

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
DEPARTAMENTO DE SOLOS

**PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOMANTAS PARA  
CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES**

Priscila Pacheco Mariani  
Dissertação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
DEPARTAMENTO DE SOLOS

**PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOMANTAS PARA  
CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES**

Priscila Pacheco Mariani  
Engenheira Ambiental (UNISC)

Dissertação apresentada como um  
dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Setembro de 2016

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e a Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC pelo apoio e incentivo, em especial aos funcionários, professores e colegas:

- *Prof. Dionei Minuzzi Delevati*, pela motivação e incentivo a iniciar o mestrado e principalmente por ter buscado a autorização da utilização da área experimental.
- *Ozébio Lopes*, o “bode”, pelos ensinamentos e orientação para construção das parcelas.
- *Fagner da Silva*, pela cumplicidade, trabalho, responsabilidade e apoio em todas as coletas.
- *Dalila Battisti*, pela amizade, motivação e auxílio nas coletas, sempre com muita dedicação e bom humor.
- *Joelma Murliki, Marcelo Schmidt e Tiago Stumpf*, pelo coleguismo, amizade, por todo o trabalho em equipe desde a instalação do experimento e principalmente por me acalmarem. Agradecimento especial ao Marcelo por ter tido tanta paciência e por me ajudar a analisar os dados.
- Aos amigos e colegas da UFRGS, em especial a *Caroline Valverde, Tatiana Fontoura e Fernando Arnuti*, pelas sugestões, auxílio durante na elaboração experimental do trabalho.
- *Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - PPGCS*, por disponibilizar recursos para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço ao meu orientador, ao qual tenho muito carinho e admiração, professor *Elmar Antonino Cassol*, pelo exemplo de pessoa e orientador, pelos ensinamentos, correções, suporte, confiança, incentivo, motivação, amizade e respeito.

Aos meus pais, *Laura e Paulo*, pela referência como exemplo de vida, apoio, dedicação, cobrança, amor e acompanhamento, inclusive durante as coletas. Especialmente ao meu pai por ter pegado no “pesado” durante a construção das parcelas.

A minha irmã, *Paolla*, a Lô, pela compreensão nos momentos de ausência e motivação nos momentos difíceis.

Ao meu noivo, *Marcos*, pela ajuda na construção das parcelas, pela amizade, companheirismo, paciência, força, conselhos, carinho e principalmente pelo amor (até mesmo na hora de auxiliar em coletas em pleno Natal).

O apoio, conhecimento, carinho e motivação destas pessoas foram fundamentais não apenas para o desenvolvimento deste trabalho, mas ainda para meu crescimento profissional e pessoal. Agradeço imensamente a todos e espero profundamente ter atingido todas as expectativas geradas com o **nosso** trabalho e dedicação.

# PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOMANTAS PARA CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES<sup>(1)</sup>

Autor: Priscila Pacheco Mariani

Orientador: Prof. Dr. Elemar Antonino Cassol

## RESUMO

Impactos sociais, ambientais e econômicos são causados pela erosão do solo tanto em áreas rurais, quanto urbanas ou em obras e construções como é o caso de taludes e cortes de estradas. Estabilização de encostas e controle da erosão em taludes é possível pelo estabelecimento de vegetação permanente, o que é facilitado pelo emprego de técnicas de engenharia natural, como utilização de mantas biodegradáveis. Com o objetivo de avaliar a eficiência de biomantas no estabelecimento de vegetação permanente e no controle da erosão em taludes, foi conduzido um experimento no campus da UNISC, em Santa Cruz do Sul, RS. Em um talude com inclinação de 35° avaliou-se a biodegradabilidade das mantas, as perdas de solo e água por erosão sob chuva natural e o estabelecimento por semeadura de aveia preta+azevém+pensacola em três tratamentos: 1) sem biomanta; 2) com biomanta comercial de fibra de coco; 3) com biomanta artesanal de sisal. A biomanta artesanal foi produzida a partir de cordões de sisal o qual, após utilizado na indústria fumageira, é descartado como resíduo. No período experimental entre 15 de agosto de 2015 e 15 de junho de 2016, a precipitação pluvial foi de 2.211,2 mm, com 15.164,6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de erosividade. Nos tratamentos com biomanta comercial (fibra de coco) e biomanta artesanal (sisal) a perda de solo foi de 30,3kg ha<sup>-1</sup> e 18,2kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No tratamento com solo sem a manta (apenas semeadura das culturas) as perdas de solo no período foram de 33.231,1kg ha<sup>-1</sup>. As perdas de água nos três tratamentos foram de 45,3mm, 36,6mm e 421,5mm, respectivamente. Ao final do ciclo das gramíneas de inverno (aveia preta e azevém) a pensacola se estabeleceu em todos os tratamentos. Conclui-se que as biomantas de sisal e de fibra de coco são viáveis e eficientes na proteção inicial de taludes contra erosão do solo até que ocorra a biodegradabilidade das mantas e o estabelecimento da vegetação permanente com pastagem implantada.

<sup>(1)</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (76p.) Setembro, 2016.

# PRODUCTION AND APPLICATION OF BIODEGRADABLE BLANKETS TO CONTROL EROSION IN SLOPE<sup>(1)</sup>

Author: Priscila Pacheco Mariani

Adviser: Prof. Dr. Elemar Antonino Cassol

## ABSTRACT

Social, environmental and economic impacts are caused by soil erosion in both rural and urban areas or works and buildings such as embankments and road cuts. Slope stabilization and erosion control on slopes is possible by permanent vegetation establishment, which is facilitated by the use of bioengineering techniques, such as using biodegradable blankets. In order to evaluate the efficiency of biodegradable blankets in permanent vegetation establishment and erosion control on slopes, an experiment was conducted on the campus of UNISC in Santa Cruz do Sul, RS. On a 35 degrees slope was evaluated the biodegradability of blankets, soil and water losses by erosion under natural rainfall and the establishment by seedling of oat + ryegrass + pensacola in three treatments: 1) no biomantle; 2) with commercial biodegradable blanket of coconut fiber; 3) with handmade sisal biodegradable blanket. The handmade biomantle was produced from sisal cords which, after being used in the tobacco industry, it is discarded as waste. In the trial period between 15 August 2015 and 15 June 2016, rainfall was 2211.2 mm, 15164.6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>erosivity. In the treatments with commercial biodegradable blanket (coconut fiber) and handmade biodegradable blanket (sisal) soil loss was 30.3 kg ha<sup>-1</sup> and 18.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Treatment with soil without the blanket (only sowing of crops) soil losses in the period was 33,231.1 kg ha<sup>-1</sup>. The water losses in the three treatments were 45.3 mm, 36.6 mm and 421.5 mm, respectively. At the end of the cycle of winter grasses (oat and ryegrass), the Pensacola was settled in all treatments. The conclusion is that sisal and coconut fiber biodegradable blankets are feasible and effective in the initial protection of slopes against soil erosion occurs until the biodegradability of the blankets and the establishment of permanent vegetation located grassland.

<sup>(1)</sup> M.Sc. Dissertation in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (76 p.),September, 2016.

## SUMÁRIO

Página

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Erosão .....	3
2.2 Predição das perdas de solo erosão hídrica.....	5
2.3 Erosão em taludes de cortes e aterros.....	9
2.4 Métodos e técnicas de estabilização .....	11
2.4.1 Técnicas e métodos de engenharia natural.....	11
2.4.2 Biomantas .....	12
2.4.3 Biomantas de sisal.....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 Caracterização do local do trabalho .....	17
3.2 Caracterização da área experimental .....	18
3.2.1 Composição granulométrica do solo .....	18
3.2.2 Limites de Atterberg .....	19
3.2.3 Resistência à penetração .....	19
3.2.4 Densidade e porosidade do solo .....	19
3.2.5 Análises químicas do solo .....	20
3.3 Preparo da área, instalação do experimento e delineamento experimental.....	20
3.4 Tratamento experimental e sistema de coleta do escoamento superficial.....	23
3.5 Caracterização das biomantas utilizadas .....	25
3.6 Coletas de amostras do escoamento superficial para determinação das perdas de solo e água por erosão e avaliação de biodegradabilidade das mantas .....	27
3.6.1 Avaliação do volume total e da erosividade das chuvas .....	27
3.6.2 Quantificações das perdas de solo e de água.....	28
3.6.3 Capacidade de absorção de água pelas fibras .....	29
3.7 Acompanhamentos do desenvolvimento da vegetação .....	30
3.8 Monitoramentos da degradação das mantas.....	30
3.9 Análise estatística.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1 Caracterização da área.....	33

