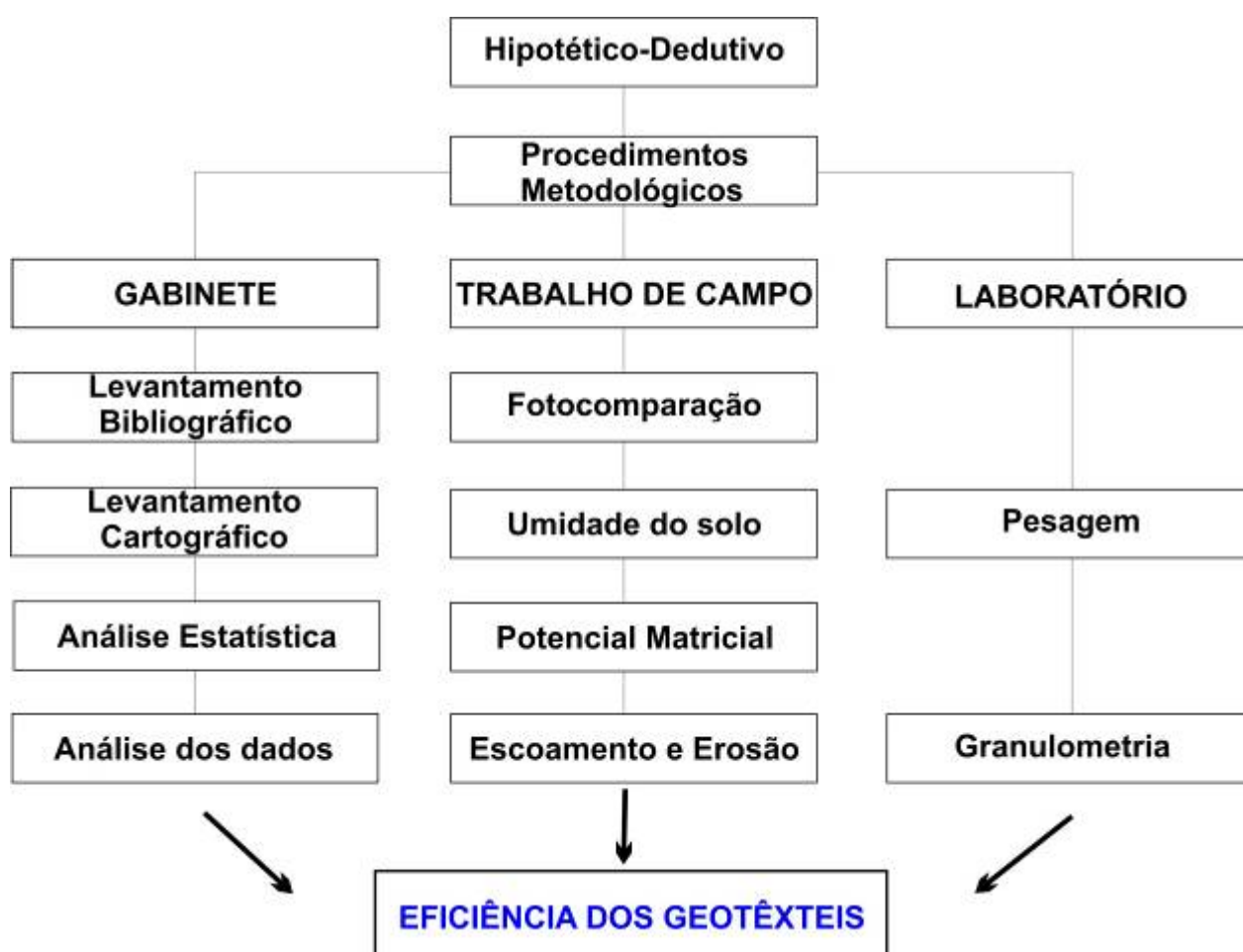


Fig. 02 – Síntese dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.

5.1 Levantamentos Bibliográfico e Cartográfico

Para a produção e evolução do conhecimento científico é essencial o levantamento e análise do material bibliográfico que trata do assunto pesquisado. Dessa forma, foram pesquisados conteúdos relacionados ao fotocomparação, umidade, potencial matricial, escoamento superficial, erosão superficial, biodegradação em diferentes fontes, como livros, artigos científicos, dissertações e teses.

Para a confecção do mapa de localização da área de estudo foi utilizada a carta Cachoeira do Sucupira, Datum Córrego Alegre 69, escala 1:25.000 com curvas de nível em intervalos de 10 m, elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército no ano de 1980. A digitalização da área de interesse foi realizada com o auxílio do software Cartalinx e posteriormente exportada para o software Arcview 3.2, onde foram processadas as informações disponíveis, como a escala e o georreferenciamento dos mapas finais.

5.2 Levantamento de Campo

5.2.1 Estação Experimental

As estações experimentais vêm se destacando nas últimas décadas no estudo sobre o entendimento do início e desenvolvimento de processos erosivos. Com o grande conhecimento adquirido dentro do campo da Geomorfologia Experimental, as estações vêm sendo aplicadas em diversas pesquisas, como por exemplo, no conhecimento da

dinâmica do escoamento superficial e dos processos erosivos (SILVA, 1999; BACCARO, 1999; GUERRA, 1996; COSTA, 2005, MADUDEIRA, 2003).

Neste estudo, a estação experimental (Fig. 03) foi construída na Fazenda do Glória, possuindo duas parcelas com 10 m² cada, uma com solo exposto (SE) e outra com geotêxteis e gramíneas (SG), com 12° de declividade e situada na vertente esquerda do Córrego do Glória. Na parte inferior das parcelas foram colocados dois galões com 100 l de capacidade para avaliação dos parâmetros de perda de solo através dos processos e subprocessos relacionados ao comportamento hídrico da água sobre o solo.

O volume (L) do escoamento superficial foi estimado logo após cada evento chuvoso ocorrido no experimento. Os dados de escoamento foram obtidos com sucessivas medições da capacidade dos galões de 100 l, com o auxílio de uma balde de 10 l e um becker de 1 l. Foram coletados 2 l a partir da homogeneização da solução nos galões de 100 l, com auxílio de um bastão de 1,5 m. Este procedimento teve o objetivo de coletar amostras dos sedimentos transportados pelo escoamento para análise granulométrica no laboratório.

Os dados de pluviosidade apresentados na pesquisa foram obtidos com duas diferentes técnicas. A primeira com um pluviômetro de alumínio construído manualmente, localizado no experimento com cafezal, que constitui uma pesquisa com parceria entre a EMBRAPA e o Instituto de Ciências Agrárias da UFU, sob a responsabilidade de monitoramento desta última. A coleta dos dados foi realizada diariamente sempre às 07 h da manhã, distanciando-se a 1 km do experimento com os geotêxteis. Esses dados foram utilizados entre os dias 18 de novembro a 30 de dezembro de 2005.

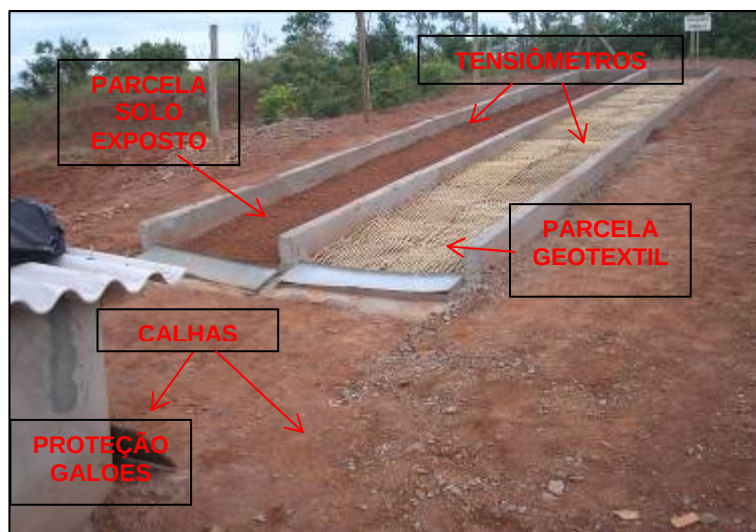


Fig. 03 – Estação experimental com solo exposto e solo com geotêxteis.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 18.11.05.

A segunda técnica de coleta dos dados de pluviosidade está relacionada a um pluviográfico eletrônico equipado com datalogger, marca EIJKELKAMP. O referido aparelho foi configurado para o registro dos dados em cada 5 min, garantindo uma boa precisão para a análise dos dados correlatos, como o escoamento superficial, transporte de sedimento e umidade no solo. O datalogger foi levado ao gabinete mensalmente e seus dados copiados com o auxílio do seu respectivo software. As informações geradas nos pluviômetros foram utilizadas entre os dias 01 de janeiro a 30 de março de 2006, sendo que o aparelho distancia-se a 2 km da estação experimental em análise.

A área da estação apresenta um regolito homogêneo e compactado, que influencia diretamente a dinâmica da água no substrato, acelerando a formação do escoamento superficial. Suas propriedades físicas, como por exemplo, a granulometria e estrutura, culminam numa maior susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos, implicando na aceleração de sua degradação. Coletou-se 01 amostra superficial do regolito para análise do índice de fertilidade, realizada no Laboratório de Análises de Solos do Instituto de

Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, sendo detectada a necessidade de correção.

Para a correção dessas limitações foram utilizados 5 kg de NPK (fertilizante mineral) e 20 kg de calcário para a correção do pH na parcela com os geotêxteis, com o objetivo de garantir a germinação das sementes, sendo 1 kg de capim-braquiara (*Brachiaria brizantha*). Após a execução dessas atividades, foram fixados os geotêxteis na parcela com grampos de ferro de 10 cm de comprimento.

Os geotêxteis foram confeccionados a partir da fibra do buriti, com o auxílio de agulha de saco (7 cm), madeirite (55 cm²), resultando numa geotêxtil de 50 cm² (Fig. 04). As fibras são oriundas do Município de Barreinhas, Estado do Maranhão, sendo as “sobras” das fibras utilizadas no artesanato local. A extração da fibra é realizada de forma sustentável e autorizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e tem o apoio do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE, que garante o sustento de algumas famílias da região.

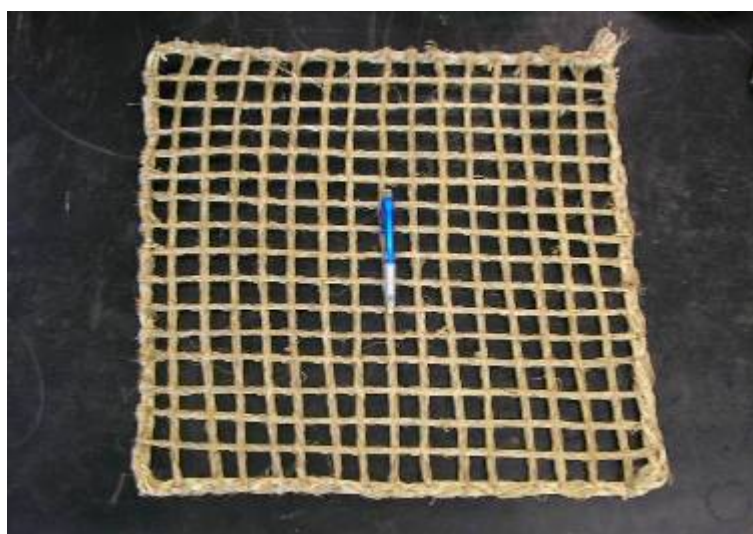


Fig. 04 – Geotêxtil confeccionado com fibra de buriti.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 05.07.05.

Fonte: Projeto Borassus, 2004.

Para um melhor entendimento sobre a eficiência dos geotêxteis na contenção da erosão superficial no experimento, a partir dos dados da fotocomparação foram divididos em três fases (semelhante à unidade superficial): 1. Geotêxteis; 2. Geotêxteis e gramíneas e 3. Gramíneas.

A identificação dos organismos responsáveis pelo processo de biodegradação foi realizada a partir de fotografias e depois analisadas por especialistas que caracterizaram essas espécies, a partir da observação, sem a utilização de técnicas sofisticadas.

5.2.2 Fotocomparação com Classificação Supervisionada

A fotocomparação no experimento foi feita através da classificação supervisionada, a partir das ferramentas oferecidas pelo software ENVI 4.0, na qual foi possível acompanhar o crescimento das gramíneas na parcela com geotêxteis. A taxa de crescimento da cobertura vegetal foi acompanhada semanalmente a partir de fotografias horizontais do mesmo ponto numa área de 1 m² na parcela com geotêxteis, entre os dias 18 de dezembro de 2005 a 18 de fevereiro de 2006, com auxílio de uma máquina digital 4.0 mp, marca OLYMPUS (Fig. 05).

No ponto amostral para a medição desse parâmetro foi colocado um marco na parte central (Fig. 05). Com o auxílio da função de enquadramento disponível no display na máquina digital, foi possível tirar fotografias sempre na mesma área de superfície, graças à regulagem do enquadramento do visor em relação ao marco na parcela. As fotografias foram obtidas a uma altura de 1,5 m do terreno com uma resolução de 2940 x 2340

pixels, sem utilização de tripé para a máquina. As fotografias foram copiadas para o computador e processadas no software ENVI 4.0.

As 17 fotografias obtidas neste período foram tratadas segundo os procedimentos adotados por Azevedo *et al* (2005), que aplicaram à técnica em uma área sob processo de recuperação ambiental. Os referidos autores adotaram no seu estudo a classificação supervisionada sendo os mesmos procedimentos utilizados para o processamento de imagens de satélites. As classes selecionadas para a utilização do método Maximum Likelihood nas fotografias foram geotêxtil, solo exposto e vegetação (Fig. 06). As cores amarela e vermelha representam o geotêxtil e o solo exposto respectivamente.



Fig. 05 - Fotografia digital horizontal na parcela com solo exposto.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 18.12.05.

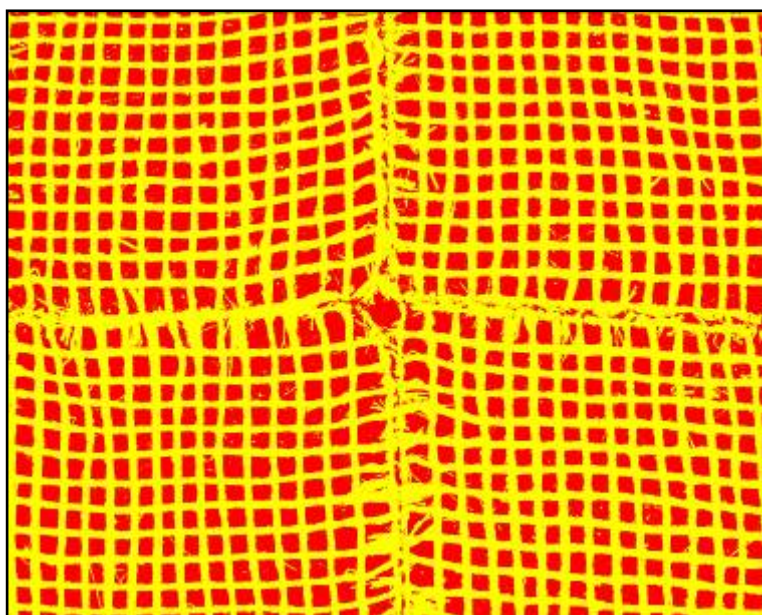


Fig. 06 – Classificação supervisionada da fotografia na parcela com solo exposto.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 28.12.05

5.2.3 Umidade no Solo

A determinação da umidade superficial em seis diferentes pontos longitudinais ao longo das duas parcelas foi realizada com o auxílio de um medidor de umidade de campo Marca Theta Probe (Fig. 07), que possibilitou aquisição imediata dos dados de umidade, correlacionando o volume de água por volume de solo, após a penetração de uma sonda a 06 cm de profundidade nos pontos do experimento.

Os dados fornecidos no aparelho são obtidos a partir da técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (RDT ou TDR) que segundo Lacerda *et al* (2005) se caracteriza pela:

Emissão de um pulso eletromagnético onde a velocidade de propagação deste pulso no determinado meio é função da constante dielétrica (determina como uma substância interage com um campo elétrico). Existe uma diferença significativa entre a constante dielétrica da água e a constante dielétrica dos componentes da matriz do solo. Essa diferença possibilita calcular o conteúdo da água no solo (LACERDA et al, 2005).



Fig. 07 - Utilização do medidor de umidade superficial.

Autoria: BEZERRA, J. F. R, 18.07.06

A coleta dos dados de umidade foi realizada em 12 pontos, sendo 06 pontos em cada parcela e estando dispostos no sentido central e longitudinal. As medições sempre foram realizadas nos mesmos pontos, num intervalo de 48 h, com armazenamento das informações no registrador do próprio aparelho. Os dados também foram anotados na ficha de campo. As informações geradas sobre a umidade nas parcelas com geotêxteis e solo exposto foram copiadas para o computador, com o auxílio do software HH2Read.

Para uma melhor compreensão sobre a influência dos geotêxteis na manutenção da umidade superficial no experimento, dividiu-se o período de monitoramento em três etapas: 1. geotêxteis, 2. geotêxteis e vegetação e 3. vegetação. Essa divisão foi feita com base nos dados de fotocomparação, que possibilitou a visualização e contribuição de cada elemento (geotêxteis e vegetação) na manutenção da umidade superficial através da porcentagem de ocupação na área amostral. O monitoramento foi realizado no período chuvoso da região que se estende entre os meses de novembro a março. Em cada etapa, os dados foram comparados com a parcela com solo exposto.

5.2.4 Potencial Matricial

Na estação experimental, foram instaladas duas baterias de tensiômetros nas parcelas com solo exposto e com geotêxteis em diferentes profundidades (15, 30, 80 e 120 cm), e suas respectivas leituras foram realizadas com o auxílio de um tensímetro digital INFIELD 5 (Fig. 08). Os dados de potencial matricial podem demonstrar a partir das diferenças de pressões no interior do solo, uma circulação hídrica eficiente ou ineficiente, tendo como princípio a movimentação da água no solo de pontos de maior pressão para pontos de menor pressão.

Os tensiômetros foram instalados no sentido perpendicular ao declive da parcela, sendo suas leituras realizadas em cada 48 horas e seus respectivos dados anotados em uma ficha de campo, devido ao não armazenamento do tensímetro. Essas informações foram digitadas e tratadas com o auxílio do software Excel 2000.



Fig. 08 - Utilização de tensímetro para a medição do potencial matricial.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 18.07.06

Os gráficos de distribuição do potencial matricial no perfil do solo foram baseados nos estudo de Reichardt (1985, p. 141), que considera que o potencial matricial (pressão negativa) varia com a profundidade. Com os dados de pressão negativa em diferentes profundidades, é possível construir gráficos que representem a distribuição do potencial matricial no perfil do solo, tendo como pressuposto que a água sempre se move dos pontos maior potencial para os pontos de menor potencial. Com essa informação foi possível construir gráficos que representem a movimentação da água no perfil do solo no experimento durante o monitoramento.

5.3 Trabalho de Laboratório e Gabinete

5.3.1 Laboratório

No laboratório, foram analisados os seguintes parâmetros: pesagem e análise granulométrica (Peneiramento e método da pipetagem) dos sedimentos coletados nas parcelas. Para determinação do peso dos sedimentos transportados nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis, utilizou-se o método da filtragem, sendo coletado 2 l de amostras a partir da homogeneização da solução nos galões.