4.1.1 Análises físicas do solo .....	33
4.1.2 Análises químicas do solo .....	35
4.2 Biomantas.....	35
4.2.1 Degradabilidade do material.....	36
4.2.2 Capacidade de absorção de água pelas fibras .....	38
4.3 Avaliação da matéria seca produzida pela aveia + azevém e taxa de cobertura do solo.....	39
4.4 Avaliação do escoamento superficial e das perdas de solo e água por erosão.....	46
4.4.1 Quantidade total e erosividade das chuvas no período experimental .....	46
4.4.2 Perdas de solo e água por erosão.....	49
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>7. APÊNDICES.....</b>	<b>68</b>
7.1 Análises químicas do solo .....	69
7.2 Quantidade total de chuva diária durante o período experimental. ....	70
7.3 Chuvas individuais e erosivas que ocorreram durante o período experimental .....	71
7.4 Padrões hidrológicos das chuvas erosivas mensais durante o período experimental, em número, quantidade (em mm) e erosividade pelo índice EI30, em MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> .....	72
7.5 Chuvas totais e erosivas, índice de erosividade e perdas de solo e água em cada coleta, na média de três repetições por tratamento. ....	73
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>75</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1</b> – Produção anual de sisal no mundo.....	14
<b>Tabela 2</b> - Frações granulométricas e textura do solo em cada bloco .....	33
<b>Tabela 3</b> - Limites de Atterberg e classificação do solo pelo índice de plasticidade.....	34
<b>Tabela 4</b> – Valores da densidade e porosidade total na camada superficial do solo na área experimental.....	34
<b>Tabela 5</b> - Produção de matéria seca de aveia + azevém.....	39
<b>Tabela 6</b> – Percentagem de cobertura da superfície do solo proporcionada pelas biomantas e pelo desenvolvimento das culturas. ....	40
<b>Tabela 7</b> – Caracterização das chuvas erosivas. ....	46
<b>Tabela 8</b> – Padrões hidrológicos das chuvas erosivas.....	49
<b>Tabela 9</b> – Perdas totais de solo e água no período experimental de 306 dias (entre 15 de agosto de 2015 e 15 de junho de 2016), com chuva total de 2.221,2 mm, sendo 1.993,4 mm de chuvas erosivas com erosividade total pelo índice EI30 de 15.164,6 MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> . Cada valor é uma média de 3 repetições <sup>(1)</sup> . ....	49
<b>Tabela 10</b> – Médias mensais e totais de perdas de solo e erosividade das chuvas, no período experimental (de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016).....	51
<b>Tabela 11</b> – Médias mensais e totais de perdas de água, durante o período experimental, de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016. ....	53

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1</b> – Instalação da biomanta (Erosion Control Technology Council, 2014). .....	13
<b>Figura 2</b> – Ciclo de vida do sisal na fumageira até seu descarte, conforme informação pessoal obtida na FUPASC e em algumas indústrias fumageiras de Santa Cruz do Sul, RS.....	15
<b>Figura 3</b> – Média mensal dos valores de precipitação da estação meteorológica Vantage Plus 2, localizada no campus da UNISC, durante o período de 2004 a 2015.....	17
<b>Figura 4</b> – Área escolhida para instalação do experimento. ....	18
<b>Figura 5</b> – Desenho esquemático dos tratamentos e blocos de repetições. ....	20
<b>Figura 6</b> – Detalhamento esquemático da instalação das chapas galvanizadas delimitando as parcelas. ....	21
<b>Figura 7</b> – Preparo do solo e instalação dos sistemas.....	22
<b>Figura 8</b> - Sistema de coletores com o segundo reservatório acumulando 1/5 do material excedente do primeiro reservatório. ....	24
<b>Figura 9</b> - a. Sistema de coleta do escoamento superficial. b. primeiro reservatório, direcionamento dos sólidos pesados para um balde de 20 L. ....	24
<b>Figura 10</b> – Área experimental com todos e os blocos e tratamentos em avaliação.....	25
<b>Figura 11</b> – Mantas antierosivas utilizadas no experimento e sua composição. .....	25
<b>Figura 12</b> – Imagem esquemática da manta de sisal (sisal triturado envolvido por tela fotodegradável). ....	26
<b>Figura 13</b> – Instalação da biomanta de Sisal. ....	27
<b>Figura 14</b> – Determinação da absorção de água, Fibra de coco e de sisal moído e em cordão.....	30
<b>Figura 15</b> – Bags de tela mosquiteiro.....	31
<b>Figura 16</b> – Disposição das bags ao entorno das parcelas dos tratamentos com manta de sisal e de fibra de coco. ....	32
<b>Figura 23</b> - Resistência a penetração em diferentes profundidades. ....	35
<b>Figura 18</b> – Degradabilidade dos materiais que compõem as biomantas.....	36

<b>Figura 19</b> - Material exposto 2, 3, 6 e 7 meses nas mesmas condições climáticas que os tratamentos avaliados. ....	37
<b>Figura 20</b> – Capacidade de absorção de água pelas fibras de sisal e coco. ...	38
<b>Figura 21</b> - Avaliação da cobertura do solo realizada dia 24.08.2015 (10 dias após a semeadura) e 15.10.2015 (60 dias após a semeadura) (bloco B). ....	42
<b>Figura 22</b> - Avaliação da cobertura do solo realizada dia 08.12.2015 (113 dias após a semeadura) e 10.06.2016 (295 dias após a semeadura) (bloco B). ....	43
<b>Figura 23</b> – Percentagem de cobertura do solo pelas mantas, pela vegetação, pela matéria seca e percentagem de solo descoberto nos três tratamentos em três diferentes épocas do período experimental. ....	44
<b>Figura 24</b> – Taxa de cobertura do solo. ....	45
<b>Figura 25</b> – Distribuição temporal das precipitações (mm) da estação meteorológica Vantage Plus 2, localizada no Campus da UNISC, durante o período de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016 em comparativo com a média mensal obtida através de dados dos últimos 11 anos. ....	47
<b>Figura 26</b> – Precipitação pluvial e erosividade mensal. ....	48
<b>Figura 27</b> - Perdas de água mensal. ....	54

## RELAÇÃO DOS APÊNDICES

	Página
<b>7. APÊNDICES</b> .....	<b>68</b>
7.1 Análises químicas do solo .....	69
7.2 Quantidade total de chuva diária durante o período experimental. ....	70
7.3 Chuvas individuais e erosivas que ocorreram durante o período experimental .....	71
7.4 Padrões hidrológicos das chuvas erosivas mensais durante o período experimental, em número, quantidade (em mm) e erosividade pelo índice EI30, em MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> .....	72
7.5 Chuvas totais e erosivas, índice de erosividade e perdas de solo e água em cada coleta, na média de três repetições por tratamento. ....	73

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação e modificação do solo estão atreladas ao desenvolvimento das atividades antrópicas, as quais vêm se intensificando devido a uma série de motivos, entre estes o crescimento populacional. Todavia, o processo da degradação por erosão reflete diretamente na produção de alimentos (Paterniani, 2001) e impacta o solo e os corpos hídricos (Merten; Minella, 2002).

Com intuito de minimizar os impactos ao meio ambiente, busca-se a aplicação de técnicas de controle da erosão do solo, tanto em zonas urbanas como rurais, assim como a execução de técnicas de remediação, em áreas já degradadas, a fim de torná-las novamente produtivas. Para tanto, é imprescindível o conhecimento amplo do problema, incluindo sua dinâmica e fatores que interferem nesta, assim como a avaliação e estimativa de perdas de solo.

Tais necessidades justificam as inúmeras pesquisas voltadas para esta área. Manter o equilíbrio e sustentabilidade no uso dos recursos naturais é um dos maiores desafios para o ser humano. Neste contexto, a engenharia natural busca a remediação de áreas a partir a introdução de técnicas de engenharia em paralelo com a utilização de materiais naturais (Holanda et al., 2009). Esse é um processo de remediação com a menor modificação possível do meio, visto que todos os materiais introduzidos são compatíveis com o ambiente, biodegradáveis.

Dentre o leque de opções existentes na engenharia natural, destaca-se a proteção do solo por meio de geotêxteis biodegradáveis (biomantas). De acordo com Silva (2009), a técnica em questão permite a combinação entre a

proteção do solo por manta antierosiva e a semeadura de gramíneas. Caracteriza-se pela rápida aplicação, não se restringe à inclinação do talude, resulta em condições favoráveis para o desenvolvimento da vegetação, devido à manutenção da umidade do solo, bem como, à proteção aos raios solares e incorporação de matéria orgânica.

A indústria fumageira da região do Vale do Rio Pardo no RS produz um resíduo constituído por cordões elaborados com sisal, utilizados na amarração de fardos de fumo. No processamento industrial, os fardos são abertos e esses cordões são cortados, sendo então descartados em aterro sanitário. Esse material é biodegradável e pode ser empregado na confecção de biomantas, as quais, entre tantas aplicações, podem ser utilizadas na proteção de taludes contra a erosão do solo. Entre as vantagens ambientais, sociais e econômicas para a aplicação deste sistema, pode-se citar o baixo custo de produção, visto que este material se trata de um resíduo, o qual deve ser remunerado para descarte. A produção das biomantas originadas desse resíduo de cordões de sisal pode envolver cooperativas, gerando emprego e renda. Finalmente, o emprego da biomanta, protegendo inicialmente o solo e facilitando o desenvolvimento adequado da vegetação e proteção do solo, evita a geração de passivos ambientais.

A hipótese deste estudo é que o emprego de biomanta implica na proteção imediata do solo exposto ao processo erosivo, promovendo condições para o desenvolvimento da vegetação. O sistema favorece a um aumento na disponibilidade de água para as plantas de cobertura da superfície, pois auxilia na retenção de água na superfície facilitando a infiltração no solo. Isto também auxilia na regulação da temperatura do solo, por evitar a incidências direta dos raios solares. A degradação da biomanta, em longo prazo, também contribui para o desenvolvimento da vegetação por meio da incorporação na matéria orgânica.