Posteriormente foi determinado o peso das partículas sólidas retidas no filtro, com auxílio de uma balança de precisão. Os sedimentos depositados nas calhas das parcelas também foram pesados e somados com os sedimentos dos galões. A taxa de produção de sedimento foi convertida de g para Kg/10 m² no período de monitoramento da estação, através de uma simples regra de três.

A análise granulométrica dos sedimentos foi baseada na proposta da EMBRAPA (1979). Os sedimentos coletados nas parcelas foram peneirados manualmente na peneira de 2 mm para separação das frações entre seixos e a fração fina (areia, silte e argila), sendo necessário 20 g de material para a realização da análise (Fig. 09). Posteriormente foram utilizados 100 ml de água destilada e 15 ml de hidróxido de sódio (NaOH) para desagregação das partículas areia, silte e argila, com o auxílio de uma mesa agitadora durante 15 horas.

As amostras foram lavadas com água destilada na peneira de 0,053 mm, para a separação entre areia e as frações mais finas (silte e argila). Os cadinhos com areia foram levados a estufa a 110° C, durante 4 h, e depois foram separadas as frações em areia grossa e fina com a peneira de 0,210 mm.

A determinação da fração silte e argila foi baseada no método de pipetagem, com auxílio de uma pipeta (25 ml), proveta (100 ml) e um agitador de amostra manual. O tempo e a altura de pipetagem são determinados pela lei de Stokes com base na temperatura da água e na queda de partículas de diâmetros de 0,062, 0,031, 0,016, 0,008, 0,004 e 0,002 mm. As amostras foram levadas para a estufa a 110°C, durante 6 h (Fig. 10).

No laboratório, também foi utilizado um microscópio óptico marca OLYMPUS para a visualização dos microorganismos que estavam decompondo as fibras dos geotêxteis. Foram tiradas fotografias digitais dos microorganismos, a partir dessa visualização, focando a lente da câmera digital comum (OLYMPUS, 4 mp) na ocular do microscópio.



Fig. 09 – Agitador e Jogo de peneiras para a análise granulométrica.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 15.05.05.



Fig. 10 – Estufas utilizadas para secagem das amostras.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 15.05.05.

5.3.2 Análises Estatísticas

As análises estatísticas utilizadas objetivaram selecionar e ordenar os dados levantados no decorrer das atividades de campo e laboratório para torná-las manipuláveis e compreensíveis. Os dados da pesquisa foram tabulados e organizados no software Excel 2003 e analisados estatisticamente com o auxílio das suas ferramentas.

As análises estatísticas foram tratadas segundo as considerações de Gerardi & Silva (1981). Segundo as perspectivas das referidas autoras, deve-se determinar o tipo de amostragem adotada na pesquisa. Nesse caso, o método mais adequado é a amostragem estratificada, segundo a qual, a área de estudo é subdividida em subáreas com base em uma ou várias características relevantes do trabalho (GERARDI & SILVA, 1981, p. 15).

Com a definição do tipo de amostragem, seguiu-se a escolha da escala de mensuração, que se refere às áreas ou pontos sobre a superfície da terra e os aspectos da interação entre essas áreas e pontos. Nesse trabalho, foram adotadas as escalas de intervalo e razão por melhor representar os dados adquiridos no campo e no laboratório (GERARDI & SILVA, 1981, p. 26).

Após a realização dessa etapa, procedeu-se a seleção dos parâmetros estatísticos que melhor representem à distribuição dos conjuntos de dados. Dentre as medidas de tendência central foi selecionada a média aritmética.

A média aritmética é a medida mais utilizada em todas as pesquisas científicas, podendo ser encontrada a partir da somatória de todos os valores e dividindo-se o resultado pelo

total de ocorrências. Matematicamente, a média pode ser representada a partir da fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

Onde:

$\bar{X}$ = a média aritmética

$\sum$ = soma

X = valor individual

n = o número de ocorrência ou observações

X_i = um índice (o i -ésimo valor de x)

1 e n = a amplitude do somatório

Os dados de pluviosidade foram organizados estatisticamente em um quadro, com base na frequência dos eventos chuvosos, com a finalidade de distinguir os eventos que desencadeiam o escoamento superficial e a remoção dos sedimentos durante o monitoramento.

6. CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA

A área de estudo localiza-se no município de Uberlândia – MG, mais precisamente na Fazenda Experimental do Glória localizada nas seguintes coordenadas UTM: 7902595 N e 794065 E. A área está situada no Domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizando-se por apresentar relevo tabular, levemente ondulado, com altitude inferior a 940 m. Os solos são ácidos e pouco férteis, tipo Latossolo Vermelho, com textura argilo-arenosa. Na área de estudo, a formação geológica predominante é a Formação Marília, de idade Cretácea, caracterizando-se por ser um pacote superior do Grupo Bauru, formada com cimentação carbonática por espessas camadas de arenitos imaturos e conglomerados.

O clima da região do Triângulo Mineiro, na qual a área de estudo está inserida, é do tipo Aw, segundo a classificação de Kopper, ou seja, possui um inverno seco e um verão chuvoso, dominado predominantemente pelos sistemas intertropicais e polares. O município é influenciado pelas massas de ar originárias do Sul, tais como: Frente Polar Antártica (FPA) e Massa Polar (MP), leste (ondas do leste) e oeste (instabilidade tropical). Está também sob a influência das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que são responsáveis pelas chuvas intensas e prolongadas (SILVA & ASSUNÇÃO, 2004).

O Córrego do Glória, que drena a área de estudo, apresenta pequenas corredeiras, sendo afluente da bacia do Uberabinha, que é de grande importância para a cidade de Uberlândia. Ao longo do seu curso, verifica-se o predomínio do Cerrado. Os principais tipos fisionômicos da região do cerrado são: vereda, campo limpo, campo sujo ou cerradinho, cerradão, mata de várzea, mata galeria ou ciliar e mata mesofítica.

7. ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS

Os dados obtidos sobre os índices pluviométricos na área da Fazenda Experimental do Glória foram fundamentais para uma análise mais apurada dos parâmetros mensurados durante o monitoramento. Constituem um dado importante para o entendimento do escoamento superficial, transporte de sedimento, erosão linear, potencial matricial e umidade que foram parâmetros estudados na pesquisa.

A água disponível influenciou também o processo de biodegradação dos geotêxteis, aliados aos outros agentes com a alta temperatura, que culminou na disseminação da atividade biológica, principalmente os fungos. Os índices pluviométricos foram registrados a partir do dia 18 de novembro de 2005 e finalizados no dia 30 de março de 2006, com um total de 1.086,72 mm de chuvas (Fig. 11).

Ao longo do monitoramento, as chuvas foram regularmente distribuídas durante os meses de atividade de campo. Na segunda metade do mês de novembro, os totais pluviométricos registrados chegaram a 143,23 mm. A quantidade de chuvas distribuídas nesse mês possui uma significativa relevância para a pesquisa, pois constituem as primeiras chuvas do período, após 6 meses com baixa ou nenhuma precipitação. São chuvas com alta erosividade em decorrência de um solo seco e com partículas soltas.

Os totais pluviométricos no mês de dezembro atingiram 279,88 mm, com um valor máximo registrado de 36,04 mm no dia 24 desse mês. O elevado índice pluviométrico nesse período gerou o transbordamento dos galões (100 l) e uma elevada taxa de transporte de sedimento.

O mês de janeiro apresentou a menor quantidade de total de chuvas com 148,8 mm. Nesse mês foi registrado um veranico de 13 dias, sem precipitação, o que tornou o solo superficialmente mais seco, interferindo diretamente sobre os parâmetros analisados. Todavia, foram mensurados 52 mm de chuva no dia 07, um valor diário mais elevado que registrado nos meses de novembro e dezembro (Fig. 11).

Os índices pluviométricos mensurados no mês de fevereiro chegaram a 208,2 mm, sendo o maior valor diário registrado no período em torno de 28,6 mm. Nesse período, as chuvas foram bem distribuídas, quando comparada ao mês anterior. A maior quantidade de chuvas registradas no período de monitoramento foi no mês de março, com um total de 306,6 mm. Também o maior valor diário total, entre os meses de estudo foi encontrado nesse período com 69,8 mm de chuvas (Fig. 11).

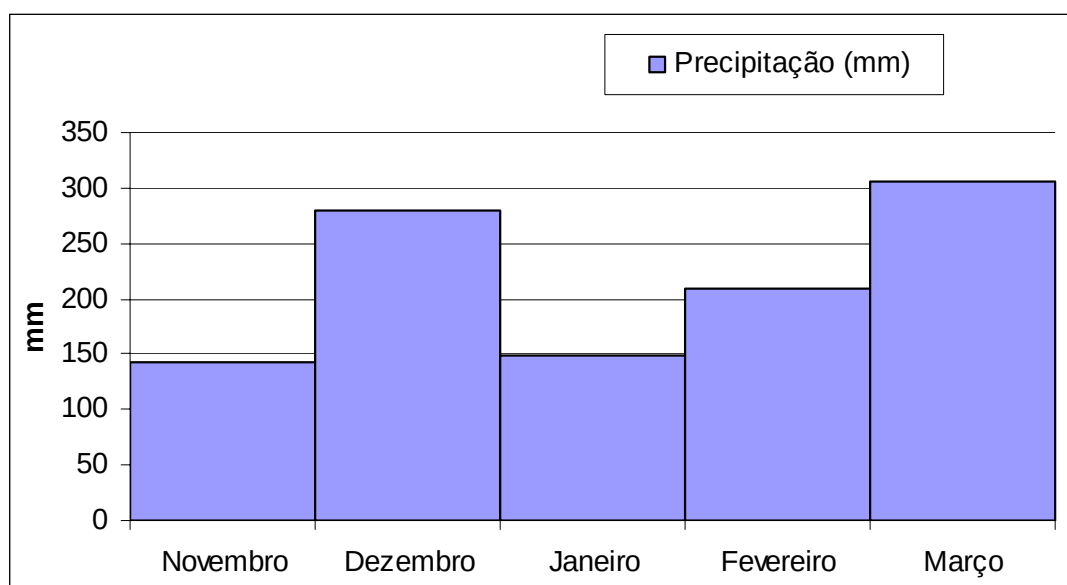


Fig. 11 – Distribuição dos índices pluviométricos no período do monitoramento (2005-2006).

8. FOTOCOMPARAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA COBERTURA VEGETAL

A fotocomparação com classificação supervisionada do ponto amostral da parcela com os geotêxteis possibilitou o acompanhamento do desenvolvimento da cobertura vegetal (braquiárias), bem como a visualização parcial do processo de biodegradação do geotêxtil e o encobrimento da superfície exposta. Como resultados dessa técnica foram obtidos dezessete fotografias horizontais do mesmo ponto, sendo selecionada apenas cinco para identificação das singularidades percebidas durante o monitoramento. Antes de se destacar essas características, fazem-se necessário distinguir as etapas de menor e maior crescimento das gramíneas.

O menor intervalo de crescimento da cobertura vegetal foi observado no início da germinação das sementes, atingindo uma taxa de ocupação de apenas 1,1%, no dia 04 de dezembro de 2006 da superfície, após duas semanas do plantio. Isso ocorreu devido às características das gramíneas utilizadas, que necessita deste período para germinar. A necessidade de um período de tempo para a incorporação do NPK e do calcário pode também ter influenciado o desenvolvimento.

A maior taxa de cobertura vegetal foi observada entre os dias 03 e 08 de fevereiro de 2006, ocupando cerca de 30,7% da área e subindo para 47,1% em menos de uma semana. A grande disponibilidade de água pode ter sido o principal fator que influenciou o crescimento das gramíneas no período. Os geotêxteis foram se biodegradando e o solo exposto encoberto no ponto da fotocomparação, na medida em que as gramíneas foram crescendo (Fig. 12).

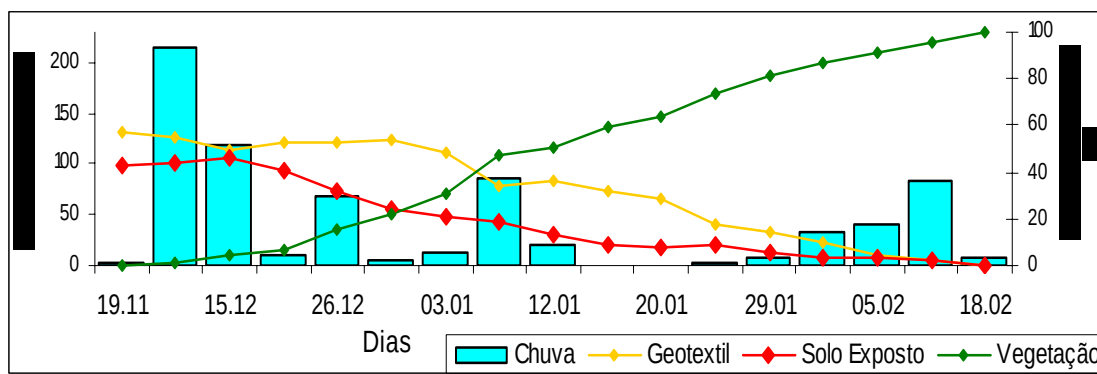


Fig. 12 – Relação entre o desenvolvimento da cobertura vegetal, geotêxtil e solo.

A primeira fotografia foi obtida no dia 18 de novembro de 2005, sem qualquer indício de vegetação, ressaltando a importância do geotêxtil que protegeu 57% da superfície do solo. Essa porcentagem de encobrimento impediu o efeito da energia cinética da chuva que desencadeia a mobilização das partículas. Além disso, suas propriedades inerentes ao tecido vegetal retiveram à água, mantendo a umidade superficial, indispensável à germinação das sementes das braquiárias (Fig. 13).

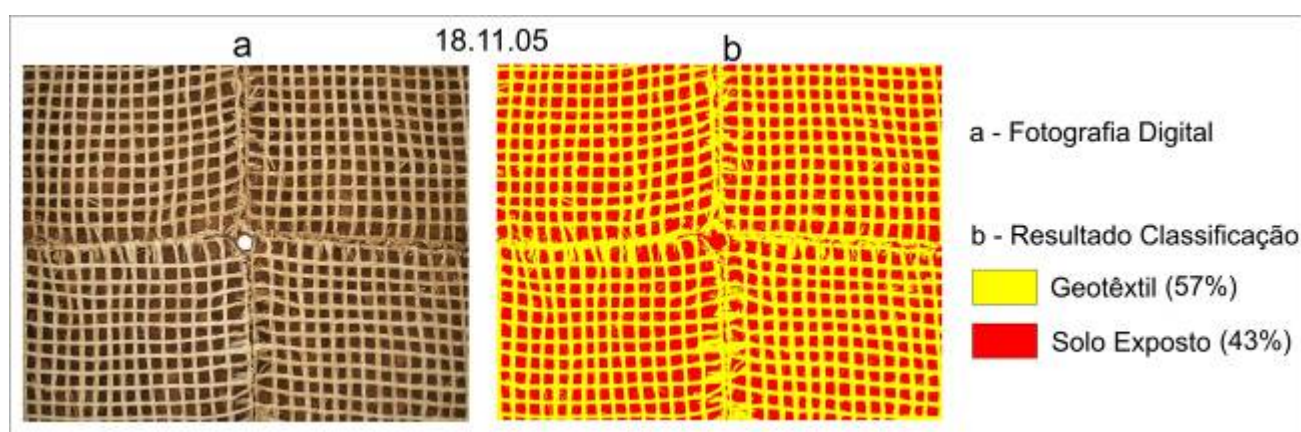


Fig. 13 – Classificação supervisionada indicando a proteção dos geotêxteis na superfície do solo.
 Autoria: BEZERRA, J. F. R, 18.11.05.

Sobre a importância inicial dos geotêxteis na proteção do solo, Fullen & Guerra (2002), através de um experimento no Gâmbia concluíram que a geotêxtil cria uma estabilidade, que permite o tempo necessário para o estabelecimento e crescimento da vegetação. Os autores também ressaltam seu controle sobre o efeito splash, escoamento superficial, diminuição da erosão superficial e fornecimento de matéria orgânica ao solo degradado.

A segunda fotografia foi obtida no dia de 19 de novembro de 2005, com início do desenvolvimento da cobertura vegetal que ocupou 6% da área amostral, enquanto os geotêxteis encobriram 53% e o solo exposto 41%. A vegetação incipiente oferece pouca proteção ao solo, mas reduz a superfície exposta. Tem-se também o início do processo de biodegradação, que decompõem a malha dos geotêxteis. Notou-se o processo de retenção dos sedimentos, através de pontos de acumulação nas malhas (Fig. 14).

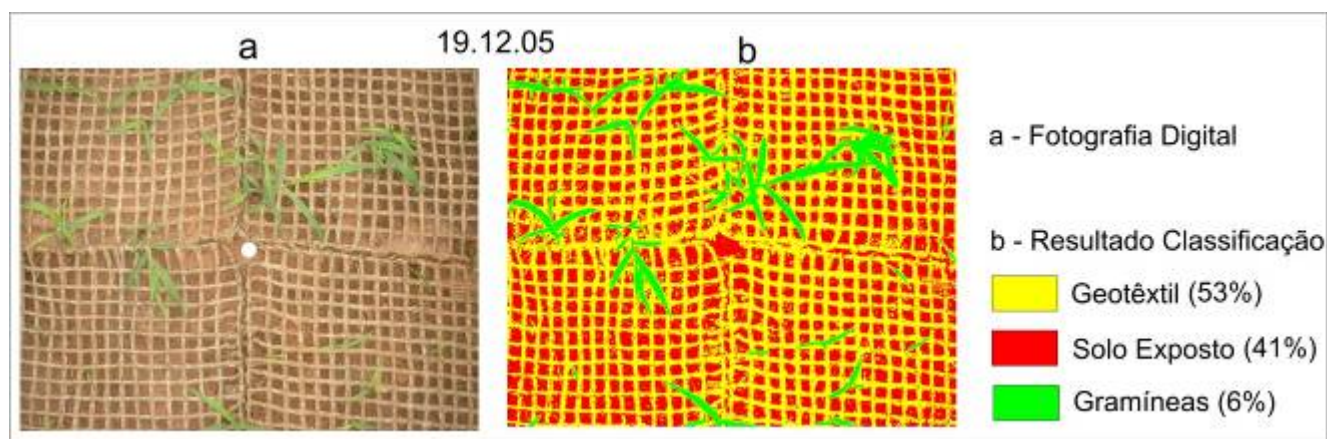


Fig. 14 – Fotocomparação com visualização dos geotêxteis e início do desenvolvimento das gramíneas. Autoria: BEZERRA, J. F. R, 19.12.05.

A terceira fotografia foi obtida no dia 03 de janeiro de 2006, com rápido crescimento das gramíneas que aumentou expressivamente de 6% a 31% em menos de três semanas. A área de ocupação dos geotêxteis decresceu 4% do ponto amostral, enquanto o da superfície exposta decaiu 20% em relação à classificação anterior. Nesse período, destaca-se a proteção parcial da vegetação contra o impacto das gotas de chuvas e escoamento superficial, bem como uma maior infiltração decorrente do sistema radicular (Fig. 15).