Este trabalho tem como objetivo principal produzir e utilizar biomantas, tendo como matéria-prima cordões de sisal, que são descartados como resíduo da indústria fumageira e atualmente encaminhados para aterro sanitário, visando solucionar os problemas de controle da erosão em taludes e destinação de um resíduo para aterros sanitários.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Erosão

O processo de formação do solo é resultante de uma série de fenômenos naturais, entre os quais destaca-se o intemperismo e o transporte de sedimentos que são depositados fora das áreas onde se originaram (Pejon et al., 2013b). A erosão das rochas, classificada como sendo geológica ou natural também é considerada um processo de formação de solos. Já o processo de erosão acelerada ou antrópica causa perdas de solo agrícola caracterizando-se como uma das principais causas de degradação do solo (Braga et al., 2012; Pejon et al., 2013a).

O processo erosivo é um fenômeno natural, o qual sofre influência direta de modificações antrópicas, interferindo nas características naturais deste processo, acentuando-o e, conseqüentemente, deixando de ser um processo totalmente natural. A partir de então a erosão torna-se mais rápida do que a formação do solo, designada como erosão acelerada (Pruski, 2009).

Dentre as classes de erosão, o processo de erosão hídrica é o que apresenta maior intensidade, resultando em impactos de grandes proporções em zonas rurais no tocante à produção agropecuária (Cunha; Guerra, 2004; Pruski, 2009; Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Ellison (1946) definiu o processo de erosão hídrica como desagregação de partículas do solo da sua massa original, transporte dessas partículas (primárias ou agregados) e eventual deposição, resultante da ação dos agentes erosivos, que são as gotas da chuva e o escoamento superficial da água sobre o solo.

O processo de erosão hídrica inicia pela energia cinética do impacto da gota da chuva no solo provocando salpicamento (*splash*), que reflete na

fragmentação de partículas do solo, as quais, a partir de então, estão disponíveis para serem transportadas pelo escoamento superficial (Guerra, 2012). O impacto da gota da chuva é responsável pelo desprendimento das partículas (desagregação), sendo o transporte de partículas realizado por meio do salpicamento e da energia dissipada na forma de turbulência durante o escoamento superficial (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Segundo Guerra (2012), durante este processo ocorre o selamento da superfície do solo, devido ao preenchimento dos poros existentes pelas partículas pequenas desagregadas, repercutindo na menor taxa de infiltração e maior escoamento superficial. A partir deste cenário, há alteração na dinâmica do processo, a qual passa de um sistema com alto potencial de destacamento e baixo transporte de sedimento para uma redução de desprendimento e acentuação de transporte.

Quando a intensidade de precipitação ultrapassa a taxa de infiltração, ocorre o empoçamento (*ponds*) da água pluvial, e quando é excedida a capacidade de acumulação de água na superfície do solo, há o início do processo de escoamento superficial ou enxurrada (Pruski, 2009).

A erosão hídrica pode ocorrer na forma de erosão em entressulcos ou laminar, em sulcos e em voçorocas (Brady; Weil, 2013). A classificação baseia-se no comportamento do fluxo de água sobre a superfície do solo. De acordo com os autores citados, a erosão laminar ou em entressulcos é caracterizada pelo escoamento uniforme e difuso, diferentemente da erosão em sulco, onde o fluxo possui um caminho preferencial concentrado em pequenos canais. Entre esses pequenos canais irregulares há atuação de fluxo laminar, que pode ser também denominado como em entressulcos. A potencialização desses fenômenos resulta na união dos sulcos, formando voçorocas e originando a erosão em voçorocas.

Impactos como desmatamento, erosão e assoreamento são oriundos tanto das práticas rurais quanto da ocupação urbana. Entretanto, os reflexos desta degradação são percebidos rapidamente na área rural, visto que as práticas agrícolas dependem diretamente da qualidade do solo onde são aplicadas. Em casos críticos, o uso inadequado do solo pode resultar na desertificação do local, após passar pelo processo de erosão e perda de nutrientes (Pejon et al., 2013a). Braga et al. (2012) discutem a influência do

setor agrícola no desenvolvimento da erosão, onde percebe-se que os processos erosivos acompanham a expansão a evolução das fronteiras agrícolas, especialmente no período em que o manejo sustentável do solo não era considerado.

Vários autores (Araujo et al., 2005; Pruski, 2009; Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Pejon et al., 2013a) atribuem como fatores que interferem na erosão hídrica do solo: características climáticas, topografia, cobertura vegetal (uso e manejo) e propriedades físicas e químicas do solo. A atividade erosiva e movimentação de sedimentos são potencializadas por características como concentração e intensidade de chuva, declividade acentuada e desmatamento propiciando que o fluxo de sedimentos seja destinado a leitos fluviais (Cunha; Guerra, 2004).

Reis; Brandão (2013) evidenciam as alterações na dinâmica de um corpo hídrico, ocasionadas por este desequilíbrio. A composição do fluxo de um corpo hídrico é resultante da soma do escoamento líquido e sólido, os quais correspondem, respectivamente, ao escoamento da água e dos sedimentos carregados pela mesma. Portanto, o processo de transporte de sedimento trata-se de um fenômeno natural, porém a utilização acentuada do solo desequilibra este sistema, entre fluxo de água e sedimentos, gerando problemas como erosão do leito e margens ou assoreamento do rio.

Reis; Brandão (2013) esclarecem, como consequência, que há impactos como o transporte de poluentes, redução da profundidade de rios e lagos, devido à deposição excedente de sedimentos, perda de solo fértil, reflexos diretos no abastecimento de água (sistema de captação é afetado pela alta concentração de sedimentos), entre outros problemas resultantes de forma indireta. Percebe-se que, ao afetar a harmonia do meio, os reflexos são de cunho ambiental, social e econômico.

## **2.2 Predição das perdas de solo erosão hídrica**

De acordo com Amorim et al. (2009), a estimativa da taxa de erosão e sedimentação, a partir da modelagem do processo erosivo, é fundamental para propor a prática mais eficiente de minimização do problema. Com a utilização de modelos de predição de perdas de solo, torna-se possível

a avaliação de diferentes estratégias que visam o controle da erosão (Amorim et al., 2009).

O uso de equações empíricas para avaliar as perdas de solo se sucede desde o ano de 1940, devido á estudos realizados na região do Corn Belt nos Estados Unidos (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Os estudos em busca do aprimoramento das equações e da metodologia a ser aplicada permaneceram, levando Wischmeier; Smith (1978) a desenvolver a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation – USLE*). A equação foi estruturada no início dos anos 60 (Araujo et al., 2005). Com a aplicação da USLE, pode-se estimar as perdas de solo por unidade de área e por unidade de tempo. A USLE é apresentada pela seguinte expressão:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

onde: A = perdas de solo por erosão hídrica, em t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; R = fator erosividade da chuva e do escoamento (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); K = fator erodibilidade do solo (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>); L = fator comprimento do declive (adimensional); S = fator grau do declive ou declividade (adimensional); C = fator manejo e cobertura vegetal (adimensional); P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Percebe-se que a equação avalia a perda de solo, tendo como parâmetro os fatores que interferem no processo erosivo, sendo estes, o fator de erosividade da chuva e do escoamento; erodibilidade (característica do solo a ser avaliado); comprimento e grau do declive (fatores do relevo); manejo e cobertura vegetal (modificações realizadas no local) e, por fim, o fator práticas conservacionistas (aplicação ou não de práticas para minimização do fenômeno).

A USLE utiliza como parâmetro um valor de tolerância de perda de solo. Conforme Wischmeier; Smith (1978), o valor da tolerância de perdas de solo representa o nível máximo de erosão do solo que permite seja mantido econômica e indefinidamente um alto nível de produtividade das culturas. Percebe-se que este parâmetro está relacionado única e exclusivamente a produtividade das plantas cultivadas. Atualmente deve-se atentar também para as questões ambientais, visto que se sabe que os efeitos da erosão se dão

tanto no local original, onde ocorreram as perdas de solo, como fora do local, onde os sedimentos são depositados, pois na maioria das vezes esses locais são a rede de drenagem e os corpos hídricos.

Amorim et al. (2009) afirmam que a USLE apenas discrimina a participação dos fatores envolvidos no processo, tratando-se de uma equação empírica. Araujo et al. (2005) complementam listando as seguintes limitações: caráter empírico, avalia perda média de solo anual, não prevê erosão por voçorocas e, por fim, não prevê deposição de sedimentos. No entanto, quando destinada a um período de tempo preestabelecido, em processo de degradação em estágio inicial, fornece uma boa estimativa de erosão.

Pesquisadores continuaram estudando o processo erosivo com intuito de aperfeiçoar a estimativa de perda de solo, resultando em 1978 na Revisão da Equação Universal de Perdas de Solo – RUSLE (Renard et al., 1997; Oliveira, 2010). Posteriormente, criou-se um modelo computacional a fim de auxiliar na quantificação dos fatores envolvidos (Amorim et al., 2009).

As limitações originadas do processo empírico na estimativa das perdas de solo por erosão ainda estão presentes. Visando maior detalhamento na predição da erosão, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA, através do *National Soil Erosion Research Laboratory*, disponibilizou em 1995 o Projeto de Predição de Erosão Hídrica (Modelo WEPP – *Water Erosion Prediction Project*), que é um modelo bem mais complexo e com base física conceitual. Segundo Cecílio et al. (2009) e Oliveira (2010), os pontos negativos do modelo são alto custo para obtenção de dado necessário para aplicação, tempo necessário para avaliação e dificuldade na coleta de dados. Neste modelo considera-se a erosão em entressulcos e em sulcos (Flanagan et al., 1995).

A exposição do solo age como principal fator no processo de desequilíbrio do mesmo. A cobertura da superfície proporcionada pela vegetação compõe o sistema promovendo condições adequadas de temperatura, umidade e resistência, dissipando a energia cinética do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial. A remoção da cobertura vegetal implica na alteração do microclima superficial (temperatura e umidade do solo), assim como exposição direta a erosão (Guimarães, 2012; Moretto,

2012). O processo de erosão resulta na perda de elementos importantes, como frações de minerais finas e matéria orgânica, responsáveis pela nutrição das plantas (Mafra, 2012).

Sendo assim, é de extrema importância a preservação da cobertura vegetal. Entretanto, em áreas já alteradas, a revitalização não se enquadra com um processo simples, especialmente em locais com acentuado declive, como é o caso de cortes e aterros de estradas e taludes (Santos, 2015). O desenvolvimento de plantas no solo está baseado em diversas características referentes à qualidade deste meio, como por exemplo, fertilidade, umidade e estrutura (Guimarães, 2012).

Para minimizar os impactos da erosão, há necessidade de cobertura vegetal (Albuquerque et al., 2002; Leite et al., 2004). Em paralelo, para o desenvolvimento desta cobertura, faz-se necessário uma adequada estrutura do solo, além de condições de fertilidade e umidade que também são afetadas pela dinâmica da erosão (Gomes; Filizola, 2006). Bertoni; Lombardi Neto (2012) salientam a importância de evitar o desprendimento das partículas do solo durante o impacto da chuva no solo, com intuito de minimizar a erosão

Rotta; Zuquette (2012) mencionam medidas para prevenção, controle e/ou recuperação de áreas erodidas, sendo classificadas como mecânicas, ecológicas, estruturais, agrícolas e de engenharia natural, técnicas aplicadas em áreas degradadas a fim de mitigá-las. Conforme Wandt (2003), técnicas conservacionistas são implantadas com intuito de conciliar a preservação ambiental com os ganhos econômicos da área, bem como a fim de minimizar os efeitos oriundos da erosão.

De qualquer forma, a idealização e aplicação de uma das técnicas de preservação, mitigação ou remediação em áreas degradadas ou propensas à processos erosivos, deve ser fortemente embasada em aspectos geológicos e geotécnicos do local. Deve-se considerar características que implicam em análises mineralógicas, granulométricas, porosidade, permeabilidade, grau de erodibilidade, assim como o clima da região (Zuquette et al., 2013).

A avaliação de impactos causados pela erosão do solo tem como principal ferramenta a aplicação de parcelas experimentais. Entretanto, esses estudos detêm-se principalmente na avaliação de diferentes manejos, usos e

culturas agrícolas. Poucas são as pesquisas que fazem alusão a taludes de cortes de estradas e técnicas de proteção a erosão nessas áreas em questão (Fernandes, 2004; Silva, 2009; Fernandes et al., 2009).

### **2.3 Erosão em taludes de cortes e aterros**

De acordo com Caputo et al. (2015), talude, trata-se de qualquer superfície inclinada, tanto de origem natural como artificial. A formação de taludes artificiais, por sua vez, deriva-se em taludes de corte onde há retirada de material, e taludes de aterro, com deposição de material e terraplenagem.

A construção de vias de acesso em obras de estrada resulta na exposição do solo em considerável extensão e declive, refletindo diretamente em alterações do solo, relevo e paisagem (Alho, 2006). Segundo o autor, em taludes as perdas de solo são 10 a 20 vezes superiores a perdas em áreas agrícolas. O declive é o fator primordial para este impacto, uma vez que este, associado às perdas de solo, torna difícil a regeneração natural e fixação de espécies vegetais.

A perda de solo tem como consequência, além da alteração do solo, perda de fertilidade e descaracterização da paisagem, o assoreamento dos corpos hídricos, que repercute diretamente em alterações do regime hídrico e da morfologia fluvial (como inundação de áreas originalmente secas), gerando um desequilíbrio em série (Abdon, 2004). A erosão do solo passa a ter cada vez mais importância nas obras de estrada, incluindo o projeto, a construção e a manutenção (Alho, 2006).

Fernandes (2004) explica que as técnicas de estabilização e vegetação de taludes de corte de estradas estão atreladas aos objetivos do empreendimento, uma vez que no Brasil não há padronizações técnicas para esse fim. O autor cita como sendo principalmente adotadas as seguintes metodologias: plantio de placa de grama; plantio em covas/semeadura a lanço; transposição de serrapilheira e hidrossemeadura. Em complemento, DNIT (2009) faz alusão à técnica de distribuição de placas espaçadas no terreno como um tabuleiro de xadrez, metodologia que é utilizada a fim de minimizar os custos. Em casos de declive acentuado, utiliza-se estacas de madeira ou bambu para fixação das placas.

A escolha da vegetação e método de estabilização da área até o seu desenvolvimento torna-se primordial para o sucesso do projeto de proteção de taludes. Stocking (1994) enumera alguns dos processos interativos entre planta e solo que devem ser considerados na escolha da vegetação, por que, afetam a erosão do solo: interação entre solo e raízes; interação entre nutrientes, raízes e solo; detenção do escoamento superficial; melhoria da infiltração da água no solo; maior incorporação de matéria orgânica no solo resultando em melhor retenção de água, bem como, o aumento da fauna e atividade biológica, levando a uma melhor estrutura do solo.

A implantação eficiente da vegetação no controle da erosão e a redução de custos neste processo estão intimamente ligadas à escolha do mix de espécies e as quantidades necessárias, tendo como fator determinantes, na seleção das espécies as características do local, como, temperatura, precipitação, pH e textura do solo (Pereira, 2008).

A utilização de gramíneas resulta em uma série de vantagens na estabilização do solo, dentre estas, o DNIT (2009) cita a relação custo benefício, tendo baixo custo de aplicação e manutenção; rápido desenvolvimento inicial; resistência a condições de extrema de seca, inundação temporária e pragas, assim como, tolerância a solos ácidos.

A pensacola (*Paspalum notatum*) faz parte da listagem de gramíneas indicadas para proteção de taludes (Secretaria de Agricultura, 1983). O autor baseia esta indicação em experimentos realizados, nos anos de 1978 e 1979, pelo professor Manoel Vaz Costa, que caracteriza a pensacola como rústica e de fácil adaptação em diferentes solos e climas. Possui resistência a geadas e a secas. Essas características fazem com que essa gramínea seja muito utilizada para o revestimento e proteção de taludes, visto sua rusticidade viabilizar o estabelecimento em áreas com solo alterado ou degradado, como normalmente ocorre em taludes de corte ou aterro.

Estruturas de arrimo, drenagens superficiais e subsuperficiais, trincheiras, retaludamento, mudanças geométricas, geomantase técnicas de engenharia natural são algumas técnicas usualmente aplicadas na estabilização da área (Moretto, 2012). Dentre as diversas técnicas de remedição, a de engenharia natural vem sendo alvo em muitos trabalhos

(Xiaoping et al., 2006; Sutili, 2007; Silva et al., 2008; Holanda et al., 2009; Fernandes, et al., 2009; Bezerra et al., 2011; Conrado et al., 2011; Schmeier, 2012; Araújo Filho et al., 2013; Rey; Burylo, 2014; Cavallé et al. 2015; Dhital; Tang, 2015).

## **2.4 Métodos e técnicas de estabilização**

### **2.4.1 Técnicas e métodos de engenharia natural**

Couto et al. (2010) e Moretto (2012) descrevem, como engenharia natural, técnicas de remediação e estabilização de taludes por meio da aplicação de elementos biologicamente ativo, como ramos, brotos ou raízes, somados a elementos inertes, como concreto, madeira e polímeros naturais ou sintéticos. Sua aplicação visa principalmente fortalecer, reter e drenar o solo de forma adequada. Schmeier (2013) distingue a engenharia natural de solos das demais técnicas de remediação, a partir do princípio de que esta alternativa se trata de uma tecnologia ambientalmente sustentável. Além disso, essa técnica pode ser aplicada na contenção da erosão de solos em suas diversas condições de declividade e características do solo.

A engenharia natural é uma ferramenta relativamente barata e eficaz na estabilização de encostas, proporcionando redução de perdas de solo e água, bem como a redução de manutenção da área (Polster, 2003). De acordo com Couto et al. (2010) a aplicação de métodos de engenharia natural, além de ter como vantagem baixo custo de instalação e manutenção, possui menor necessidade de maquinários, aplicação de materiais naturais e locais (resulta em benefícios sociais e econômicos), harmonia ambiental (não geram impactos com resíduos) e por fim são técnicas de fácil aplicação e locais de acesso restrito ou inexistentes.

Schiechtl; Stern (1996) classificam as técnicas naturais como técnicas de proteção do solo; de estabilização; de construção combinada e de construção. Dentre estas, as técnicas de proteção do solo englobam processos como cobertura para controle da erosão superficial, promovendo melhor retenção da água oriunda da precipitação e harmonia nas atividades biológicas. Os autores citam como exemplo, as biomantas (geotêxteis) antierosivas produzidas com fibras, esteiras vivas, tranças e leivas.