Essa proteção parcial pode favorecer a movimentação das partículas e das fibras soltas, decorrentes do gotejamento sobre a superfície. O baixo decréscimo da porcentagem de ocupação do geotêxtil na área amostral deveu-se a aceleração do processo de biodegradação que se “espalhou” na superfície, refletindo diretamente na diminuição da superfície exposta (Fig. 15).

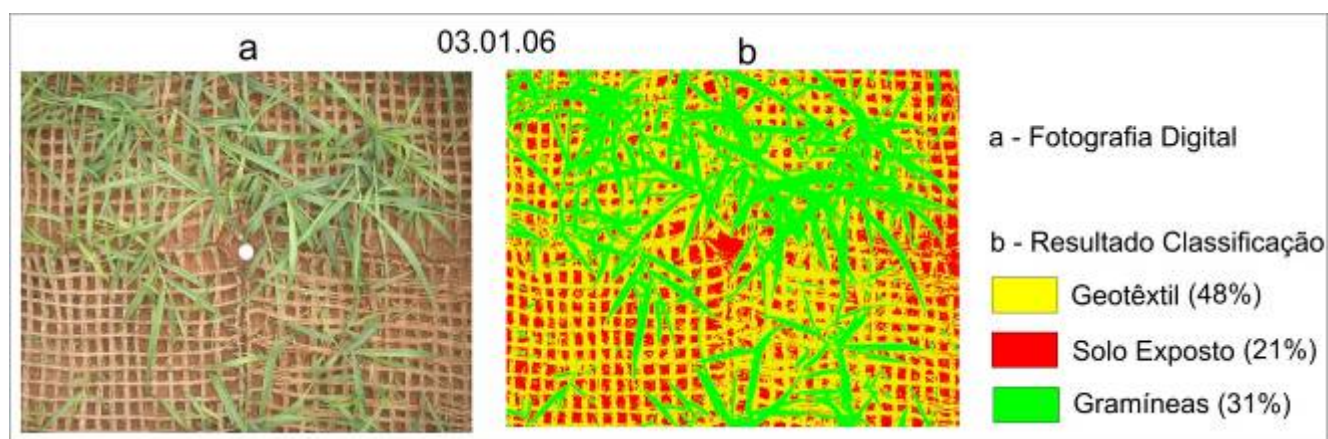


Fig. 15 – Fotocomparação com visualização dos geotêxteis, gramíneas e o processo de biodegradação. Autoria: BEZERRA, J. F. R, 03.01.06.

Em consideração ao processo de biodegradação dos geotêxteis, faz-se necessário à caracterização da fibra do Buriti (*Mauritia flexuosa*) que se apresenta como um material com alto teor de celulose, baixo teor de lignina. A celulose é um dos componentes das células dos vegetais, aparecendo nas raízes, troncos, folhas, flores e sementes.

O processo de biodegradação dos geotêxteis foi registrado a partir da ação dos organismos, principalmente os cupins e fungos. No experimento, os cupins (*Gênero Cornitermes Wasmann*) ajudaram na decomposição da fibra, fornecendo diretamente matéria orgânica ao solo degradado (Fig. 16).

Outra importância dos cupins no experimento está na realização da ciclagem dos nutrientes da fibra, escavação de túneis que contribuem para distribuição da matéria orgânica no perfil, aeração, drenagem e porosidade. Os fungos foram identificados no experimento logo nas primeiras semanas de aplicação do geotêxtil, e desempenham uma importante função na decomposição destes, podendo tornar o solo degradado mais fértil, através do fornecimento de matéria orgânica (Fig. 17).



Fig. 16 – Ação do cupim na biodegradação dos geotêxteis.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 04.12.05.

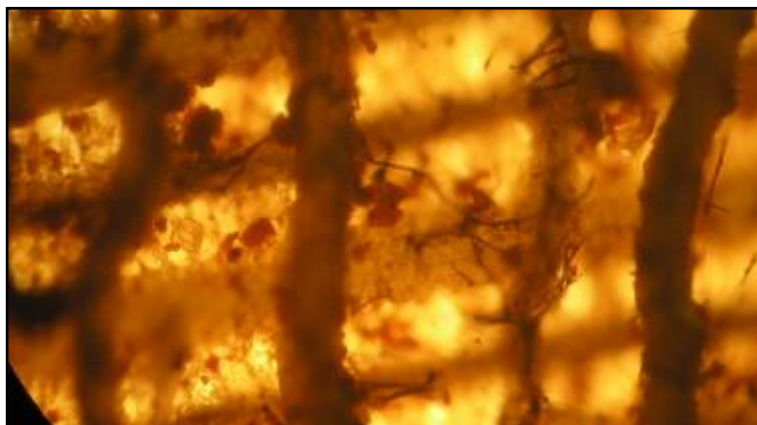


Fig. 17 – Visualização da decomposição do geotêxtil pelos fungos através de um microscópio óptico (20x).
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 16.12.05.

Esse processo de biodegradação do geotêxtil exerce uma função importante, fornecendo matéria orgânica a partir da sua própria estrutura (Figs. 18-19) e da cobertura vegetal. No tocante a composição do tecido verde dos vegetais, Buckman & Brady (1976, p. 157) descrevem que “cerca de 75%, ou mais, é composta de água. A matéria seca é composta por carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e elementos minerais”. Os mesmos autores (1976, p. 157) destacam que “apesar de 90% da matéria seca seja carbono, oxigênio e hidrogênio, os outros elementos desempenham papel vital na nutrição das plantas”.

A quarta fotografia foi obtida no dia 24 de janeiro de 2006, caracterizado pela significativa ocupação das gramíneas que atinge 74% da área amostral, enquanto os geotêxteis têm um importante decréscimo porcentual chegando a 18% e a superfície exposta apenas 8%. Esta fotografia foi obtida no período de estiagem de janeiro, o que culminou na diminuição da umidade no solo, que ficou retida nos poros cada vez menor, culminando no ponto de murchamento da vegetação (Fig. 20).



Fig. 18 – Vista parcial do processo de biodegradação do geotêxtil fornecendo matéria orgânica para o solo no início do monitoramento.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 22.11.05.



Fig. 19 – Processo de biodegradação do geotêxtil fornecendo matéria orgânica para o solo no penúltimo mês de monitoramento.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 05.02.06.

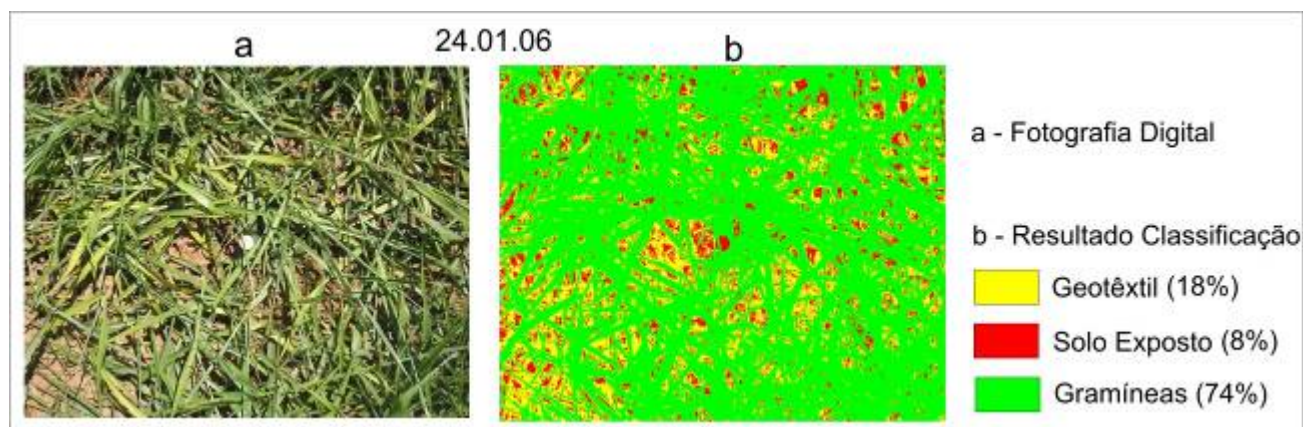


Fig. 20 – Fotocomparação com visualização parcial das gramíneas encobrindo os geotêxteis e protegendo o solo.

Autoria: BEZERRA, J. F. R, 24.01.06.

Sobre o ponto de murchamento, Buckman & Brady (1976, p. 197) pesquisando sobre a retenção de umidade no solo, descreve esse processo sucintamente, considerado que as raízes da vegetação exercem uma tensão no solo, diminuindo a película de água, que se concentram nos poros cada vez menores, ao redor das partículas sólidas. Essa situação terá continuidade enquanto os vegetais puderem remover com eficiência a água das películas. Quando esta remoção for demasiada lenta para conservar a turbidez vegetal, ocorrerá a murchidão permanente, considerando que o solo terá atingindo o seu nível crítico de umidade.

A quinta fotografia selecionada foi obtida no dia 13 de fevereiro de 2006 e marcam a ocupação preponderante das gramíneas da área amostral (92%) que encobriu a superfície exposta (4%) e os geotêxteis (4%). Nesse caso, a vegetação intercepta as gotas de chuva, aumenta a infiltração pelos sistemas radicular e substituindo completamente a função da geotêxtil na proteção do solo (Figs. 21-22).

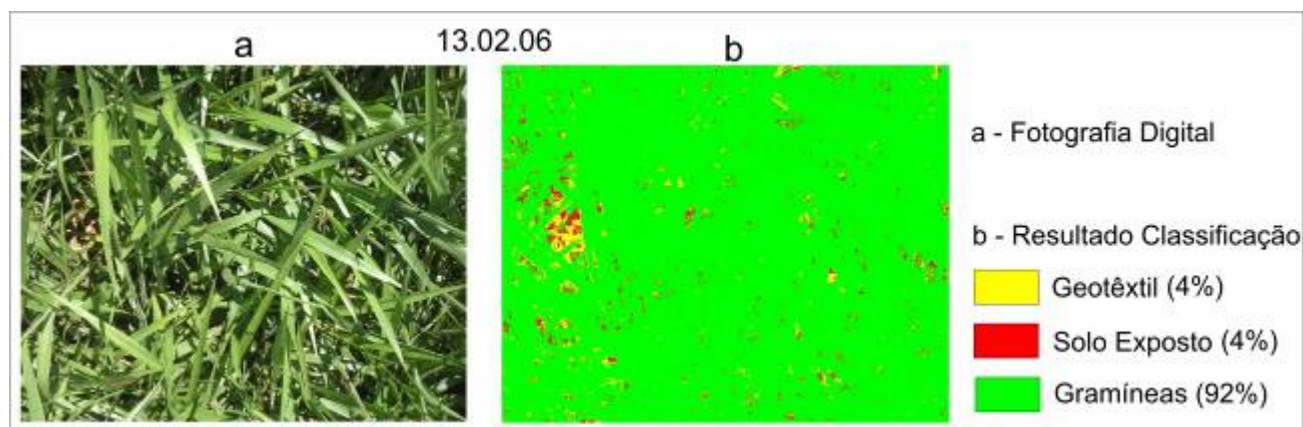


Fig. 21 – Fotocomparação com visualização das gramíneas.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 13.02.06.

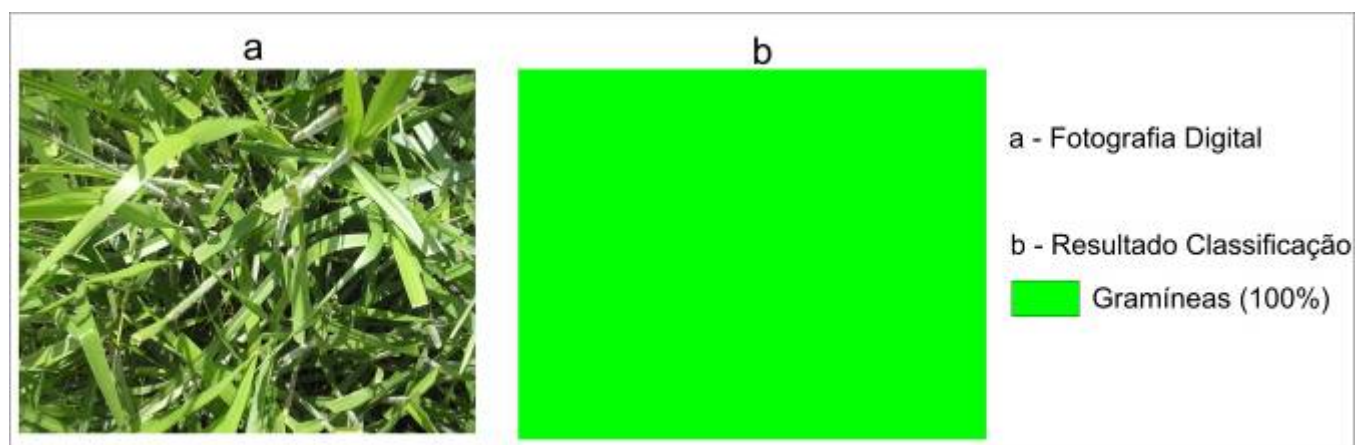


Fig. 22 – Fotocomparação com visualização da influência das gramíneas na área amostral.
Autoria: BEZERRA, J. F. R, 26.02.06.

Sobre a interceptação da água em áreas recobertas por gramíneas, Coelho Netto (2001, p. 113) destaca a ausência desses estudos na literatura. A mesma autora (2001, p. 113) citando Dunne & Leopold (1978) considera que o armazenamento de parte das chuvas tende a aumentar no período de máximo crescimento da vegetação. Nesse sentido Marques *et al* (2004) descreve se a quantidade de água precipitada que atinge as gramíneas for superior às capacidades de armazenamento nas suas camadas superiores, observa-se o início do gotejamento através da copa (throughfall), além do escoamento superficial pelos ramos e tronco (stemflow).

9. UMIDADE SUPERFICIAL

Para uma melhor compreensão da dinâmica da umidade superficial no experimento, o monitoramento desse parâmetro foi dividido em três etapas, conforme a metodologia. A primeira etapa tem início com a aplicação dos geotêxteis no dia 18 de novembro de 2005 e finalizada no dia 21 de dezembro de 2005 com uma taxa de ocupação da cobertura vegetal de 6,4% da área amostral. Os totais pluviométricos registrados nesse período foram de 355 mm. Nessa etapa, a variação da umidade superficial dependeu das propriedades dos geotêxteis, tendo em vista à ausência ou incipiente cobertura de gramíneas (Fig. 23).

Na parcela com solo exposto, os valores de umidade superficial variaram de 6,8% no dia 21 de dezembro de 2006, com 6 mm de chuvas a 17,6 % no dia 24 de novembro, com 51,1 mm de precipitação (Fig. 24). Esses dados indicam um solo superficialmente mais ressecado, quando comparado com dados à parcela com geotêxteis. O solo desprovido de cobertura vegetal fica exposto diretamente aos raios solares, como também ao impacto das gotas de chuvas, tendo como consequência a desestruturação e desagregação do solo, resultando em diversos processos erosivos nos mais diversos estágios, o que ocasiona também uma maior perda de umidade.

Na parcela com geotêxteis, os dados de umidade na primeira etapa chegaram a uma amplitude entre 10,3% no dia 21 de dezembro de 2005, com 6 mm de chuva registrado e 24,1% no dia 08 de dezembro de 2005 com 32 mm de chuva no dia do monitoramento (Fig. 24). Os geotêxteis mantiveram a umidade superficial mais elevada do que parcela com solo exposto, o que pode ter ajudado para a germinação das sementes, além de

contribuir no fornecimento de matéria orgânica através das atividades biológicas na fibra conforme observado nas fotografias (Fig. 25).



Fig. 23 – Vista da estação experimental durante a influência dos geotêxteis sobre a umidade superficial.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 19.11.05.

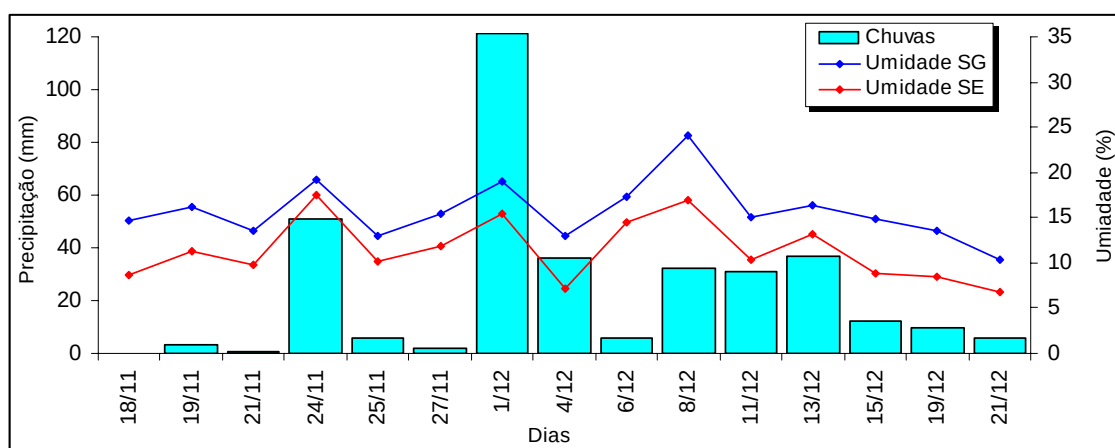


Fig. 24 – Variação da umidade superficial entre as duas parcelas – SE solo exposto e SG solo geotêxtil durante a primeira etapa de estudo.

Os geotêxteis “imitam” as propriedades da serrapilheira na conservação da umidade no solo, através da incorporação de matéria orgânica, redução da evaporação e insolação direta sobre a superfície, maior infiltração e diminuição do escoamento superficial (FULLEN & GUERRA; 2002, DEFLOR, 2005; LEKHA, 2003).



Fig. 25 – Biodegradação e acumulação de sedimentos nos geotêxteis.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 13.12.05.

A segunda etapa de estudo do comportamento da umidade superficial, caracteriza-se pela ação combinada dos geotêxteis e das gramíneas na manutenção da água (Fig. 26). O período teve início no dia 26 de dezembro de 2005, com uma taxa de ocupação da cobertura vegetal de 15,2% na área amostral e finalizado no dia 15 de janeiro de 2006, com uma taxa de ocupação de 59,4 %. Nesse período foram registrados 188,8 mm de chuvas.

No sistema com solo exposto, os dados de umidade atingiram o valor mínimo de 6,9% no dia 15 de janeiro de 2006, sem precipitação registrada no dia do monitoramento e máxima de 18,1% no dia 05 de janeiro de 2006, com 35 mm de chuvas (Fig. 27). Os resultados indicam um solo bem mais compactado, com certa dificuldade de penetração da sonda do medidor de umidade, que pode ser explicada pela ação do *splash erosion* e compactação. O afloramento dos seixos e cascalhos, devido ao trabalho do escoamento superficial também pode ter influenciados nos dados de umidade, por causa do contanto da sonda com essa superfície (Fig. 28).

De acordo com Oliveira (1999, p. 60), O *splash erosion* consiste no deslocamento de partículas por impacto das gotas de chuvas que acarretam a compactação da superfície do solo, através da remobilização de silte e argila nos espaços intergranulares, e erosão, através da projeção de partículas para fora da zona de impacto. Percebe-se claramente a ação desse agente no processo de compactação da camada mais superficial e interferindo nos dados de umidade.



Fig. 26 – Vista da estação experimental na segunda etapa do monitoramento da umidade superficial.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 08.01.06.