### 2.4.2 Biomantas

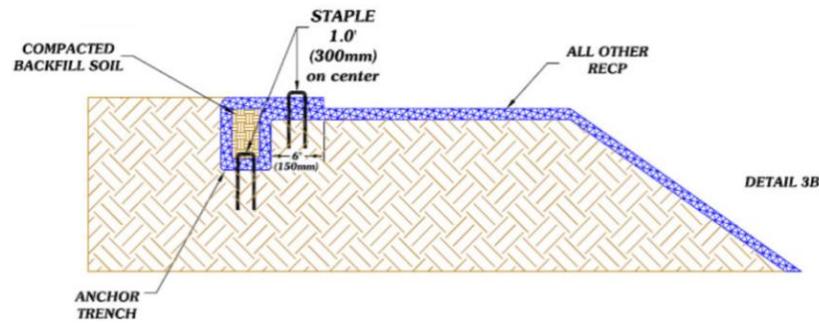
De acordo com Bezerra et al. (2011), o geotêxtil é uma manta confeccionada com distintos materiais, sendo eles sintéticos ou naturais, o que resulta na classificação como degradáveis e não degradáveis (Austin; Driver, 1994). Bezerra et al. (2011) complementam que essa técnica já vem sendo usada desde 1950 em projetos de conservação do solo.

Quando o material utilizado para produção do geotêxtil/manta possui caráter biodegradável, as mesmas são também conhecidas como biomanta. A aplicação de geotêxteis biodegradáveis objetiva estabilizar encostas, por meio da redução do escoamento superficial e retenção das partículas do solo, assim como, proteger, por um período limitado, o solo descoberto de impactos do sol, da chuva e do vento (Methacanon et al., 2010), até que a vegetação se desenvolva e assuma este papel.

As técnicas de engenharia natural, como a aplicação de biomantas, têm como principal vantagem o baixo custo de instalação e manutenção, em especial, devido ao fato de não exigir a utilização de maquinários. No anexo 8.1, encontra-se valores de biomantas comercializadas.

Deflor Bioengenharia (2015) e Erosion Control Technology Council (2014) orientam a instalação das biomantas respeitando os seguintes tópicos:

- a) regularização do terreno e do talude, garantindo que a biomanta fique totalmente aderida ao solo em todos os pontos, evitando desta forma a formação de sulcos;
- b) preparo do solo e semeio, avaliando as melhores condições para o local, características do solo e climáticas;
- c) preparo de uma trincheira na parte superior da área onde será instalada a biomanta, está atuará como âncora do material; a fixação deve ser feita na parte interna da trincheira e posteriormente com 30cm do centro da mesma de forma a unir e selar a ancora preenchida por solo (Figura 1).



**Figura 1** – Instalação da biomanta (Erosion Control Technology Council, 2014).

De acordo com o Erosion Control Technology Council (2014), em condições de declive em que a âncora não pode ser feita na superfície plana superior ao talude, sugere-se que o procedimento de trincheira seja realizado no início e no término da manta, além da fixação da manta no solo de 30 em 30 cm. A emenda das biomantas deve ser feita a partir de sua sobreposição com no mínimo 30 cm e fixação com grampos.

As biomantas são produzidas com fibras naturais, e por este motivo, pesquisadores buscam maior conhecimento nas características químicas, físicas e biológicas para materiais com alto potencial como matéria prima. Dentre estes cita-se a, juta, cana, sisal, aguapé (Methacanon et al., 2010), fibra de coco (Lekha, 2004; Sutherland; Ziegler, 2007).

### 2.4.3 Biomantas de sisal

O sisal é a principal fibra vegetal produzida atualmente, correspondendo a 70% da produção mundial de fibras. Porém, seu início no Brasil foi tardio em relação a outros países. A fibra em questão é originária da península de Yucatán, no México. O primeiro país a importar a planta foi os Estados Unidos, que em 1834 começou seu cultivo no sul da Flórida. Em 1892 chegaram as primeiras mudas ao continente Africano. Apenas em 1903 chegaram os primeiros exemplares da espécie *Agave sisalana* Perrine, no território brasileiro, estado da Bahia (Medina, 1954).

*Agave sisalana*, espécie de sisal mais produzida no mundo, é muito resistente e consegue se desenvolver em locais com pouca precipitação pluviométrica e temperaturas elevadas. Em seu ciclo de vida, produz em média 250 folhas, entretanto há no mercado algumas espécies híbridas que chegam a produzir 700 folhas com percentual de fibras bastante superior (Embrapa, 1984; Silva et al., 2008).

Na indústria, a fibra do sisal chega em fardos e é transformado em corda, barbante, tapetes, sacos, bolsas, chapéus, vassouras, entre outros. Todavia, sua principal atuação é na fabricação de fios, também conhecidos como *twines*, largamente utilizados no meio agrícola, para a amarração de fardos de feno de cereais (Silva, 2008), bem como na indústria fumageira para enfardamento de fumo.

De acordo com Silva (2008), no processo de fabricação de fios, máquinas chamadas “fiadeiras” transformam as fibras no produto final. Quando finalizados, são acondicionados em carretéis padronizados e desta forma serão utilizados nas máquinas de enfardamento de feno/fumo e a afins.

A produção mundial do sisal é basicamente ditada pela produção expressiva do Brasil (Tabela 1). No período referente a 2005 e 2009, houve, no Brasil, um aumento contínuo na produção da fibra (Faostat, 2012)

Já em 2010, ocorreu uma queda na produção, contudo o cenário atual é promissor, devido principalmente ao câmbio e à procura cada vez maior dos consumidores por matérias biodegradáveis.

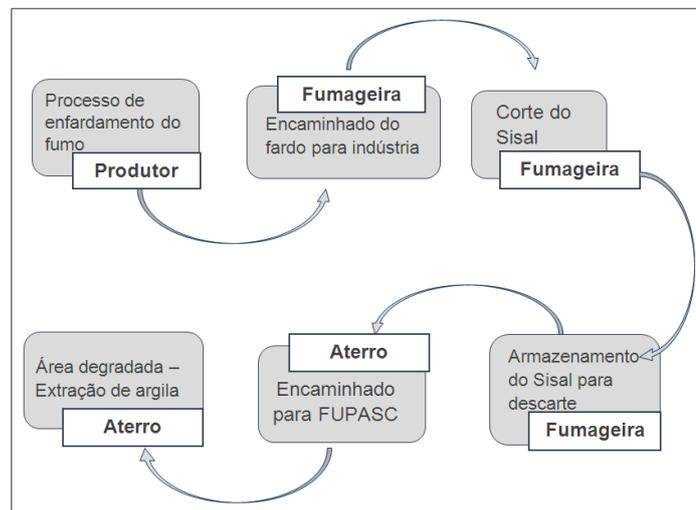
**Tabela 1 – Produção anual de sisal no mundo.**

Produção de Sisal (anual)	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	.....toneladas.....					
África (continente)	74.600	75.900	77.900	76.800	59.100	75.100
América Latina	241.400	276.600	277.600	276.400	307.600	259.100
Brasil	213.100	248.100	245.400	246.200	280.000	235.800
México	17.000	17.500	17.000	15.500	11.100	9.400
Haiti	6.000	6.000	8.000	8.000	9.100	7.700
Venezuela	4.300	3.900	5.900	5.400	6.100	5.100
Outros	1.000	1.100	1.300	1.300	1.300	1.100
Outros países+China	13.700	13.200	14.800	16.800	17.200	16.200
China	13.000	12.500	14.000	16.000	16.500	15.500
Total da produção mundial de Sisal	329.700	365.700	370.300	370.000	383.900	350.400

Fonte: Adaptado de Faostat (2012).

Na região do Vale do Rio Pardo, no Estado do Rio Grande do Sul, o barbante de sisal é utilizado no processo de enfardamento do tabaco, o qual é organizado desta forma para facilitar o manuseio e transporte até a fumageira, onde será vendido. Em posse da indústria fumageira, os fardos, são dispostos em uma esteira, onde os trabalhadores cortam o barbante, transformando esse

material em um resíduo. O barbante de sisal já cortado e impossibilitado de ser reutilizado, para o mesmo fim, é armazenado na central de resíduos da empresa até que seja preenchida sua capacidade máxima, quando então é descartado. O material acumulado na fumageira é coletado pela Fundação para Proteção Ambiental de Santa Cruz do Sul – FUPASC. Atualmente a fundação possui licenciamento para utilização deste material nas áreas de descarte onde é feita a extração de argila utilizada no aterro sanitário. As fibras atuam como proteção do solo disposto justamente para evitar perda por erosão. O fluxograma do processo, conforme informação pessoal obtida na FUPASC e em algumas indústrias fumageiras de Santa Cruz do Sul, RS, pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2** – Ciclo de vida do sisal na fumageira até seu descarte, conforme informação pessoal obtida na FUPASC e em algumas indústrias fumageiras de Santa Cruz do Sul, RS.

As empresas do ramo fumageiro adquirem bobinas de 1 kg do material, sendo utilizado em média 13,8 m de sisal por fardo de fumo. O custo de destinação do sisal na FUPASC é de R\$ 70,00/t. Em média são descartadas 188,8 toneladas anualmente, o que corresponde a R\$ 13.216,00 por ano destinado ao descarte deste resíduo, conforme informação pessoal obtida na FUPASC e em algumas indústrias fumageiras de Santa Cruz do Sul, RS. A principal vantagem na aplicação do sisal para produção de biomantas é a transformação de um resíduo em insumo, refletindo diretamente na gestão de resíduos sólidos industriais.