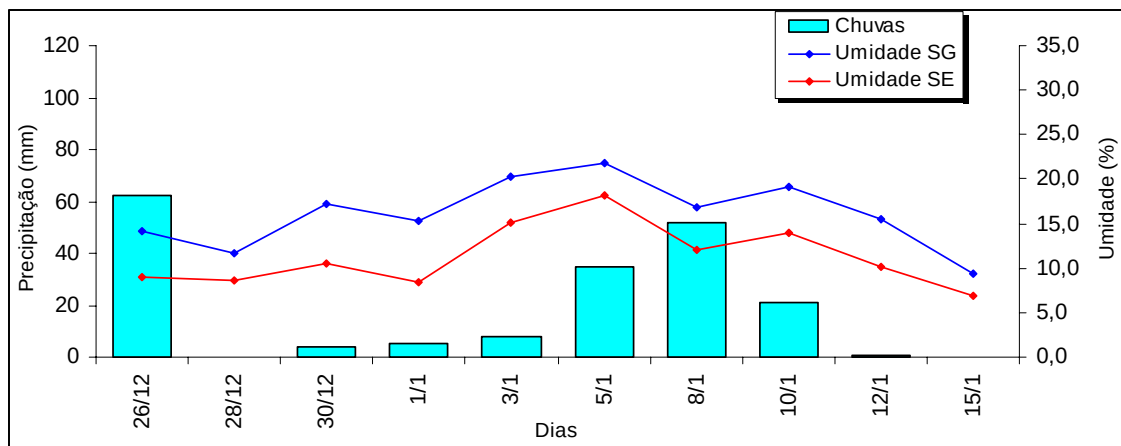


Fig. 27 – Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante a segunda etapa de estudo.



Fig. 28 – Seixos e cascalhos na parcela com solo exposto.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 12.01.06

Na parcela com geotêxteis, os resultados variaram entre 9,5% no dia 15 de janeiro de 2006, sem chuvas registradas e 21,7% no dia 05 de janeiro com 35 mm de índice pluviométrico (Fig. 27). No período, foi observada a ação combinada dos geotêxteis e

cobertura vegetal conforme os gráficos, que foram os elementos controladores da umidade nesse sistema.

A terceira etapa sobre a variabilidade da umidade no experimento, remete a influência da cobertura de gramíneas sob os dados, quando comparado à parcela com solo exposto (Fig. 29). Essa etapa inicia-se no dia 18 de janeiro de 2006 com uma taxa de ocupação da gramínea de 63,9% e finalizada no dia 18 de fevereiro de 2006 com 100% de ocupação da cobertura vegetal. Os totais pluviométricos foram de 243 mm.

A parcela com solo exposto apresentou uma amplitude entre 3% no dia 20 de janeiro de 2006, sem chuvas e 21,8% no dia 23 de fevereiro de 2006, com 31,2 mm de índice pluviométrico (Fig. 30). Percebeu-se um aumento da média da umidade superficial quando comparada com as duas etapas anteriores no sistema solo exposto, este aumento ocorreu, devido à umidade que ficou armazenada no solo, constituindo a umidade antecedente. Todavia, a exposição direta aos raios solares e o processo de encrostamento, podem ser os fatores responsáveis pelos baixos valores de umidade.

O sistema com geotêxteis, sob influência da cobertura das gramíneas, se comportou com a umidade superficial variando entre 4,7% no dia 20 de janeiro de 2006, sem chuvas registradas e um valor máximo de 30,7% no dia 23 de fevereiro de 2006, com 31,2 mm de chuvas (Fig. 30). Nessa etapa, a vegetação foi o principal fator controlador da variabilidade da umidade superficial.

As informações geradas na estação experimental comprovaram a eficiência dos geotêxteis na manutenção de uma maior umidade superficial em relação à parcela com solo exposto. Na primeira etapa a umidade mais levada na parcela com geotêxteis, contribuiu para germinação e crescimento das sementes das braquiárias, além de servir

no ancoramento destas, e protegendo também contra a ação do escoamento superficial e do vento.



Fig. 29 – Vista da estação experimental durante a influência das gramíneas sobre a umidade superficial.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 13.02.06.

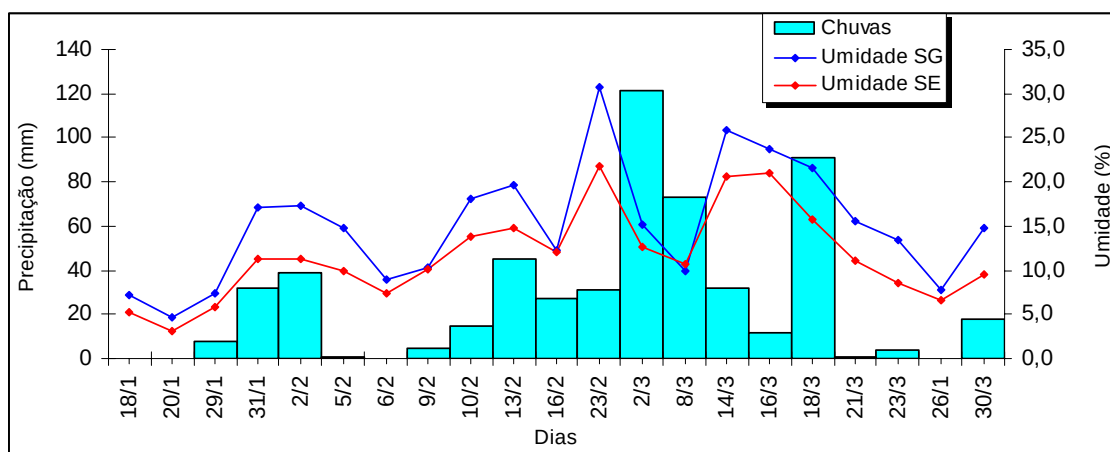


Fig. 30 - Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante a terceira etapa de estudo.

Pressupõe-se que as propriedades dos geotêxteis, essencialmente composta pela fibra da palmeira do buriti, conseguiram reter a umidade e a redistribuindo-a ao solo nos períodos com ausência de precipitação, além de fornecer sombreamento e proteção contra a energia solar.

Na segunda etapa, as combinações das características dos geotêxteis e das braquiárias, garantiram a preservação da umidade superficial no solo. Nessa etapa, em alguns trechos do experimento, os geotêxteis já estavam em estágio inicial de biodegradação realizados pelos organismos, como as formigas, cupins e fungos, não tendo à mesma eficiência de retenção da umidade como na primeira etapa. Nesse contexto que a presença das gramíneas foi importante no processo de recuperação das características ambientais do solo degradado, formando um reforço, junto com o geotêxtil, no processo de ancoramento das sementes, sombreamento, manutenção da umidade, e agora também aumentando a capacidade de infiltração através do sistema radicular

A parcela com solo exposto apresentou o valor de umidade mais baixo durante todo o monitoramento (Fig. 31), devido à incidência direta dos raios solares, que se pressupõe uma temperatura superficial mais elevada, ao impacto das gotas de chuvas que provocaram a ruptura dos agregados em partículas menores, selando a camada mais superficial do solo e aumentando consequentemente o escoamento superficial e diminuindo a infiltração. A junção desses fatores impediu a retenção de umidade no solo sem cobertura vegetal, ou de qualquer técnica que vise a sua proteção.

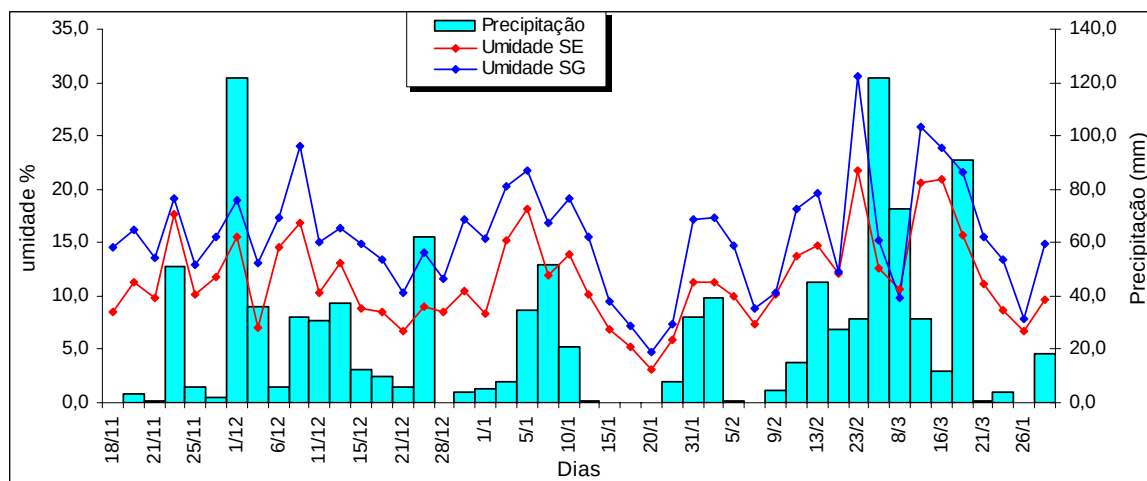


Fig. 31 - Variação da umidade superficial entre as duas parcelas durante todo o monitoramento.

Essa diferença na retenção de umidade entre as parcelas com solo exposto e geotêxteis, podem ser confrontados mesmo nas épocas com baixa pluviosidade, como ocorreu entre os dias 12 a 23 de janeiro de 2006 (Fig. 32). Embora ambos os valores de umidade estejam em queda, à umidade na parcela com geotêxteis é mais elevada que a do solo exposto. Isso pode ter ocorrido devido ao sombreamento promovido pelos geotêxteis e gramíneas, enquanto no solo exposto à insolação atinge diretamente a superfície.

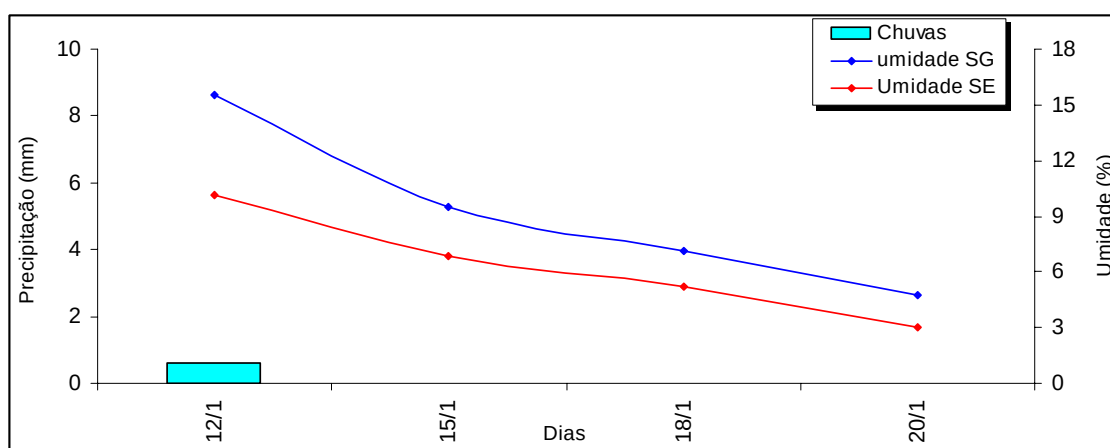


Fig. 32 - Comportamento da umidade superficial no experimento no período com baixa precipitação.

Neste gráfico, percebe-se que a parcela com geotêxteis perdeu mais umidade do que o sistema com solo exposto durante o veranico. Neste caso, a utilização da água disponível pelo sistema radicular das gramíneas, desempenha papel fundamental na perda da umidade.

Em se tratando da diferença entre os dados de umidade superficial entre as parcelas, verificou-se que essa diferença foi mais elevada na segunda etapa (geotêxteis e gramíneas) chegando a 4,9%, enquanto que na primeira fase (geotêxteis) a diferença está entorno 4,3%. A terceira etapa (gramíneas) obteve o valor médio de 3,5%, o menor valor durante o monitoramento (Quadro 02).

A densidade da cobertura de gramíneas pode ter influenciado esse dado, uma vez que ocupou toda a superfície do solo, exigindo uma maior intensidade das chuvas para alcançar a superfície do solo na parcela, onde foram medidos os dados. Entretanto, a média total dos dados, demonstrou que na parcela com os geotêxteis a umidade (15,5%) foi superior a do solo exposto (11,1%).

Quadro 02 – Dados de umidade superficial nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis e gramíneas (SG).

Dias	Precipitação	Umidade SE	Umidade SG	Diferença SE-SG
18/11	0,0	8,6	14,6	6,1
19/11	3,0	11,2	16,1	4,9
21/11	0,8	9,8	13,5	3,8
24/11	51,1	17,6	19,2	1,6
25/11	6,0	10,2	12,9	2,8
27/11	2,0	11,8	15,5	3,7
1/12	121,5	15,5	19,0	3,4
4/12	36,2	7,1	13,0	6,0
6/12	6,0	14,6	17,3	2,7
8/12	32,0	16,9	24,1	7,2
11/12	31,0	10,4	15,0	4,7
13/12	37,0	13,1	16,4	3,3
15/12	12,4	8,8	14,9	6,1
19/12	10,0	8,4	13,5	5,0
21/12	6,0	6,8	10,3	3,5
26/12	62,1	9,1	14,1	5,1
28/12	0,0	8,6	11,7	3,1
30/12	4,1	10,5	17,3	6,8
1/1	5,0	8,3	15,4	7,0
3/1	8,0	15,1	20,2	5,1
5/1	35,0	18,1	21,7	3,7
8/1	52,0	12,0	16,9	4,9
10/1	21,0	14,0	19,2	5,2
12/1	0,6	10,2	15,5	5,4
15/1	0,0	6,9	9,5	2,6
18/1	0,0	5,2	7,2	1,9
20/1	0,0	3,0	4,7	1,7
29/1	8,0	5,8	7,3	1,5
31/1	32,0	11,2	17,2	6,0
2/2	39,0	11,2	17,4	6,2
5/2	0,8	10,0	14,8	4,8
6/2	0,0	7,3	8,9	1,6
9/2	4,8	10,2	10,4	0,2
10/2	14,8	13,8	18,1	4,3
13/2	45,2	14,8	19,7	4,9
16/2	27,6	12,1	12,3	0,2
23/2	31,2	21,8	30,7	8,9
2/3	121,6	12,6	15,2	2,6
8/3	72,8	10,7	9,9	0,8
14/3	31,6	20,6	25,8	5,2
16/3	12,0	21,0	23,8	2,8
18/3	91,2	15,7	21,5	5,8
21/3	0,8	11,1	15,5	4,4
23/3	3,6	8,6	13,3	4,7
26/1	0,0	6,7	7,8	1,2
30/3	18,0	9,6	14,9	5,3
Média		11,4	15,5	

Autoria: BEZERRA, J.F.R.

10. POTENCIAL MATRICIAL E EROSÃO SUPERFICIAL

Propõem-se neste capítulo uma análise sobre o comportamento da água no solo a partir dos dados de tensiometria nas parcelas com solo exposto e outra com geotêxteis e gramíneas, correlacionando às informações geradas no estudo sobre a eficiência do geotêxtil na manutenção da umidade no solo, que é essencial no desenvolvimento dos vegetais e no controle e recuperação de processos erosivos.

Todavia, faz-se necessário a caracterização granulométrica do material nas diferentes profundidades (15, 30, 80 e 120 cm) do solo no experimento, devido a sua importante influência sobre a circulação da água no perfil. Na profundidade de 15 a 30 cm, há o predomínio de areia fina (48,7%), seguida de 22,4% de argila, 19,7% de areia grossa e 9,1% de silte.

Entre 80 a 120 cm de profundidade, os solos apresentaram granulometria mais grosseiras com 45% de areia grossa, 31% de areia fina, 14,3% de argila e 9,6% de silte. Os dados apresentados indicam um solo superficial (15 a 30 cm) com granulometria mais fina, o que pode interferir no processo de infiltração, enquanto na profundidade de 80 a 120 cm, os materiais são mais grosseiros, podendo facilitar a passagem da água.

Os dados de potenciais matriciais obtidos pelos tensiômetros nas profundidades de 15, 30, 80 e 120 cm, durante o monitoramento entre 18 de novembro de 2005 a 30 de março de 2006 (período chuvoso) demonstraram uma grande diferença entre as parcelas com solo exposto e solo com geotêxteis. Na parcela com solo exposto, os dados registrados no dia 08 de março de 2006, com 77 mm de chuvas indicam a saturação da água no solo,

atingindo o valor de 0,6 kPa. Por outro lado, no dia 24 de janeiro, após duas semanas de estiagem, com 1 mm de índice pluviométrico registrado no dia do monitoramento, a carga de pressão chegou a -27,7 kPa (Fig. 33). Essa variação foi encontrada no tensiômetro de 15 cm e refletem a compactação das camadas mais superficiais, que impede uma maior infiltração da água no solo, como também elevadas taxas de evaporação, devido à ausência de cobertura vegetal.

A compactação da camada mais superficial do solo pode comprometer a capacidade de infiltração, interferindo nos dados de potencial matricial. De acordo com Pinto *et al* (1976, p. 45) “a capacidade de infiltração é a quantidade máxima de água que um solo, sob uma dada condição, pode observar na unidade de tempo por unidade de área horizontal”. A penetração da água no solo, na razão da sua capacidade de infiltração, verifica-se somente quando a intensidade da precipitação excede a capacidade do solo em absorver a água, isto é, quando a precipitação é excedente.

Nas profundidades de 30, 80 e 120 cm (Figs. 34-36) na parcela com solo exposto os potenciais matriciais se mantiveram praticamente constante durante o monitoramento. A poro pressão a 30 cm variou entre 0,2 kPa (37 mm, dia 13.12.05) e -14,8 kPa (estiagem, dia 18.01.06), enquanto a 80 cm o potencial variou entre 0,2 kPa (122 mm, dia 01.12.05) e 16,4 kPa (estiagem, dia 18.01.06). A carga de pressão a 120 cm de profundidade chegou a uma pressão negativa entre -6,4 kPa (4 mm, dia 30.12.05) a -25,2 kPa (39 mm, dia 02.02.06).

A resposta deste sistema (a 120 cm) pode ser tardia quando comparado aos dados dos tensiômetros mais superficiais, que sofrem uma maior influência das chuvas, infiltração, malha das raízes e evaporação. A diferença nos resultados de poro-pressão nas

profundidades na parcela com solo exposto demonstram as características de um solo com rápida saturação e acelerada formação do escoamento superficial.

Os resultados do potencial matricial na parcela com solo exposto revelam um solo com uma ineficiente movimentação hídrica. Tendo como base que todo o processo de infiltração deve passar através dos solos, as condições de suas camadas exercem uma importante influência nas taxas e na capacidade de infiltração. De fato, em muitos casos as condições da superfície, limitam as taxas que a água pode ser absorvida pelo solo.

A ausência de uma cobertura vegetal no solo pode acelerar a formação de crostas pelo efeito da compactação em função do *splash*, reduzindo rapidamente a infiltração. Esses efeitos podem ser melhores percebidos em solos argilosos, que podem ser mais facilmente compactados quando comparados aos solos arenosos, que são menos susceptíveis ao processo de compactação. Um mesmo efeito pode ser produzido pelos animais em áreas de pastagens ou pelo tráfego de veículos em trechos rodoviários não pavimentados.

Costa *et al* (2005) pesquisando o potencial matricial em uma parcela sem cobertura vegetal, a partir de ensaios com tensiômetros, discorre que essa parcela demorou 4:30 h para variar de -6,5 a -0,6 kPa na profundidade de 15 cm, enquanto que, na profundidade de 30 cm, foram registradas significativas variações após 4:30 h de experimento, onde registrou-se a variação de -6,5 a -3,9 kPa, nas duas horas finais de ensaio. Os autores ainda conclui que esses dados refletem o grau de compactação da camada superficial da parcela sem cobertura vegetal que pode está acarretando efeitos nas propriedades físicas, e conseqüentemente, dificultando as condições de infiltração.

Na parcela solo com geotêxteis, os resultados demonstraram uma significativa melhoria das condições de circulação da água no solo em todas as profundidades (exceto a 120 cm), devido diretamente ao crescimento da cobertura vegetal e seu sistema radicular e indiretamente os geotêxteis, que protegem as sementes e o solo contra o efeito splash (selagem) e ação eólica, além da manutenção da umidade superficial indispensável à germinação e crescimento dos vegetais.

Os potenciais matriciais a 15 cm variaram entre -0,11 kPa no dia 11 de dezembro de 2005 com 31 mm de chuva (cobertura vegetal incipiente) e -67,1 kPa em 26 de janeiro de 2006 após duas semanas de estiagem e com 3 mm de chuvas (Figs. 33-36). Nesse ponto, percebe-se a forte influência das raízes da braquiária, através da forte sucção propiciadas pelo sistema radicular. Tendo em vista todas as profundidades dos tensiômetros no experimento, é na profundidade de 15 cm que a influência dos geotêxteis sobre a dinâmica interna da água deveria ser percebida, o que não ocorre, mantendo-se os dados praticamente próximos à saturação no período entre a aplicação da geotêxtil e do crescimento das gramíneas, ficando seu papel a nível secundário.

De acordo com Coelho Netto (2001, p. 122) a dinâmica hidrológica superficial “varia de uma área para outra em função das características geográficas locais, tais como topografia, descontinuidades no perfil dos solos e/ou umidade antecedente às chuvas que precipitam sobre a bacia de drenagem”. O escoamento subsuperficial predomina em regiões úmidas pelo fato da vegetação proteger os solos do impacto direto das chuvas e o sistema radicular, que favorece a infiltração.

A maior amplitude do potencial matricial no sistema solo com geotêxteis foi encontrada na profundidade de 30 cm, variando entre -0,3 kPa no dia 08 de dezembro de 2005 com 32

mm de chuva (incipiente cobertura vegetal) e -70,9 kPa no dia 20 de janeiro de 2006 após 1,5 semana de estiagem (Fig. 34). Esse baixo potencial matricial (-70,9 kPa), ocorreu devido as melhores condições de circulação da água no solo, através de uma maior permeabilidade e sucção proporcionadas pelos sistemas radiculares das gramíneas que influenciaram diretamente o comportamento do fluxo da água no perfil do solo (Fig. 38).

Os resultados indicam também de forma indireta o crescimento das raízes e sua influencia sobre os resultados. Essa “marcha” das raízes, pode ser comprovada no tensiômetro de 80 cm (Figs. 35-39), aonde a menor pressão negativa chegou a -51,2 kPa no dia 23 de fevereiro de 2006 (31 mm), um mês depois que os tensiômetros de 15 e 30 cm registraram esses valores. Os dados sobre o crescimento da cobertura vegetal demonstraram uma forte relação entre área de ocupação da gramínea (maior quantidade de raízes) e o potencial matricial. As gramíneas começaram a interferir nos resultados de poro pressão, quando atingiram 60% de ocupação da área amostral na parcela com geotêxteis e gramíneas, principalmente nas profundidades de 15 e 30 cm.

Estudos realizados no Município de Bananal (SP) por Leão *et al* (2003) apontam à importância da análise dos tensiômetros mais superficiais (10 - 15 cm), onde existe uma grande densidade de raízes. O autor destaca também nesse estudo, a diminuição da carga de pressão no solo, devido ao aumento do consumo de água pela malha de raízes, como também o aumento da infiltração.

Segundo Coelho Netto (2001, p. 117) as raízes têm importante participação na estruturação física dos solos, ampliando a capacidade de transmissão de água. As raízes no topo dos solos permitem a injeção de água em poucos minutos após a água atravessar o dossel e antes mesmo de preencher o déficit de água da serrapilheira.

A elevada amplitude dos valores de carga de pressão na parcela com geotêxteis, ocorreu devido à expansão do sistema radicular das braquiárias, ocasionando um grande consumo de água. Os potenciais matriciais a 120 cm de profundidade não apresentaram valores significativos quando comparados aos outros tensiômetros, variando entre -6,7 kPa (4 mm, dia 30.12.05) e -28,1 kPa (39 mm, dia 02.02.06), tendo pequena diferenciação de amplitude em relação aos dados de 120 cm na parcela com solo exposto (Figs. 36, 40).

No tocante a influência das gramíneas sobre os dados de potencial matricial, os estudos de Costa *et al* (2005) indicam que na profundidade de 15 cm, ocorreu uma variação de -3 kPa e foi registrado um processo de drenagem, demonstrando que na profundidade superficial, os sistemas radiculares influenciaram o comportamento do fluxo de água no solo.

Os dados de potencial matricial estão diretamente ligados à geração do escoamento superficial e na produção de sedimentos através da determinação dos pontos de saturação e maior circulação de água nos sistemas solo exposto e solo com geotêxteis, devido às diferenças de pressões da água no interior dos solos analisados. Durante o monitoramento, foi registrado 1.086,72 mm de chuvas gerando um escoamento superficial de 2.991,6 l, enquanto no sistema solo com geotêxteis, o fluxo superficial chegou a 1.289,2 l.

Na parcela com solo exposto (Fig. 41), os valores médios de carga de pressão estão mais próximos à saturação que a parcela com a geotêxtil, atingindo -10,1 kPa (15 cm), -7,6 kPa (30 cm) -6,8 kPa (80 cm) e -19,1 kPa (120 cm).

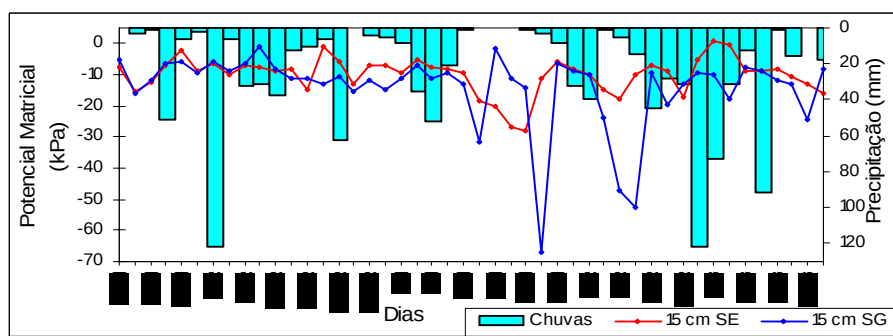


Fig. 33 – Potencial matricial nas profundidades de 15 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG).

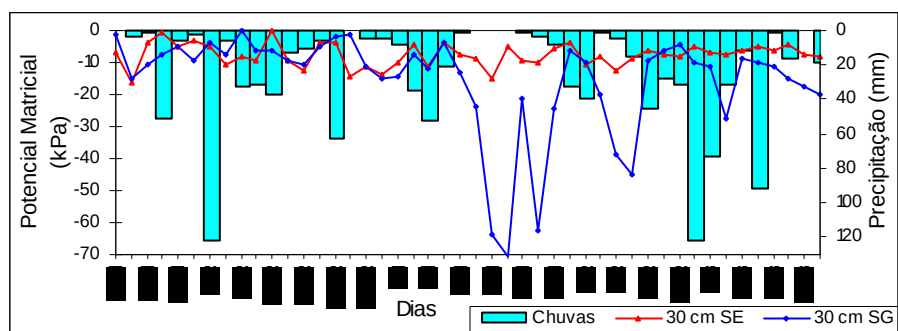


Fig. 34 – Potencial matricial nas profundidades de 30 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG).

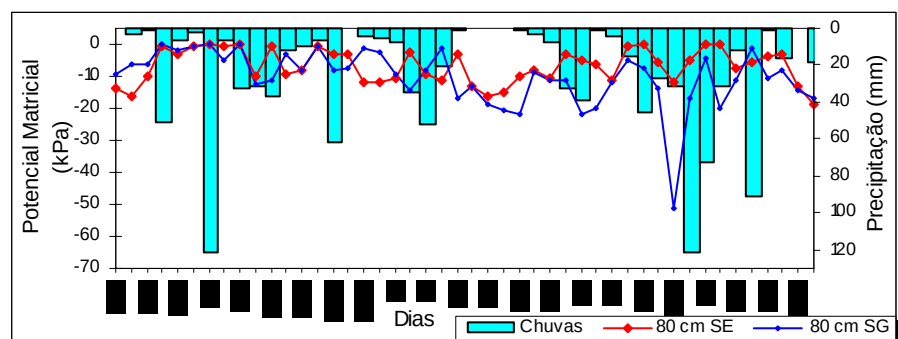


Fig. 35 – Potencial matricial nas profundidades de 80 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG).

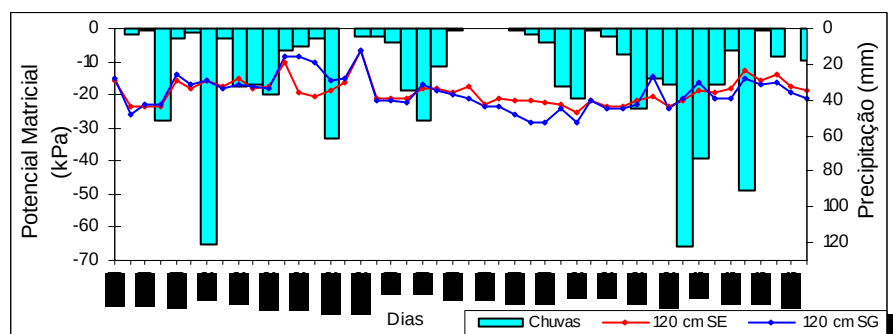


Fig. 36 – Potencial matricial nas profundidades de 120 cm nos sistemas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG).

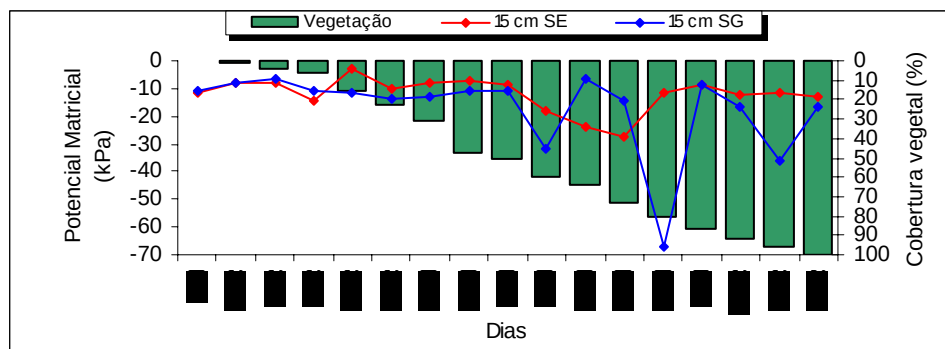


Fig. 37 – Relação do potencial matricial (15 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de graminéia (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis).

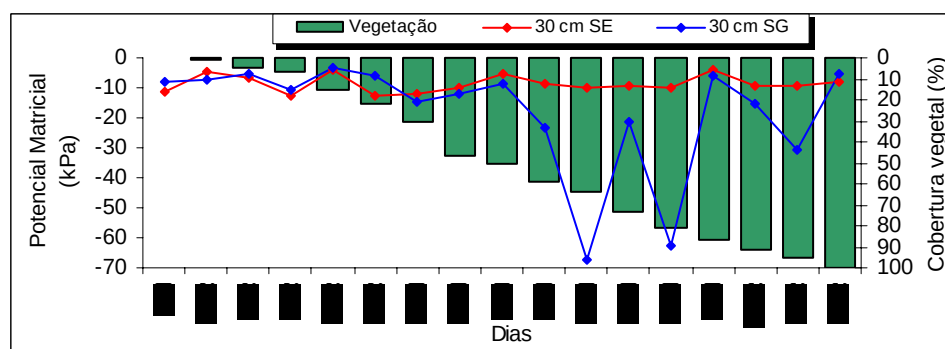


Fig. 38 – Relação do potencial matricial (30 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de graminéia (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis).

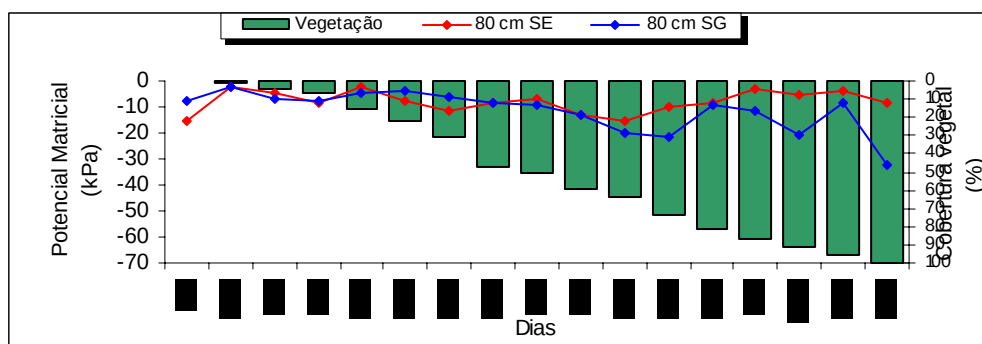


Fig. 39 – Relação do potencial matricial (80 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de graminéia (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis).

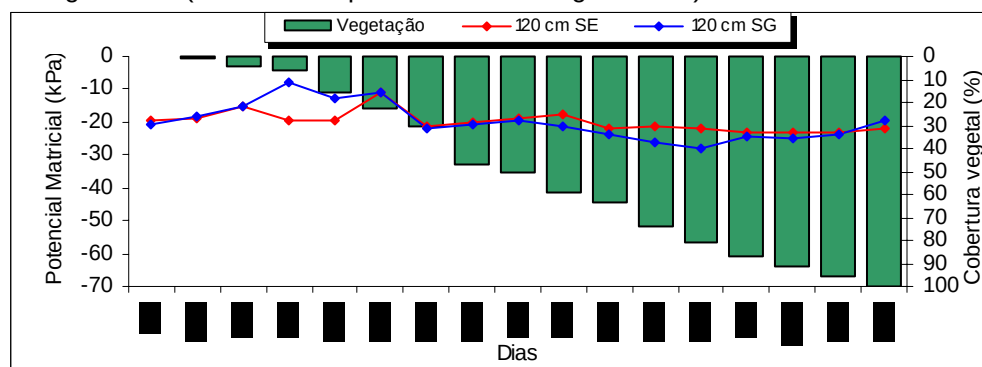


Fig. 40 – Relação do potencial matricial (120 cm) e respectiva cobertura do solo superficial pelo crescimento da vegetação de graminéia (SE – Solo exposto – SG – Solo geotêxteis).

Estudos realizados por LELES *et al* (2004) sobre a taxa de drenagem em parcelas sem cobertura vegetal e com gramíneas, discorrem que numa chuva de 20 mm nos sistemas, ambos alcançaram à saturação na profundidade mais superficial. Entretanto observa-se uma drenagem quase duas vezes maior na parcela com gramíneas em relação à parcela sem cobertura. Isto decorre tanto pelo efeito da sucção das raízes das plantas, como no melhoramento nas condições físicas do solo.

Nessa parcela (solo exposto), os dados estão mais próximos da poropressão positiva, que indica um solo mais saturado que o sistema com geotêxteis e gramíneas. Segundo Guerra & Guerra (1997, p. 501) a poropressão é considerada positiva quando o solo está saturado, e a força capilar é neutralizada. Para os autores (1997, p. 501), durante um evento chuvoso os poros existentes no solo são preenchidos de água, e as forças de capilaridade decrescem, diminuindo também a capacidade de infiltração do solo, resultando na formação do escoamento superficial.

Na parcela com geotêxteis e gramíneas, os valores médio chegaram a -14,1 kPa (15 cm), -15,6 kPa (30 cm) -10,3 kPa (80 cm) e -19,4 kPa (120 cm), refletindo uma melhoria na circulação da água no perfil do solo (Fig. 42). Os geotêxteis foram eficientes na diminuição do fluxo superficial (Figs. 43-44) e no controle do processo erosivo, ora servindo de obstáculo para a geração do escoamento superficial e reforçando o solo contra erosão, ora absorvendo a umidade.

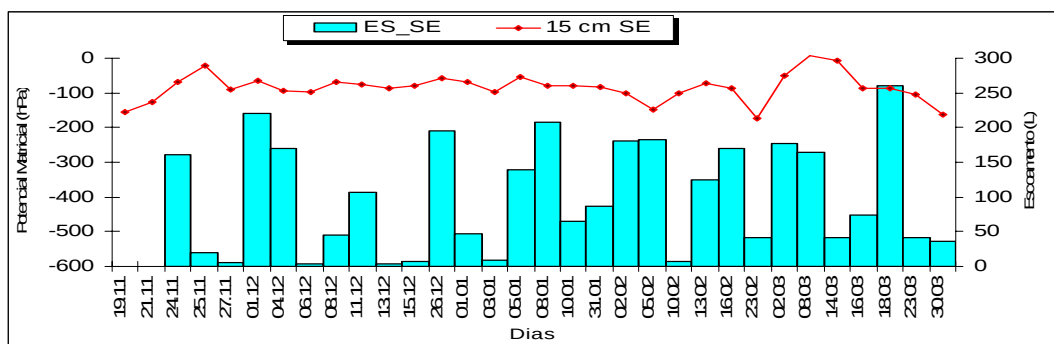


Fig. 41 – Relação entre potencial matricial e escoamento superficial (Solo Exposto -15 cm).

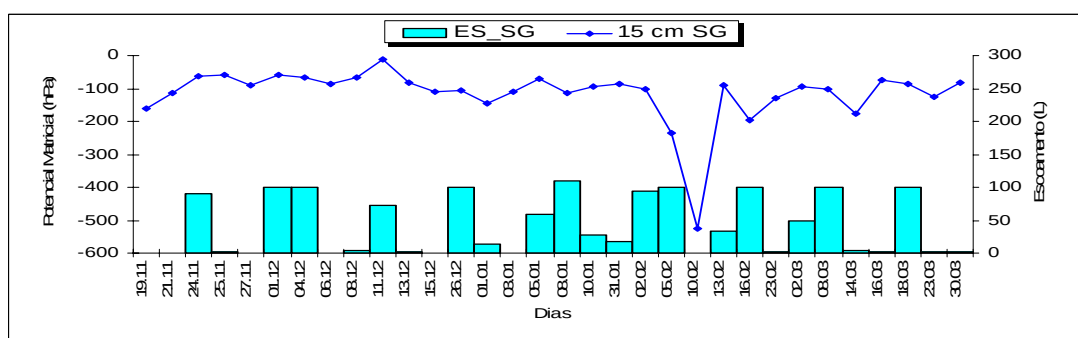


Fig. 42 – Relação entre potencial matricial e escoamento superficial (Solo Geotêxtil -15 cm).