A aplicação deste resíduo para produção de biomantas com densidade de 450 g m<sup>-2</sup>, considerando-se a média anual descartada, resultaria

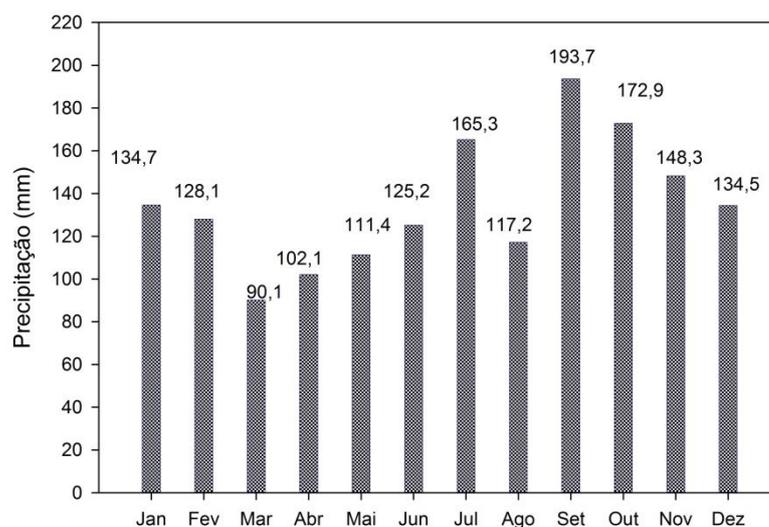
em 419.556 m<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente 42 ha de manta produzida anualmente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização do local do trabalho

Trabalho experimental de campo foi conduzido no município de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, região cuja classificação climática de Köeppen, corresponde ao tipo Cfa, subtropical úmido (Kottek et al., 2006). A área está situada no campus da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), nas coordenadas geográficas de 29°41,971' Latitude Sul e 52° 26,048' Longitude Oeste e 50m de altitude.

No período de 2004 a 2015, foi registrada uma precipitação média anual de 1.623,6 mm de chuva, em medições efetuadas pela estação meteorológica Vantage Plus 2 instalada no Campus da UNISC, nas proximidades da área experimental. A distribuição média mensal das chuvas nesse período pode ser visualizada na Figura 3.



**Figura 3** – Média mensal dos valores de precipitação da estação meteorológica Vantage Plus 2, localizada no campus da UNISC, durante o período de 2004 a 2015.

Um talude em uma área aterrada localizada ao lado de um parque de estacionamento no Campus da Universidade de Santa Cruz – UNISC, nas proximidades do bloco 50, foi o local escolhido para instalação de um experimento de campo. O talude de corte e aterro apresenta uma inclinação média com ângulo de  $35^\circ$ , ou seja, com 70% de declividade (Figura 4).



**Figura 4**– Área escolhida para instalação do experimento.

O solo do local foi construído por cortes e/ou aterros para conformação do talude, tendo sofrido alterações nas suas características originais. Por isso, não é adequado utilizar a classificação para solos agrícolas conforme a metodologia descrita no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013).

### **3.2 Caracterização da área experimental**

Três faixas contíguas do talude ao longo do declive com larguras semelhantes foram estabelecidas para realizar algumas determinações *in situ* e coletar algumas amostras de solo para caracterização da área. Algumas análises foram efetuadas antes da instalação do experimento, visando caracterizar o solo do local, determinando-se parâmetros de fundamental importância para a estabilização de taludes. Para tanto efetuou-se análise granulométrica, limites de Atterberg, resistência à penetração, densidade e porosidade do solo e análises químicas. Todos os parâmetros foram analisados em triplicata.

#### **3.2.1 Composição granulométrica do solo**

A granulometria do solo que compõe a área foi definida a partir do método de Vettori (1969), utilizando-se hidróxido de sódio 6% como

dispersante químico do solo no aparelho dispersor de solos de bancada da marca SoloTest. Coletou-se, com o trado, três amostras de solo na profundidade de 0 a 10 cm, em cada terço da área. Cada amostra foi composta por 8 sub-amostras, isto é, coletando-se em oito pontos distintos ao longo da extensão do talude.

### **3.2.2 Limites de Atterberg**

Foram coletadas amostras, na profundidade de 0 a 10 cm, para determinação dos limites de Atterberg, nos mesmos moldes de coleta adotados para análise da composição granulométrica do solo.

Os ensaios para determinação do limite de liquidez de solo foram conduzidos em conformidade com a NBR – 6459/ABNT (1984), utilizando-se o aparelho Casagrande elétrico com contador de golpes da marca Solo Test. O limite de plasticidade do solo determinado de acordo com a NBR – 7180/ABNT (1988), conduzido com o kit limite de plasticidade padrão, contendo placa de vidro esmerilhado, cilindro de gabarito e espátula de aço inox. Após encontrar os pontos de limites, ambas as amostras foram acondicionadas em latinhas para determinação da umidade.

### **3.2.3 Resistência à penetração**

Os ensaios de resistência a penetração foram realizados *in situ* com penetrômetro digital Penetro LOG PLG1020, que possui um sistema eletrônico de medições e armazenamento de dados, produzido pela empresa Falker Automação Agrícola, construído de acordo com as normas da ASAE S313.3 (ASAE, 2004). Observou-se a resistência à penetração de 0 a 40 cm de profundidade, em três pontos por parcela, sendo estes localizados nos terços superior, intermediário e inferior.

### **3.2.4 Densidade e porosidade do solo**

A densidade e porosidade do solo foram determinadas a partir de amostras indeformadas coletadas em cada parcela, utilizando o método do anel volumétrico descrito no Manual de Métodos de Análises de Solo, (Embrapa, 1997).

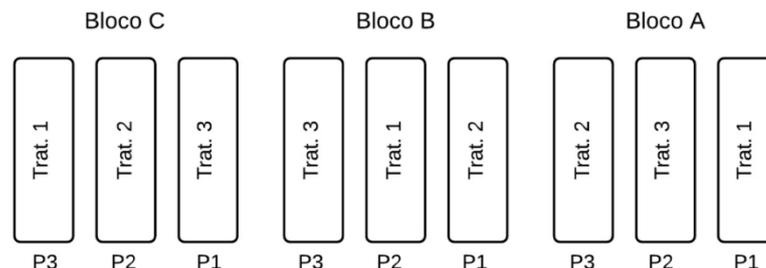
### 3.2.5 Análises químicas do solo

Análises químicas foram efetuadas para avaliar a fertilidade do solo do talude no local do experimento. Coletou-se uma amostra composta de três pontos por bloco, com profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm. Tais análises foram realizadas pelo Laboratório de Solos do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Analisou-se o teor de argila, pH em água, índice SMP, P, K, matéria orgânica,  $Al_{troc}$ ,  $Ca_{troc}$ ,  $Mg_{troc}$ , Al+H, CTC pH 7,0, % SAT da CTC por bases e por Al, S, Zn, Cu, B, Mn, Fe, Na e relações Ca/Mg, Ca/K, Mg/Kb (Tedesco et al., 1985).

### 3.3 Preparo da área, instalação do experimento e delineamento experimental

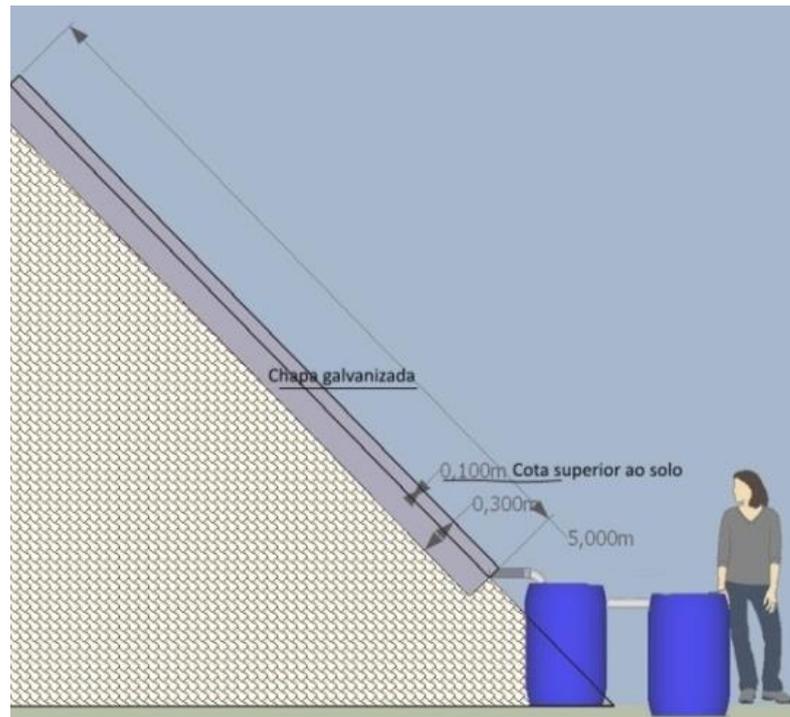
Após a escolha e caracterização da área, foi feita a delimitação dos blocos e das respectivas parcelas experimentais. Devido às características da área e a heterogeneidade da mesma, o delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento.

Foram implantadas parcelas experimentais com área de 5m<sup>2</sup> e dimensões de 1m x 5m, com a maior dimensão no sentido do declive. Os ensaios foram realizados em três blocos, correspondendo a três repetições, totalizando 9 parcelas. Entre cada parcela de um mesmo bloco deixou-se um espaço de 1 m de distância e de 2 m entre os blocos, conforme esquema que se visualiza na Figura 5.