Fig. 43 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis sem a presença de vegetação.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 25.11.05.



Fig. 44 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis e gramíneas.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 13.02.06.

A partir dos dados de potencial matricial, foi possível a construção de gráficos que representem à movimentação do fluxo ascendente e descendente da água no solo. Os valores de pressão foram transformados de KPa (Kilopascal) para atm (Atmosfera) para um melhor entendimento e enquadramento teórico sobre o mapeamento do fluxo da água no solo. A diferença de poro-pressão entre os pontos estudados, depende de uma série de fatores, dentre eles a presença de micro e macroporos no solo, a evaporação e absorção de água nas zonas onde estão as raízes das plantas.

A soma desses fatores gera diferenças no potencial matricial ocasionando a movimentação hídrica no perfil, dos pontos de maior pressão negativa (elevada umidade) para zonas de menor pressão negativa (baixa umidade). Essa diferença pode ser observada na parcela com geotêxteis, tendo como parâmetro o antes e depois do desenvolvimento da cobertura vegetal.

Dessa forma, por exemplo, no dia 11 de dezembro de 2005 foi constatado o predomínio de movimentos descendentes, com ausência de cobertura vegetal, por outro lado no dia 10 de fevereiro de 2006 houve a circulação da água em fluxos ascendentes e descentes, devido principalmente à atuação do sistema radicular das gramíneas e evaporação (Figs. 45-46).

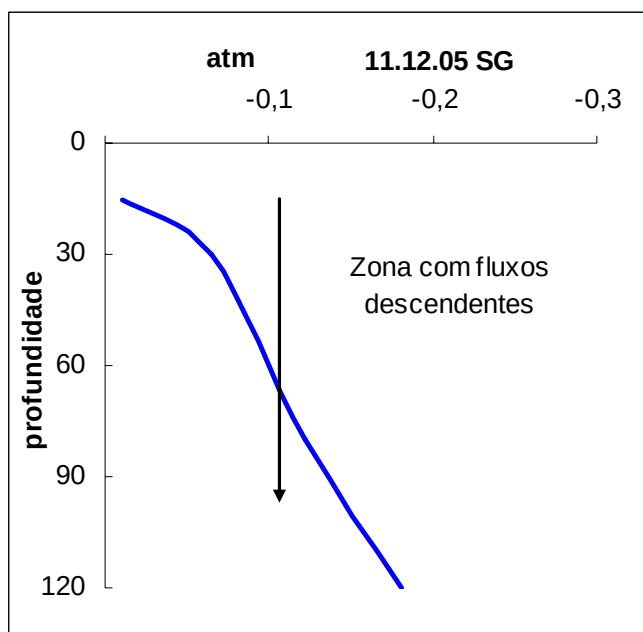


Fig. 45 – Movimentação da água no perfil do sistema solo com geotêxteis e sem a presença da vegetação.

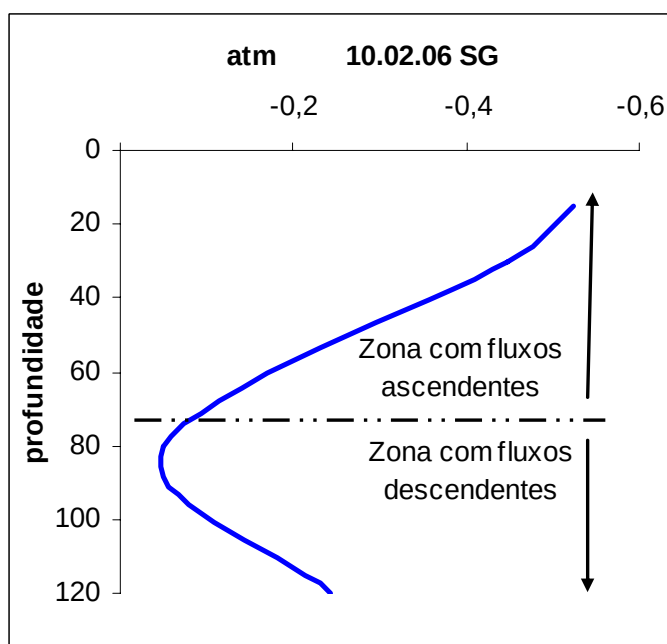


Fig. 46 – Movimentação da água no perfil do sistema solo com geotêxteis e gramíneas.

11. GEOTÊXTEIS E EROSÃO SUPERFICIAL

Nesse capítulo será ressaltado o papel dos geotêxteis na diminuição do escoamento superficial e no controle da erosão na estação experimental. Durante o monitoramento, foram registrados 1.087,22 mm de chuvas, gerando um escoamento superficial de 2.991,6 l no solo exposto, enquanto o sistema com geotêxteis o fluxo superficial chegou a 1.289,2 l (Fig. 47). No tocante a contenção dos processos erosivos, os resultados apontaram para uma diferença significativa no controle do transporte de sedimentos com os geotêxteis e gramíneas atingindo 13,18 kg/10 m², enquanto o solo exposto chegou a 197,26 kg/10 m² (Fig. 48).

Esses dados se tornam mais expressivos quando apresentados no decorrer dos 5 meses de trabalho, possibilitando o conhecimento do funcionamento dos geotêxteis sobre a dinâmica hídrica superficial, responsável pelo transporte dos sedimentos (Quadro 03). Em se tratando da mobilização das partículas superficiais, o mês de novembro tem uma característica peculiar, por ser tratar do início da estação chuvosa da região, após 5 meses de estiagem (ou chuvas escassas).

Este fator climático influenciou diretamente no transporte de sedimentos no experimento devido a uma maior evaporação na superfície associada à instabilidade dos agregados, implicando em uma menor coesão das partículas e predisposição na remoção das camadas superiores do solo, com ausência de cobertura vegetal, logo nas primeiras chuvas.

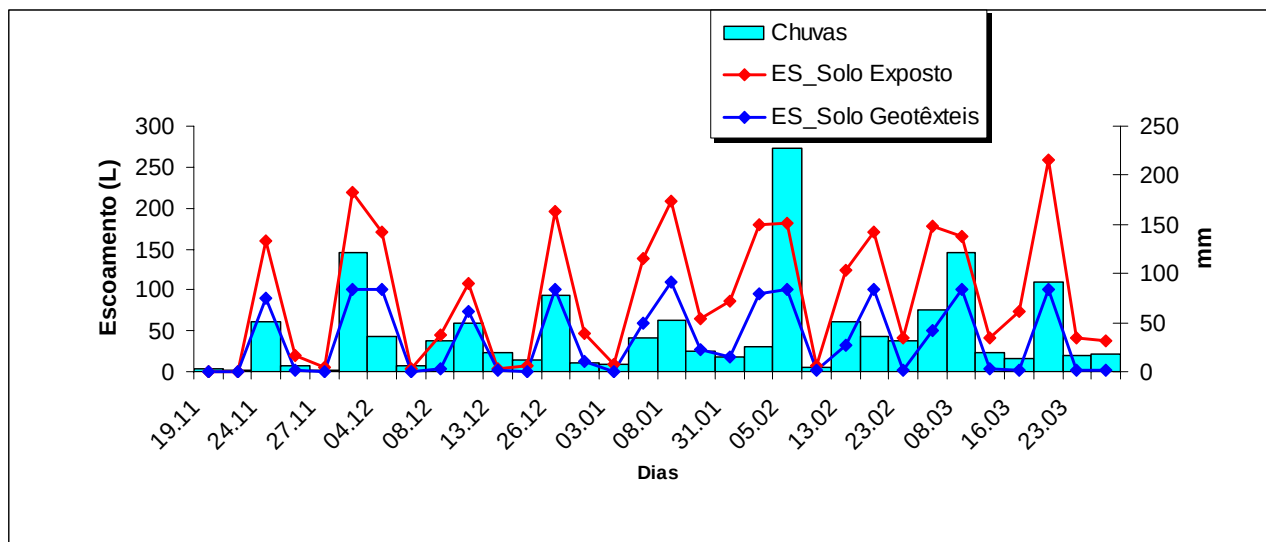


Fig. 47 – Variação temporal do escoamento superficial nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG).

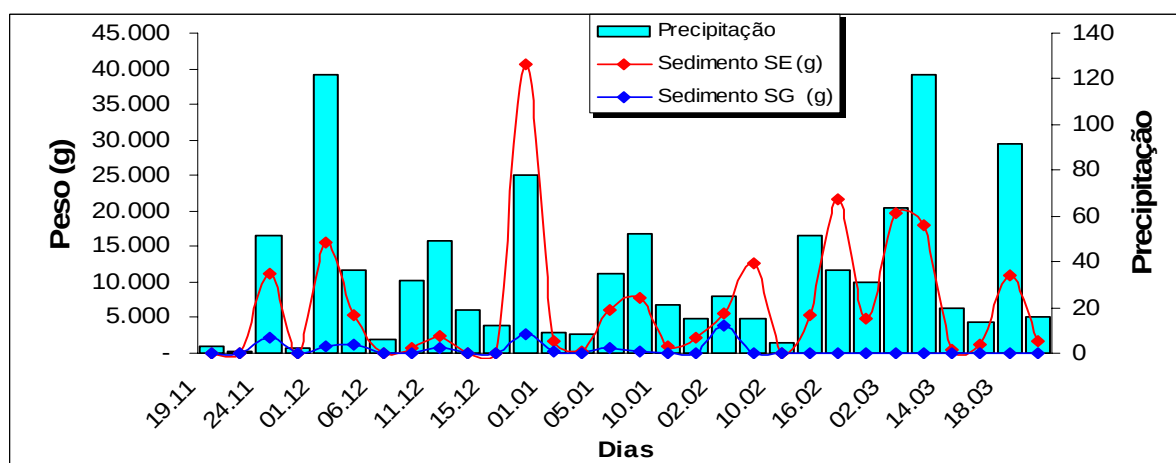


Fig. 48 – Variação temporal da perda de sedimentos nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG).

Quadro 03 – Variação do escoamento superficial e perdas de sedimentos nas parcelas solo exposto (SE) e solo com geotêxteis e gramíneas (SG).

Meses	Chuvas	Escoamento Total SE (L)	Escoamento Total SG (L)	Sedimento Total SE (g)	Sedimento Total SG (g)
Novembro	143,23	165,73	91,1	11.162,37	2.251,23
Dezembro	279,89	752,2	379,8	64.971,93	5.503,05
Janeiro	148,8	553,3	227,8	19.066,68	1.213,19
Fevereiro	208,2	704,5	331	50.229,93	4.127,46
Março	306,6	795,9	209,5	52.350,42	84,31
Totais	1.086,72	2.971,63	1.239,20	197.781,33	13.179,24

Autoria: BEZERRA, J.F.R.

O monitoramento iniciou-se na segunda metade de novembro, o que pode justificar o menor valor total de chuvas. Nesse período, notou-se a eficiência dos geotêxteis como obstáculo na geração do escoamento superficial (91,1 l) e na contenção de sedimentos (2.251,23 g), em relação com a parcela com solo exposto que apresentou um fluxo de 165,73 l e perda de erosão de 11.162,37g valores bem superiores que a outra parcela. Neste mês (novembro) foram registrados os menores valores de escoamento superficial e erosão (exceto na parcela com geotêxteis, que ficou na terceira posição) quando comparada aos outros meses (Quadro 03).

O mês de dezembro obteve o segundo maior índice pluviométrico de todo o período estudado atingindo 279,89 mm de chuvas. Na primeira metade do mês essas chuvas atingiram os geotêxteis diretamente, pois a vegetação ainda não estava desenvolvida, reforçando sua função protetora do solo (Quadro 03). Nesse mês, o escoamento superficial na parcela com os geotêxteis chegou a 379,8 l enquanto no solo exposto o fluxo registrado foi quase o dobro (752,2 l).

O geotêxtil além de absorver a umidade, devido a suas propriedades inerentes ao tecido vegetal (buriti), também formou uma barreira contra a energia cinética das chuvas, dificultando a movimentação das partículas soltas no solo que causam a selagem dos poros. Essas características favoreceram os processos de infiltração, diminuindo o fluxo superficial e conseqüentemente a remoção dos sedimentos nesta parcela (5.503, 05 g). Todavia, o maior fluxo superficial de todo o monitoramento na parcela foi registrado nesse mês, devido à ausência da cobertura vegetal que promove uma maior infiltração.

Por outro lado, a parcela como solo exposto sofreu o impacto direto das gotas de chuvas, que favoreceu a formação de crostas superficiais que diminuíram a infiltração,

aumentaram o escoamento superficial e a perda por erosão, sendo registrado o maior valor (erosão) nessa parcela durante todo o monitoramento (64.691,93 g).

Quanto à parcela com solo exposto Baccaro *et al* (1999) trabalhando em experimento com condições semelhantes, relata que nessa parcela é muito mais susceptível a perda de solo e satura-se com facilidade, gerando um escoamento superficial total de 633,7 l no ano de 1998, sendo os meses de maiores escoamentos respectivamente novembro e dezembro. A mesma autora, enfatiza que as maiores perdas de solos nos seus experimentos ocorreram em março (53,561 Kg) e em janeiro (47,301 kg).

O mês de janeiro na pesquisa apresentou baixa precipitação total (148,8 l), com duas semanas de estiagem (veranico), que foi determinante na oscilação dos dados nesse mês. O escoamento superficial no sistema com solo exposto chegou a 553,3 l, o dobro do escoamento mensurado na parcela com os geotêxteis (227,8 l). Em janeiro (e no final de dezembro), percebe-se a ação combinada do geotêxtil com a cobertura vegetal na proteção dos solos (Quadro 03).

Quanto à erosão, a parcela com o geotêxtil chegou a 1.213,19 g, valor 13 vezes inferior do que o sistema com solo exposto (19.066,68 g). As duas semanas de estiagens implicaram numa maior incidência dos raios solares na superfície dessa última parcela, ocasionando uma maior evaporação, o que pode ter favorecido a instabilidade dos agregados na parcela com solo exposto, justificando essa grande diferença no transporte de sedimentos entre os experimentos.

Os totais pluviométricos no mês de fevereiro chegaram a 208,2 mm, gerando um escoamento superficial de 704,5 l na parcela com o solo exposto enquanto no sistema com a geotêxtil registrou-se 227,8 l. No tocante a erosão, o segundo maior valor total

durante o monitoramento no sistema com solo exposto, foi mensurado neste período, com um total de 50.229,93 g, praticamente 10 vezes superior à parcela com os geotêxteis. Neste período evidencia-se a ação combinada deste último com a cobertura vegetal que está bem desenvolvida (Quadro 03).

Sobre a importância das gramíneas na contenção da erosão superficial Silva *et al* (1999) em trabalho realizado com parcelas em Iraí de Minas (MG) considera que a perda por erosão com essas condições de cobertura, depende da intensidade, duração e localização dos eventos chuvosos. Os autores ressaltaram que na estação chuvosa (na sua pesquisa) foi o mês de dezembro (1998), que ocorreu a menor perda de solo (0,002 kg), destacando a importância da cobertura vegetal (pastagem) na proteção do solo, impedindo ou diminuindo a ação da erosão por salpicamento e o arraste laminar das partículas e minerais do solo.

O maior valor mensal de chuvas foi registrado no mês de março com 306,6 mm, influenciando diretamente os resultados do escoamento superficial e a remoção de sedimentos na estação experimental. Aliada a uma considerável frequência e magnitude dos eventos chuvosos, a formação de crostas superficiais implicaram no decréscimo da infiltração e conseqüentemente no aumento do fluxo superficial (795,9 l), o maior registrado no estudo, com uma perda de 52.350,42 g (Quadro 03).

Por outro lado, no sistema com o geotêxtil foi mensurado o segundo menor escoamento superficial (209,5 l) e a menor perda por erosão (84,31 g) de todo o período monitorado (Quadro 03). Isto ocorreu devido ao estabelecimento da cobertura de gramíneas e suas malhas de raízes, que substituíram os geotêxteis na proteção do solo.

No tocante as malhas de raízes, Cambra *et al* (1998) estudando sobre a densidade do sistema radicular em áreas de pastagens no município de Bananal (SP), demonstra que a densidade de raízes apresentou valores muito baixos na relação entre o peso de raízes e o peso do solo, visto que as raízes das gramíneas são caracteristicamente finas, podendo alcançar espessuras de no máximo até 1 mm. Os autores também afirmaram que estas raízes se dispõem no solo como a forma de uma franja capilar, as quais apresentam-se mais grossas nas profundidades mais próxima a superfície (10 cm e 30 cm).

Em se tratando particularmente dos eventos chuvosos responsáveis pela formação do escoamento superficial e a remoção das partículas superficiais do solo, observou-se que tanto no solo exposto quanto nos geotêxteis, as precipitações no intervalo de 46 a 60 mm, contribuíram para geração do maior escoamento superficial mensurado, com valores de 599,5 l a 306,1 l respectivamente (Quadros 04-05).

Em relação à perda de sedimentos, observou-se que as precipitações entre 31 a 45 mm têm grande poder erosivo no sistema com solo exposto (38.625,94 g), enquanto na parcela com o geotêxteis, os intervalos de chuvas necessários para causar uma considerável remoção encontram-se entre 16 a 30 mm (4.008,46 g). À primeira vista esses dados parecem contraditórios, mas nesse caso, não está sendo levada em consideração a intensidade das chuvas, apenas a frequência e o total de chuvas (em cada monitoramento) em relação à remoção de sedimentos.

No solo exposto, evidencia-se também a ação erosiva de um único evento chuvoso ao longo do monitoramento que removeu 40.551,67 g de sedimentos contra 2.775,09 g no sistema com geotêxteis (Quadro 04). Essa diferença obtida na estação experimental em relação aos eventos chuvosos depende diretamente da magnitude e frequência somada

as características dos solos como textura, porosidade, permeabilidade, densidade aparente, estrutura, proteção dos geotêxteis e cobertura vegetal com seus respectivos sistemas radiculares.

Quadro 04 – Intervalos de chuvas com seu respectivo escoamento superficial e perdas de sedimentos na parcela com solo exposto.

Intervalo Precipitação (mm)	Eventos	Escoamento Total (L)	Média Evento (L)	Sedimento Total (g)	Média Evento (g)
0 - 15	12	455,23	37,9	20.098,48	1.674,87
16 - 30	5	334,5	66,9	7.558,33	1.511,67
31 - 45	5	566	113,2	38.625,94	7.725,19
46 - 60	4	599,5	149,9	26.695,00	6.673,75
61 - 75	1	177	177,0	19.631,19	19.631,19
76 - 90	1	195	195,0	40.551,67	40.551,67
91 - 115	1	259,4	259,4	10.939,42	10.939,42
116 - 130	2	385	192,5	33.680,18	16.840,09

Autoria: BEZERRA, J.F.R.

Quadro 05 – Intervalos de chuvas com seu respectivo escoamento superficial e perdas de sedimentos na parcela solo com geotêxteis e gramíneas.

Intervalo Precipitação (mm)	Eventos	Escoamento Total (L)	Média Evento	Sedimento Total (g)	Média Evento (g)
0 - 15	12	137	11,4	256,41	21,37
16 - 30	5	129,61	25,9	4.008,46	801,69
31 - 45	5	265,3	53,1	1.946,76	389,35
46 - 60	4	306,1	76,5	3.244,14	811,04
61 - 75	1	50	50,0	29,21	29,21
76 - 90	1	100	100,0	2.775,09	2.775,09
91 - 115	1	100	100,0	10,00	10,00
116 - 130	2	200	100,0	909,19	454,60

Autoria: BEZERRA, J.F.R.