**Figura 5** – Desenho esquemático dos tratamentos e blocos de repetições.

As parcelas experimentais foram delimitadas superior e lateralmente com chapas galvanizadas de 30 cm de altura e espessura de 1,5 mm. Essas chapas foram cravadas 10 a 15 cm no solo (Figura 6).



**Figura 6** – Detalhamento esquemático da instalação das chapas galvanizadas delimitando as parcelas.

Com as parcelas já instaladas, foi feita a remoção das leivas de grama existentes no local, e a escarificação da camada superior do solo, revolvendo-se a uma profundidade de 5 cm para aplicação de calcário de acordo com a necessidade dada pela interpretação das análises químicas do solo (Figura 7).

Ao término deste preparo, foi feita a semeadura a lanço de uma mistura de culturas previamente selecionadas, constituída por pensacola (*Paspalum notatum*), aveia preta (*Avena strigosa*), e azevém (*Lolium multiflorum*), em todos os tratamentos. Aplicou-se então ureia como fonte de nitrogênio para as culturas, na metade da dose recomendada. O restante da dose recomendada de ureia foi aplicada após 45 dias da semeadura das culturas e instalação dos sistemas.



**Figura 7** – Preparo do solo e instalação dos sistemas.

a. Parcelas demarcadas; b. Remoção das leivas e distribuição de calcário; c. Preparo do solo e incorporação do calcário

A semeadura foi feita em conjunto da pensacola, aveia preta e azevém. A aveia preta e o azevém são gramíneas anuais de inverno, enquanto que a pensacola é uma gramínea perene de crescimento estival. A instalação do experimento ocorreu em meados de agosto de 2015, período de baixas temperaturas, onde apenas a aveia preta e o azevém se desenvolvem. Mesmo que a pensacola só passe a germinar e a se desenvolver no verão a semeadura foi feita no inverno, junto com a aveia e o azevém para quebra de dormência das sementes de pensacola, que tem tegumento duro. Enquanto as sementes de pensacola permanecem em dormência, a aveia preta e o azevém se desenvolvem proporcionando cobertura a superfície do solo, evitando também o desenvolvimento de ervas daninhas. Ao finalizar a primavera e iniciar o verão, aveia e o azevém atingem o final do ciclo e senescem, quando então, com o aumento das temperaturas, as sementes de pensacola germinam, as plantas emergem e começam a se desenvolver.

A mistura de aveia preta mais azevém é comumente utilizada no Rio Grande do Sul como melhoramento da pastagem nativa visando complemento alimentar para bovinos nos períodos outono-inverno, quando a pastagem nativa permanente, de crescimento estival, paralisa o desenvolvimento (Lupatini et al., 1998; Roso et al., 2000). A aveia preta (*Avena strigosa*),

gramínea anual, apresenta alta rusticidade, tendo resistência a condições extremas de secas e altas temperaturas (Pereira, 2008). De acordo com Macedo et al. (2003) gramíneas de ciclos curtos, como o azevém (*Lolium multiflorum*) são usualmente empregadas na estabilização de áreas degradadas, privilegiando o desenvolvimento ecológico. O azevém, quando comparado a aveia e o centeio, possui um crescimento inicial mais lento, entretanto é ainda mais rústico. Apesar de se desenvolver apenas no período de inverno, possui alta capacidade de ressemeadura natural (Pereira, 2008).

### **3.4 Tratamento experimental e sistema de coleta do escoamento superficial**

Feita a semeadura, foram então instaladas as biomantas nas parcelas, compreendendo os três tratamentos experimentais principais que foram os seguintes:

- a) semeadura de aveia + azevém + pensacola sem biomanta;
- b) semeadura de aveia + azevém + pensacola com biomanta comercial de fibra de coco;
- c) semeadura de aveia + azevém + pensacola com biomanta artesanal de fibra de sisal.

Os tratamentos foram sorteados nas parcelas de cada bloco, correspondendo uma repetição por bloco. A instalação da biomanta comercial deu-se conforme orientação do fornecedor da manta de fibra de coco, sendo fixadas por meio de grampos metálicos em formato de “U”.

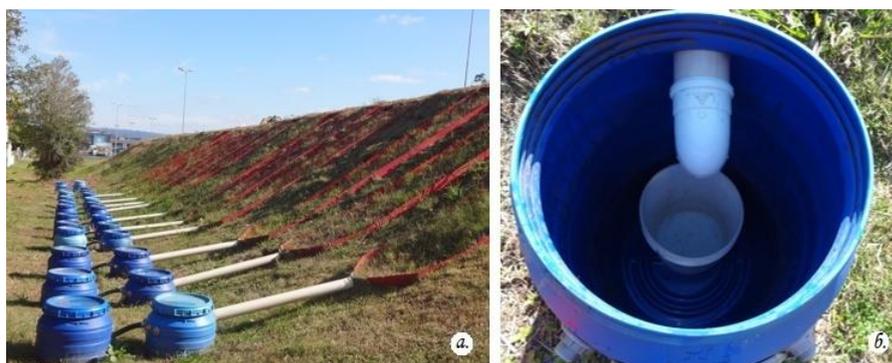
O experimento visando à determinação de perdas de solo e água por erosão foi conduzido sob condições de chuva natural, assim como o reflexo da degradação das biomantas. Na extremidade inferior das parcelas experimentais, instalou-se coletores do escoamento superficial, de forma que estes tivessem condições de suportar eventos extremos de precipitação. O escoamento superficial foi direcionado por gravidade para o primeiro reservatório e apenas um quinto do excedente, ao trasbordo deste reservatório, foi coletado no segundo tanque sendo o restante do material descartado (Figura 8).



**Figura 8** - Sistema de coletores com o segundo reservatório acumulando 1/5 do material excedente do primeiro reservatório.

Os reservatórios utilizados foram bombonas de plástico rígido de formato oval irregular com capacidade de 200 L. Antes da colocação no campo, as bombonas foram calibradas adicionando-se água em volumes crescentes de dois em dois litros e medindo-se a altura da lamina d'água atingida nesses reservatórios. Assim, após a calibração, pela medida da altura ocupada pela água nos reservatórios se obtinha o volume total coletado nos eventos de chuva.

As bombonas foram fixadas no local definitivo por meio de concretagem, garantindo que estivessem perfeitamente niveladas. Após a instalação dos dois reservatórios um balde de 20 L foi introduzido dentro do primeiro reservatório, com intuito de facilitar a coleta e separação dos sólidos pesados mais facilmente sedimentáveis, assim como facilitar a mensuração de eventos com baixo escoamento superficial (Figura 9).



**Figura 9** - a. Sistema de coleta do escoamento superficial. b. primeiro reservatório, direcionamento dos sólidos pesados para um balde de 20 L.

Na Figura 10 pode-se observar o talude com os tratamentos implantados nas parcelas dos blocos ao acaso, em três repetições, bem como o sistema coletor do escoamento superficial.



**Figura 10** – Área experimental com todos os blocos e tratamentos em avaliação.

### 3.5 Caracterização das biomantas utilizadas

A Figura 11 ilustra o aspecto das biomantas utilizadas, a manta de fibra de coco, doada pela empresa MACCAFERRI e a manta de sisal produzida artesanalmente.



**Figura 11**– Mantas antierosivas utilizadas no experimento e sua composição. a. Barbante de sisal bruto, forma original do resíduo, forma que é disposta nas áreas degradadas da FUPASC; b. Sisal triturado. c. BioMac® 450 de fibra de coco, comercializada pela empresa MACCAFERRI. d. Biomanta de sisal produzida artesanalmente com resíduos na forma de cordão e triturado, oriundos de empresas do ramo fumageiro.

A biomanta de fibra de coco, BioMac® 450, é produzida de forma industrial através da junção de fibra de coco e linhas de polipropileno

entrelaçadas entre si, sendo este material totalmente degradável. A densidade da fibra de coco é de  $450 \text{ g m}^{-2}$ , tendo em média 5 mm de espessura. É comercializada em rolos de  $100 \text{ m}^2$ , com dimensão de  $3 \times 33,34 \text{ m}$ .

A biomanta de sisal foi produzida de forma artesanal, com intuito de testar sua eficiência na proteção contra a erosão em áreas de declive. Utilizou-se a manta de fibra de coco, atualmente comercializada para tal fim, como comparativo. Sendo assim, optou-se pela fabricação da manta no mesmo molde da manta comercial, respeitando a densidade do material de  $450 \text{ gm}^{-2}$  e utilizando a mesma tela fotodegradável como suporte para a fibra de sisal, conforme está representado na Figura 12.



**Figura 12** – Imagem esquemática da manta de sisal (sisal triturado envolvido por tela fotodegradável).

A produção da manta foi feita *in loco*, concomitantemente com a sua instalação, garantido uma distribuição homogênea do sisal moído e uma fixação adequada da manta, para que o resíduo utilizado não sofresse arraste com a chuva. Para esse fim, pesou-se duas porções de sisal moído equivalente a 1,125 kg, após cobrir o solo com a tela fotodegradável distribuiu-se cada porção em metade da área da parcela, na metade superior e inferior da unidade experimental, totalizando 2,25 kg de sisal moído por parcela. Cobriu-se o material com a tela fotodegradável e para finalização e fixação da manta utilizou-se o cordão de sisal, onde tramou-se o mesmo em toda a área da parcela em formato de “x” (Figura 13).