Santana (2006) analisando os índices de erosividade das chuvas para a Alta Bacia do Rio Araguaia (GO/MT), ressalta que “a configuração da distribuição dos valores médios de erosividade está fortemente relacionada à precipitação, sendo que seu cálculo baseia-se nas médias anuais e mensais”. O autor (2006) considerou que a erosividade é bastante

concentrada nos meses representantes do período chuvoso (91,4%) na sua área de estudo, que vai de outubro a março, sendo o mês de outubro o de menor erosividade desse período. Na sua pesquisa, julho é o mês de menor precipitação, é, também, o de menor erosividade, praticamente insignificante, considerando que nesse mês dificilmente ocorrem precipitações intensas e seqüências de dias chuvosos, mas sim, eventos isolados.

Em relação à granulometria do material superficial dos regolitos que caracterizam as duas parcelas (Fig.49), observa-se uma predominância de areia fina (50%), seguida de argila (21%), areia grossa (19%) e silte (10%). Essas características granulométricas favoreceram a grande perda de sedimentos do sistema com solo exposto. Por outro lado, as areias grossa e fina, foram retidas pelos geotêxteis, como será visto a seguir.

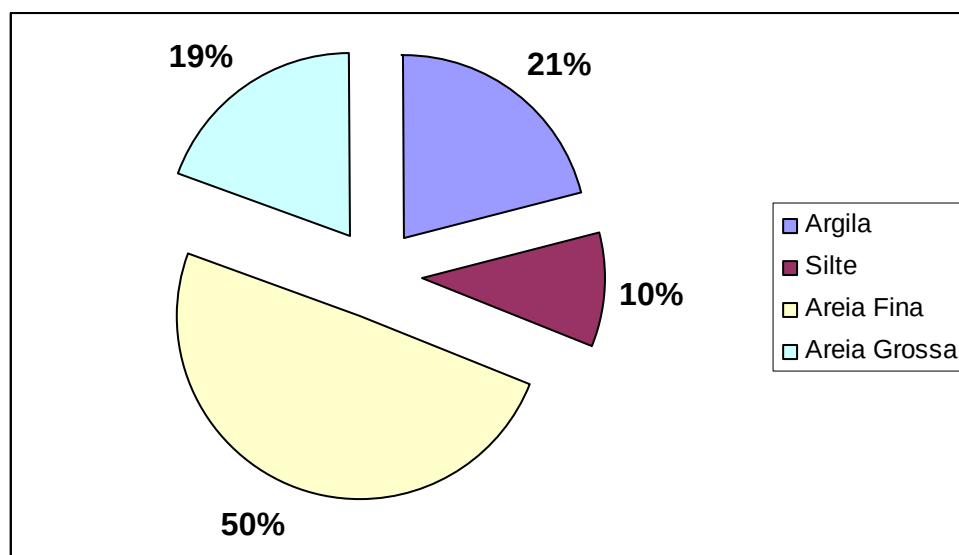


Figura 49 – Granulometria do material superficial nas parcelas com solo exposto e geotêxteis.

A partir dessas características granulométricas, para um melhor entendimento sobre a eficiência dos geotêxteis na contenção da erosão superficial no experimento, a partir dos dados da fotocomparação foram divididos em três fases (semelhante à unidade superficial): 1. Geotêxteis; 2. Geotêxteis e gramíneas e 3. Gramíneas.

A primeira etapa caracterizada pela influência dos geotêxteis na contenção dos sedimentos teve início no dia 19 de novembro de 2005 e finalizado no dia 21 de dezembro de 2005 com um total de chuvas de 404 mm. Os geotêxteis retiveram 12% das partículas enquanto o solo exposto 88% da perda total verificada nas duas parcelas da estação experimental (Fig. 50).

Em relação à granulometria do material transportado nessa etapa, 30% é caracterizada como areia grossa, 52% areia fina, 3% argila e 5% silte. Com essa informação, ressalta-se a importância do geotêxtil no controle do transporte de sedimentos, em relação à parcela com solo exposto que obteve 21% de areia grossa, 65% de areia fina, 3% de silte e 11% de argila (Figs. 51-52).

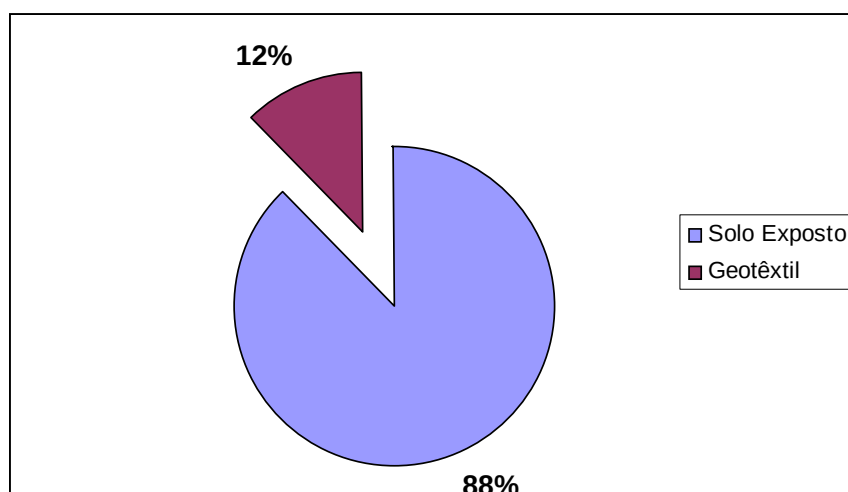


Fig. 50 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência dos geotêxteis.

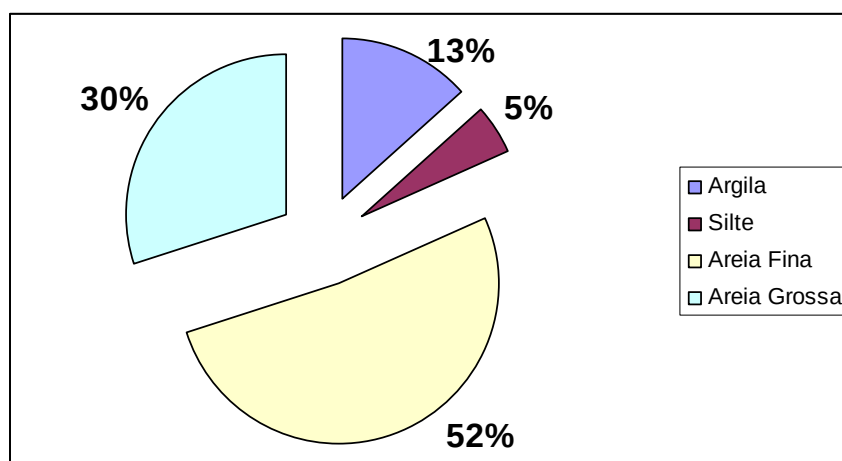


Fig. 51 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxteis na primeira etapa.

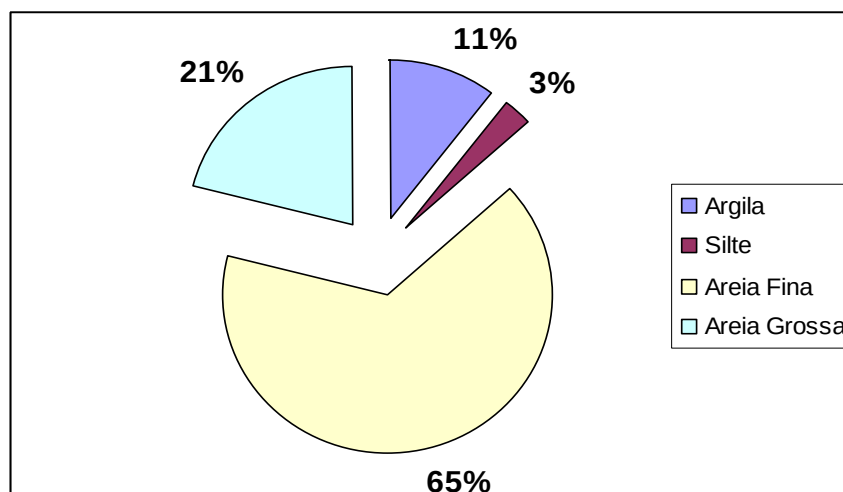


Fig. 52 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na primeira etapa.

Esses dados demonstram a eficiência dos geotêxteis na retenção dos sedimentos de maior granulometria (principalmente areia fina), o que pode ser comprovado pela diferença do escoamento nos experimentos já apresentados. As informações geradas na classificação supervisionada (fotocomparação) mostram que o geotêxtil quando aplicadas protegem 57% do solo, o que pode diminuir a ação do efeito dos impactos diretos das gotas de chuvas, dificultando a selagem da superfície e aumentando a infiltração.

Outra função da malha do geotêxtil foi promover obstáculo ao fluxo superficial, como também ancorar as partículas e as sementes, impedindo seu transporte. Suas propriedades análogas a “serrapilheira” também oferecem um impedimento à formação do fluxo de água, através da absorção da umidade. Uma vez excedida essa capacidade de absorção tanto do geotêxtil quanto do solo, forma-se o escoamento.

O geotêxtil por meio do processo de biodegradação fornece diretamente matéria orgânica ao solo degradado, melhorando sua estrutura, estabilidade dos agregados e troca catiônica (DEFLOR, 2005). A proteção imediata ao solo, também diminui a insolação que atinge diretamente a superfície, podendo ocasionar uma menor taxa de evaporação. Esses fatores favoreceram a germinação das sementes e o desenvolvimento das braquiárias. A fixação dos geotêxteis com grampos bem próximos ao solo dificultou o aparecimento da erosão linear.

A segunda etapa caracteriza-se pela ação combinada dos geotêxteis e da cobertura vegetal no controle do transporte de sedimentos, se iniciando no dia 26 de dezembro de 2005 e finalizado no dia 15 de janeiro de 2006, com um índice pluviométrico total de 135,72 mm. Em relação à produção total dos sedimentos na estação experimental, essa etapa apresentou um nível maior de contenção do que a fase anterior com 6% da parcela com a geotêxtil e 94% no solo exposto (Fig. 53).

No tocante a granulometria das partículas retidas no galão da segunda etapa, observou-se o predomínio da areia fina (53 %), seguida da areia grossa (30%), argila (13%) e silte (5%) no sistema com o geotêxtil. Nesse mesmo período, o solo exposto apresentou 64% de areia fina, 19% areia grossa, 12 % argila e 5% de silte (Figs. 54-55).

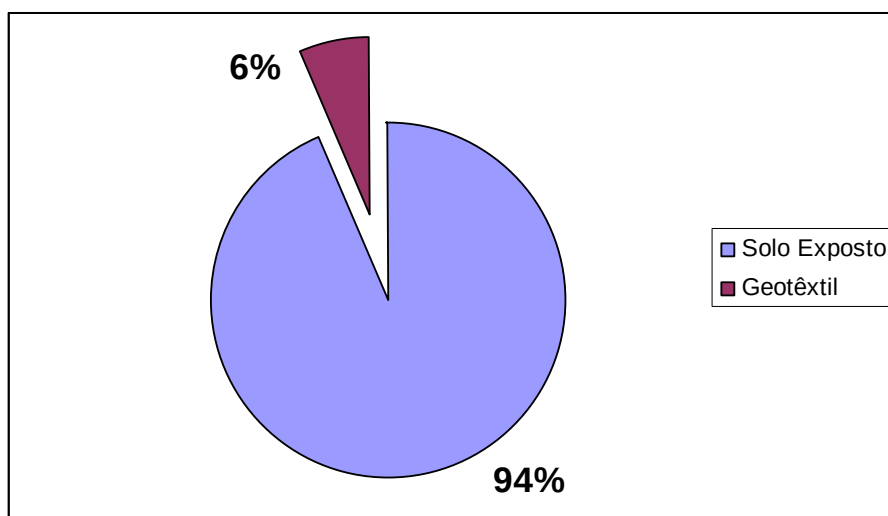


Fig. 53 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência dos geotêxteis e gramíneas.

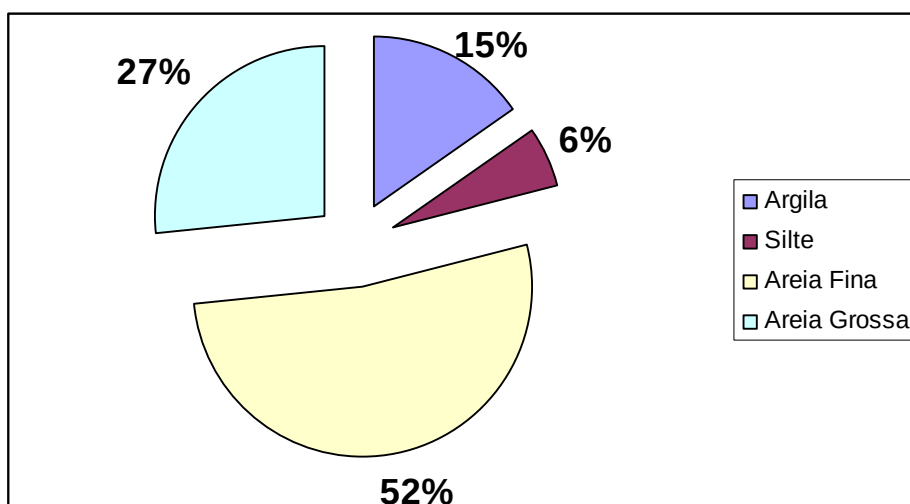


Fig. 54 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxteis na segunda etapa.

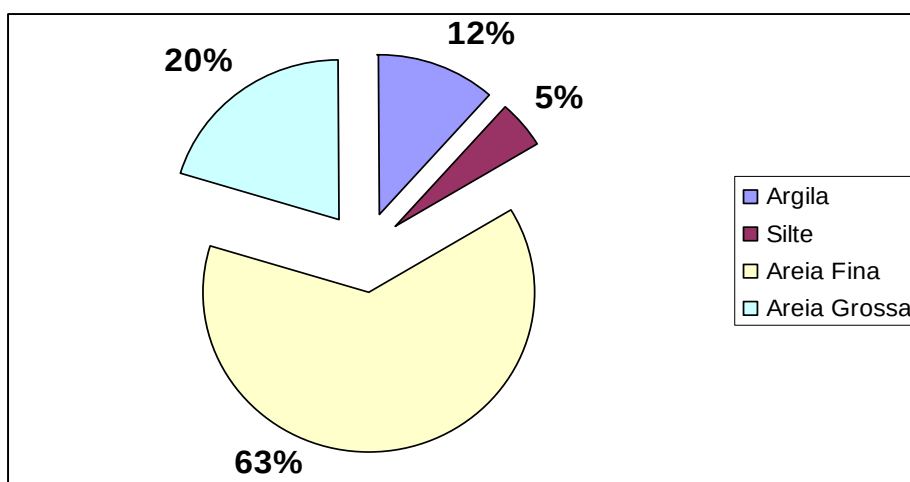


Fig. 55 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na segunda etapa.

Nessa fase percebe-se claramente a atuação dos geotêxteis na retenção das partículas do solo, ressaltando agora a função da cobertura vegetal na proteção da superfície. Em comparação com a fase anterior, essa fase foi mais eficiente no processo de ancoramento dos sedimentos, o que pode ser comprovado pelos dados totais.

As gramíneas, com ou auxílio do geotêxtil, aumentou a proteção do solo, através dos seus sistemas de folhas e raízes, diminuindo a superfície exposta. Formou-se também mais uma barreira contra o escoamento superficial e a remoção de sedimentos, embora o gotejamento das folhas, durante o evento chuvoso, pode contribuir para a movimentação das partículas.

Os sistemas de interceptação, fluxo de “tronco” (COELHO NETTO, 2001, p.113) e radicular possuem uma significativa importância nessa associação, pois influenciam diretamente a infiltração e geração do escoamento. A combinação dos geotêxteis com as gramíneas aumentou o sombreamento e com isso pode ter gerado o decréscimo da insolação e evaporação na superfície.

Nessa fase, destacam-se a aceleração do processo de biodegradação do geotêxtil, decorrente do aumento de umidade e da temperatura, fatores primordiais para atividade dos organismos. Na medida em que se processava a biodegradação, as gramíneas se desenvolviam, desempenhando sua função natural de proteção do solo.

A terceira etapa marca somente a influência das gramíneas na proteção superficial em relação ao fluxo superficial e a remoção de sedimentos, tendo iniciado no dia 18 de janeiro de 2006 e finalizado no dia 30 de março de 2006, com um total de 547 mm de chuvas. No tocante a perda total de sedimento na estação experimental, ressalta-se que

apenas 4% foi oriunda da parcela com geotêxteis enquanto que 96% proveniente do sistema com solo exposto (Fig. 56).

A granulometria dos sedimentos retidos no galão do segmento com o geotêxtil apresentou 53% de areia fina, 26% de areia grossa, 16% de argila e 5% de silte. No mesmo período, o solo exposto apresentou 63% de areia fina, 21% de areia grossa, 11% de argila e 5% de silte. Em relação à perda total de sedimentos, essa etapa obteve o menor valor quando comparado às etapas anteriores, o que vem reforçar a importância da cobertura vegetal contra a erosão dos solos (Fig. 57-58).

Sobre a importância das gramíneas na proteção do solo, estudos de Lessa *et al* (2006) em estações experimentais, apontam que na parcela com gramínea, os dados de porosidade estão sendo influenciados pela ação das raízes, pois estas não conseguem penetrar numa profundidade maior. Já na área com solo exposto, os dados de porosidade merecem destaque por apresentarem percentuais menores nas profundidades de 0 a 5 cm do que em 10 a 15 cm, o que pode estar sendo ocasionado pela exposição direta deste solo ao gotejamento, o “efeito splash”, ou até mesmo pelo pisoteio exercido nele, acarretando em uma maior compactação deste.

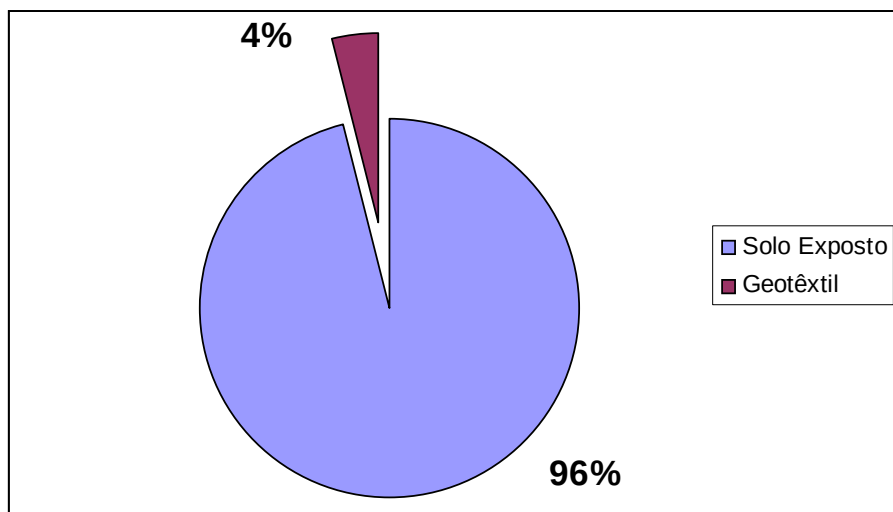


Fig. 56 – Perda total de sedimentos na estação experimental sob influência das gramíneas.

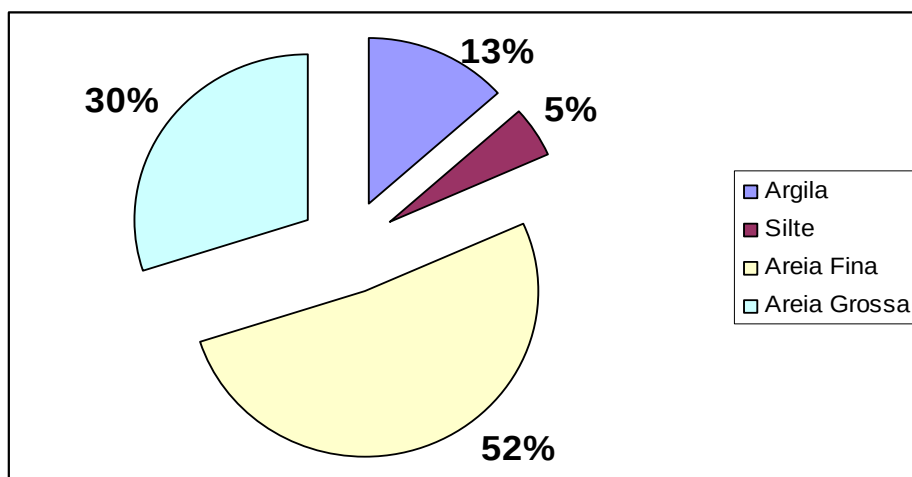


Fig. 57 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com geotêxtil na terceira etapa.

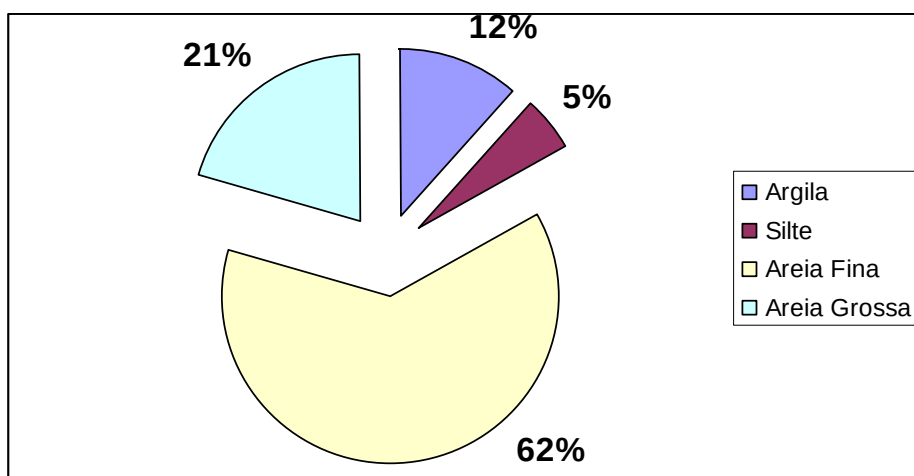


Fig. 58 – Granulometria dos sedimentos transportados na parcela com solo exposto na terceira etapa.

Semelhante às fases anteriores, as gramíneas na terceira etapa foram mais eficientes na retenção da areia fina (53% contra 63% do solo exposto), cobrindo completamente a superfície da parcela. A interceptação proporcionada pelo seu sistema de folhas fornece uma boa proteção ao solo. No evento chuvoso, este fator associado ao fluxo de “tronco” pode favorecer o processo de infiltração, através do sistema radicular.

O sombreamento proporcionado pelas gramíneas exerce um papel relevante na diminuição da insolação. Os geotêxteis encontravam-se em acelerado processo de biodegradação, decorrentes das atividades biológicas e do esforço físico promovido pelo crescimento vertical e lateral das gramíneas. O geotêxtil desempenhou a sua função de proteção do solo, agora sendo substituída pela vegetação.

Se a combinação dos geotêxteis com as gramíneas protegeu a superfície do solo contra a remoção de sedimentos, o mesmo não ocorreu na parcela com solo exposto, onde foram identificados vários processos relacionados à dinâmica erosiva. O impacto direto das gotas de chuva ocasionou a movimentação das partículas do solo, causando erosão por salpicamento, o que não ocorreu na parcela com o geotêxtil (Fig. 59).

No monitoramento foram identificados alguns pontos com pedestais, que se caracterizam por serem remanescentes da superfície inicial da parcela, ficando conservadas devido a maior resistência de alguns pontos na superfície, decorrente da erosão diferencial, que os individualizam no experimento (Fig. 60).

A selagem dos poros favoreceu o decréscimo da infiltração e aumento do fluxo superficial, que começou a se concentrar na superfície, favorecendo o aparecimento da erosão linear, como identificado. As ravinas na parcela caracterizam-se por bifurcações que se desenvolveram em direção a montante (Fig. 61).

Por outro lado, não foi identificada erosão linear no sistema com os geotêxteis, destacando-se o trabalho da geotêxtil na retenção de sedimentos mais grosseiros (areia grossa e fina), preenchendo suas malhas (Fig. 62). Os resultados apresentados demonstraram a eficiência dos geotêxteis confeccionados com a fibra de buriti na diminuição do escoamento superficial e no controle do transporte dos sedimentos (Figs. 63-64).



Fig. 59 – Diferença no *splash erosion* nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 25.11.05.



Fig. 60 – Pedestal formado na parcela com solo exposto a partir do trabalho da erosão diferencial.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 03.04.06.



Fig. 61 – Ravina com ramificações.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 08.01.06.



Fig. 62 – Retenção de sedimentos mais grosseiros nos geotêxteis.
Autoria: BEZERRA, J.F.R, 24.11.2005.



Fig. 63 – Diferença na geração do escoamento nas parcelas solo exposto e solo com geotêxteis sem a presença de vegetação.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 25.11.05.



Fig. 64 – Diferença na produção de sedimentos nas parcelas com solo exposto e solo com geotêxteis sem a vegetação.

Autoria: BEZERRA, J.F.R, 24.11.2005

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada na pesquisa foi considerada satisfatória para atingir os objetivos propostos. A fotocomparação com a classificação supervisionada permitiu acompanhar o desenvolvimento da cobertura vegetal, bem como visualizar pontualmente o processo de biodegradação dos geotêxteis. Com essas informações foi possível demonstrar a eficiência dos sistemas (1) geotêxteis, (2) geotêxteis e gramíneas e (4) gramíneas na conservação da umidade superficial e controle do transporte de sedimentos quando comparada ao solo exposto.

O medidor automático de umidade superficial permitiu acompanhar o comportamento da umidade nas parcelas com o solo exposto e geotêxteis, demonstrando através dos dados a importância da umidade na conservação inicial da umidade, necessária para a germinação das gramíneas. A umidade manteve-se mais elevada na parcela com os geotêxteis e gramíneas durante todo o monitoramento, o que já deve ser apontado como uma utilização da técnica.

Os dados de potencial matricial fornecidos pelos tensiômetros nas diferentes profundidades, mostraram uma estreita relação entre a distribuição da poro-pressão no solo com a geração do escoamento superficial. A parcela como solo exposto apresentou valores próximos à saturação da água, onde se registrou o maior escoamento superficial e conseqüente transporte de sedimento em relação com o sistema como geotêxteis e gramíneas.

Os geotêxteis garantiram uma proteção inicial ao solo, formando uma barreira contra o efeito *splash*, escoamento superficial e a remoção de partículas. Os geotêxteis também impediram a remoção das sementes das braquiárias da parcela, servindo também como suporte para o seu desenvolvimento. Os geotêxteis conservaram a umidade superficial mais elevada do que o solo exposto. Quanto ao potencial matricial, não foram observados dados diretos que indiquem a sua influência na melhoria das condições de circulação da água no solo, embora o escoamento superficial total gerado fosse bem menor em relação ao solo exposto.

A parcela com solo exposto apresentou alguns processos que ocorrem em uma superfície sem cobertura vegetal (ou outra proteção), com encrostamento da superfície, rede de ravinas, pedestais, elevada taxa de transporte de sedimentos, potencial matricial próximo à saturação, baixa umidade superficial no período com pequena precipitação. Essas informações confirmaram a importância da vegetação para o solo, ou a utilização de outras formas de conservação que visem a sua proteção. Dessa forma, os objetivos da pesquisa foram alcançados a partir dos procedimentos metodológicos adotados.

No tocante as dificuldades encontradas ao longo do monitoramento do experimento, que impossibilitaram a análise aprofundada dos dados apresentados e de outros parâmetros que comprovassem a utilização dos geotêxteis com uma técnica de conservação dos solos, citam-se:

- Os dados de chuvas foram obtidos com duas técnicas diferentes, um pluviômetro de alumínio e outro eletrônico;
- Dados incompletos da intensidade da chuva impediram uma correção entre escoamento superficial e transporte de sedimentos mais detalhadas;

- Ausência dos dados de temperatura e evaporação nas parcelas, para a correlação com os dados de umidade superficial;
- Perda de carbono orgânico e biomassa produzida;
- Ensaios laboratoriais para acompanhar o processo de biodegradação dos geotêxteis;
- Análise da incorporação de matéria orgânica e nutriente no solo;

Com os resultados alcançados na estação experimental, espera-se contribuir para a construção de uma técnica de conservação do solo, a partir da união do conhecimento geomorfológico com a bioengenharia, relacionados ao controle dos processos erosivos superficiais. As perspectivas de aplicação da técnica englobam os seguintes casos:

- Estabilização de voçorocamento, com a aplicação direta junto à superfície exposta;
- Contenção de redes de ravinamento;
- Aplicação em corte de estradas, como procedimento preventivo para processos erosivos acelerados;
- Diminuição dos efeitos *on site* e *off site* da erosão dos solos, principalmente em áreas agrícolas;
- Projetos de engenharia, que priorizem a infiltração das águas;
- Complementar a renda de comunidades carentes, através da sua confecção, destacando o trabalho artesanal.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. *Geomorfologia* (18), Instituto de Geografia, USP, 1969.

ALVES, R. R., ALVES, R. R., RODRIGUES, S. C. *Impactos ambientais de processos erosivos em microbacia hidrográfica no município de Uberlândia*. In: Anais do IV Simpósio Nacional de Geomorfologia - Geomorfologia: interfaces, aplicações e perspectivas, São Luís. UFMA, v.1. 2002.

AMBIENTE BRASIL. *Recuperação de Áreas Degradadas*.
.http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/areas.html. Capturada em 08 de julho de 2005.

ARAÚJO, H. de S, ALMEIDA, J. R. de & GUERRA, A. J. T. *Gestão ambiental de áreas degradadas*. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, M. M., LEITE, L. L., BAPTISTA, G. M. de M. The use of digital photographs to quantify vegetation ground cover in degraded areas. In: *Sociedade & Natureza*. Uberlândia, 2005.

BACCARO, C. A. da. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M (org.). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001.

BACCARO, C. A. da, et al. Dinâmica da Erosão Laminar na Microbacia do Córrego Pantaninho – Irai de Minas – MG. In: *VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Belo Horizonte, 1999.

BARRETO, A. P. & HONORATO, C. T. *Manual de Sobrevivência na Selva Acadêmica*. 3. ed., Rio de Janeiro: Objeto direto, 1999.

BUCKMAN & BRADY. *Natureza e propriedades dos solos*. Ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1976.

CASSETI, V. *Geomorfologia*. In: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>. 2006.

CAMBRA, M. F. E. S. & COELHO NETTO, A. Propriedades Físicas do Solo e Densidade de Raízes: variáveis-controle no processo de infiltração vertical do solo em áreas de pastagem, Bananal - SP. In: *Geosul*, CFH - Florianópolis, v. 14, n. 27, 1998.

COELHO NETTO, A. L. *Hidrologia e sua interface com a Geomorfologia*. In: *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3ª ed. Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001, p. 149-209.

COELHO, S. L. & TEIXEIRA A. dos S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. In: *Engenharia. Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, set./dez. 2004.

COSTA, A. R. C. et al. Condutividade Hidráulica *in situ* e sua relação com o potencial matricial em parcelas de erosão com diferentes usos. In: *XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. São Paulo, 2005.

CRISPIM, S. M. A & BRANCO, O. D. Aspectos gerais das Braquiárias e suas Características na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal. In: *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – EMBRAPA*. Corumbá, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, Antônio José Teixeira, CUNHA, Sandra B. da (orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.

CUNHA, S. B. da. & GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 2ª ed. Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da. (org.) Rio de Janeiro; Bertrand Brasil. 2000.

DEFLOR. *Principais vantagens dos Geotêxteis Antierosivos*. <http://www.deflor.com.br/portugues/produtos.html#>. Acessado em 19 de agosto de 2005.

EMBRAPA. *Manual de Métodos e Análises Solo*. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS (1979).

FULLEN, M. A. & GUERRA, A. J. T The potencial of palm (Borassus) mat geotextiles as a soil conservation technique. In: *IV Simpósio Nacional de Geomorfologia*. São Luís, 2002.

FURTADO, M. S. et al. Processo de recuperação da voçoroca do Sacavém, São Luís-MA. In: *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia*. Goiânia, 2006.

GARDINER, V. International collaborators, geomorphology and environmental management. In: *International Geomorphology*. John Wiley & Sons. University of Manchester, 1986.

GARBIN JR., E.; PINESE J.R., J.F. & RODRIGUES, S. C. - Análise da variação da umidade em diferentes tipologias de uso da terra através do uso de parcelas de erosão. Fazenda Experimental do Glória – Uberlândia – MG. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia*. Goiânia, 2006.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1999.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B DA (Orgs.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T & MARÇAL, M. dos S. *Geomorfologia Ambiental*. . Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T. *Encostas e a questão ambiental*. In: *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Orgs. Cunha, S. B. & Guerra, A. J. T. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2003.

_____. *Processos Erosivos nas Encostas*. In: *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Orgs. Cunha, S. B. & Guerra, A. J. T. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996.

_____. O Início do Processo Erosivo. In: Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações. Orgs. A.J.T. Guerra, A.S. Silva e R.G.M. Botelho. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1997, 648p.

LACERDA, R. D. de, *et al.* Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. *REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA*. ISSN 1519-5228 Volume 5- Número 1 - 1º Semestre 2005.

LAKATOS, Eva Maria. Referencias bibliográficas. In: *Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1982.

LEÃO, O. M. da R; LEAL, P. J.; PREZA, D.M. & COELHO NETO, A. L. Condicionantes geo-hidroecológicos de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem, Bananal – SP. In: *X Simpósio de Geografia Física Aplicada*. Rio de Janeiro, 2003.

LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – a case study. In: *Geotextiles e geomembranes*. Vol. 22, Issue 5. 2004.

LELES, C. M. D., *et al.* Potencial Matricial e sua relação com os processos erosivos em parcelas com diferentes usos – Campus Experimental da UERJ. <http://www.labgeoffp.com.br/PDF/res-Con-Cien-solo.pdf>. 2004.

LEPSCH, I. F. Formação e Conservação dos Solos. Ed. Oficina de textos, São Paulo, 1993.

LESSA, G. L. *et al.* Relações entre processos de revegetação de encostas degradadas e a recuperação física no topo dos solos: resultados preliminares na estação experimental da UERJ/são gonçalo. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia*. Goiânia, 2006.

MADUREIRA, N. A. *et al.* Mensuração do potencial matricial da água em parcelas de erosão com e sem cobertura vegetal:DEGEO/UERJ/FFP – São Gonçalo (RJ).In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro, 2003.

MONTEIRO, C. A. de F. *Geossistemas: a historia de uma procura*. Contexto. São Paulo. 2000.

OLIVEIRA, M. A. T. *Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçoroca*. In: *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. Guerra, A. J. T., Silva, A. S.& Botelho, R. G. M. (Orgs). Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

PINTO, N.L.S *et al.*, *Hidrologia Básica*, Edgar Blücher, São Paulo, 1976.

PINESE J.R., J.F.; GARBIN JR., E. & RODRIGUES, S. C. - Análise do transporte de sedimentos relacionado ao escoamento superficial em parcelas de erosão na Fazenda Experimental do Glória, Uberlândia – MG. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia*. Goiânia, 2006.

REICHARDT, K, TIMM, L. C. Solo, Planta e atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações. Manole, São Paulo, 2004.

REICHARDT, Klaus. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Fundação Cargil, São Paulo, 1985.

RELPH, E. As bases fenomenológicas da geografia. In: *Geografia*, Rio Claro, UNESP, nº 7, vol.4, abr. 1979.

ROSS, J.L.S. *Geomorfologia Ambiente, Planejamento*. Editora Contexto, São Paulo, 1990.

SALOMÃO, F. X. T. *Controle e preservação dos processos erosivos*. In: GUERRA, A. J. T, SILVA, A. B., BOTELHO, R. C. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 1999.

SANTANA, N.M.P.de et. al. Índices de erosividade das chuvas para a alta bacia do Rio Araguaia (GO/MT). *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Conferência Regional de Geomorfologia*. Goiânia, 2006.

SANTOS, M. *Por uma Geografia Nova: da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica*. Edusp, São Paulo, 1978.

SANTOS, 2004. *Metodologias para geração e atualização de mosaicos de fotos aéreas no Projeto ARARA*. Dissertação de Mestrado. USP, 2004.

SILVA, E. M. & ASSUNÇÃO. W. L. O clima da cidade de Uberlândia-MG. In: *Sociedade e Natureza*, Volume 16, N. 30, 2004.

SILVA, J. B. da, et al. Uso de *Plots* na mensuração da perda de solo por erosão laminar na Micro-bacia do Córrego da Divisa – Irai de Minas – MG. In: *VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Belo Horizonte, 1999.

SILVA, J. B. da. *Estudo da erosão laminar em diferentes cultivos na Fazenda Experimental do Glória - MG*. Relatório de Qualificação. Programa de Pós-graduação em Geografia, UFU, 2005.

SUDO, H. *Processos erosivos e variabilidade climática*. In: Variabilidade e mudanças climáticas – implicações ambientais e sócioeconômicas. Maringá. Sant' Anna Neto, João Lima e Zavatini, João Afonso (Orgs). UEM. 2000.

SULSOFT. Guia do ENVI em Português. <http://www.envi.com.br>. Capturado em 15 de Junho de 2004.

TAUK, Sâmia Maria. *Biodegradação de resíduos orgânicos no solo*. Revista Brasileira de Geociência 20(1-4):299-301, março/dezembro de 1990.

TRICART, J. P. Geomorphology for development and development for Geomorphology. In: *International Geomorphology*. John Wiley & Sons. University of Manchester, 1986.

WIKIPÉDIA. *Celulose*. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Celulose>. Este artigo está licenciado sob a <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>>GNU Free Documentation License. Capturado em 08 de julho de 2005.

WIKIPÉDIA. *Desvio padrão*. http://pt.wikipedia.org/wiki/Desvio_padr%C3%A3o. Este artigo está licenciado sob a <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>>GNU Free Documentation License. Capturado em 08 de julho de 2005.

WIKIPÉDIA. *Lignina* <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lignina>. Este artigo está licenciado sob a <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>>GNU Free Documentation License. Capturado em 08 de julho de 2005.