**Figura 13** – Instalação da biomanta de Sisal.

a) Distribuição do sisal moído sobre a tela foto degradável. b) c) Tela fotodegradável disposta sobre o sisal moído e entrelaçar com o cordão de sisal para fixação do material.

### **3.6 Coletas de amostras do escoamento superficial para determinação das perdas de solo e água por erosão e avaliação de biodegradabilidade das mantas**

O experimento para avaliar as perdas de solo e água por erosão nos tratamentos estudados foi conduzido no período entre 15 de agosto de 2015 e 15 de junho de 2016. No período experimental, foi avaliada a erosividade e o volume total das chuvas, as perdas de solo e de água, o desenvolvimento da vegetação e a biodegradação das mantas no resíduo de fumageira utilizado.

As análises do solo erodido e das biomantas produzidas, foram realizadas nos Laboratórios de Tratamento de Efluentes e Resíduos Sólidos e de Agrohidrologia, correspondentes respectivamente aos cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Agrícola da Universidade de Santa Cruz do Sul.

#### **3.6.1 Avaliação do volume total e da erosividade das chuvas**

O monitoramento climático, principalmente no que se refere à precipitação pluvial, foi realizado por meio dos dados coletado pela estação meteorológica Vantage Plus2, marca Davis tipo automática, regulada para registro de 5 em 5 minutos. A estação meteorológica situa-se a 600 m da área

experimental, em local com 50 m de elevação, latitude 29° 42' 00" Sul e longitude 52° 24' 00" Oeste.

A erosividade das chuvas foi calculada pelo índice  $EI_{30}$ . Este índice foi determinado para cada chuva individual e erosiva. As chuvas individuais, ocorridas durante o período de condução do experimento, foram classificadas em chuvas erosivas e chuvas não erosivas. Por definição, chuva individual é aquela separada de outra por um período mínimo de 6 h sem chuva ou com precipitação menor que 1,0 mm e chuva erosiva é toda aquela com 10,0 mm ou mais de quantidade total ou com 6,0 a 10 mm desde que ocorra em 15 min ou menos, conforme critérios sugeridos por Wischmeier; Smith (1978). A erosividade de cada chuva individual e erosiva foi determinada através do programa Chuveros elaborado pelo Professor Elemar Antonino Cassol (DS-FA-UFRGS).

### **3.6.2 Quantificações das perdas de solo e de água**

O monitoramento das parcelas, avaliação de arrastes de sedimentos e índice de precipitação possibilitaram a quantificação das perdas de solo por erosão nos diferentes tratamentos, assim como a avaliação da eficiência no processo de controle de área degradada por meio de biomantas de sisal e de fibra de coco. Após cada evento de chuva, os reservatórios foram inspecionados para verificar se houve ou não material escoado.

Para mensurar o volume do material escoado, utilizou-se o seguinte procedimento: 1) quando o material se restringiu ao primeiro reservatório, porém ultrapassou o volume do balde (20 L), o mesmo foi emborcado cuidadosamente dentro do reservatório, separando os sólidos sedimentáveis do material em suspensão. Os sólidos pesados então foram coletados em frascos metálicos e o material em suspensão mensurado a partir da altura da lâmina de água, encontrando assim o volume total escoado. Homogeneizou-se a água contida no reservatório e duas amostras do material escoado foram coletadas em dois frascos de vidro cada um com capacidade de 300 mL; 2) no caso do transbordo para o segundo tanque, o mesmo procedimento foi adotado, porém o volume total mensurado foi multiplicado por cinco e somado ao volume total da primeira bombona.

As amostras coletadas, tanto nos frascos metálicos quanto nos frascos de 300 mL, eram encaminhadas para o laboratório. As latas eram pesadas e colocadas na estufa em temperatura de 105°C, para secá-las e obter-se a quantidade de água e solo nestas contido.

Os frascos de vidro eram pesados e postos em repouso por 24h, após a adição de um floculante (sulfato alumínio e potássio, solução 4%), para que todo o solo em suspensão fosse sedimentado e separado da água. As amostras foram então drenadas por sifonamento, removendo o possível da água e garantindo que o material sedimentado não fosse revolvido e submetidas em estufa com temperatura de 50°C até evaporação completa de toda água e novamente pesadas.

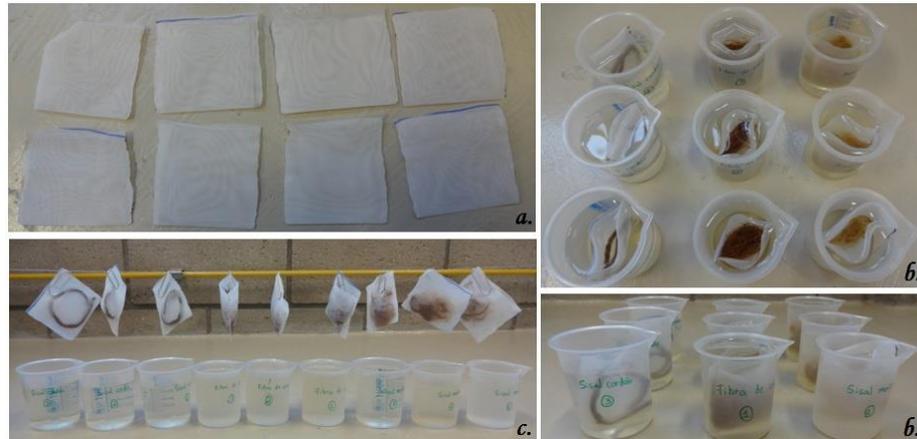
A perda total de solo em cada evento de chuva foi determinada a partir da soma dos sedimentos e do material em suspensão equivalente ao total escoado. A perda total de água foi calculada através da quantidade de água existente em cada amostra de 300 mL em proporção ao volume total da enxurrada.

### **3.6.3 Capacidade de absorção de água pelas fibras**

Além da proteção do solo, preconiza-se que as mantas são responsáveis pela retenção temporária da água oriunda da precipitação. Neste contexto, a capacidade de absorção de água deste material está diretamente relacionada à sua eficiência para tal processo.

A absorção de água pelas fibras de sisal moído, em cordão e de coco foi determinada baseando-se na norma ASTM Standard D 570 (1995), a qual normatiza a determinação de absorção de água em materiais plásticos. Adaptou-se a metodologia para as condições das fibras. Inicialmente as fibras, de coco e sisal (moída e cordão), foram acondicionadas em estufa 105°C por 24h para remoção da umidade e obtenção do peso constante, mediu-se 0,5 g de cada material e submeteu-se estes em bag's produzidas com tecido analítico (Polyester 110 MESH x 0,08 mm), sendo assim submersos em água deionizada. Após 48h removeu-se o material da água, sendo este suspenso por 30 min para remoção do excesso de água nas bag's e finalmente medida a massa do material. Os ensaios foram realizados em triplicata e a capacidade

de absorção de água foi definida para diferença de peso do material (Figura 14).



**Figura 14**– Determinação da absorção de água, Fibra de coco e de sisal moído e em cordão.

a. Bag's produzidas com tecido analítico (Polyester 110 MESH x 0,08 mm). b. Material submerso em água deionizada. c. Material suspenso para remoção do excesso de água.

### 3.7 Acompanhamentos do desenvolvimento da vegetação

Avaliou-se o desenvolvimento da aveia e azevém a partir da massa seca gerada no término do ciclo das culturas em questão. O corte da palha foi feito no dia 16 de dezembro de 2015, o material foi colocado em estufa a 55°C até obtenção de peso constante. Pesou-se o material produzido em cada tratamento e o mesmo foi novamente disposto sob a superfície de sua respectiva parcela.

Além da produção de massa seca por parcela, acompanhou-se o desenvolvimento da vegetação como um todo, desde a instalação do experimento. Registros fotográficos foram efetuados em áreas de 2400 cm<sup>2</sup> (delimitada por um quadro de madeira com as dimensões de 40 x 60 cm) em diferentes épocas. Os registros foram realizados após 09, 60, 93, 113, 149, 230 e 295 dias da instalação do experimento. O percentual de cobertura do solo foi analisado com software SisCob (sistema de cobertura do solo), criado pela EMBRAPA (2003), para análise de cobertura de solo, um método que se baseia em uma escala de cores.

### 3.8 Monitoramentos da degradação das mantas

A composição dos materiais e seus respectivos prazos de degradação, seja por meio da luz ou biológico, são características de grande

importância para a avaliação da eficiência das biomantas como mantas antierosivas. O tempo de degradação das fibras é um fator limitante na proteção do solo, uma vez que esta deve estar em equilíbrio com o tempo de desenvolvimento da vegetação.

Em paralelo ao desenvolvimento da gramínea, monitorou-se a degradação das mantas por meio da exposição destas às mesmas condições climáticas que os tratamentos. Utilizou-se o método de perda de massa de uma quantidade conhecida do material utilizado na produção de ambas as mantas. Adaptou-se a metodologia “*litterbag*” descrita por Bernhard-Reversat (1982), aplicada para mensuração da decomposição de serapilheira, para avaliar a decomposição dos materiais.

Para tanto, submeteu-se o material em estufa com temperatura de 50°C para remoção da umidade, obtendo-se peso constante destes. Pesou-se, em balança com precisão, 3 g do sisal moído e da fibra de coco, 1 g do cordão de sisal e 0,5 g da tela fotodegradável. Esse material foi acondicionado em bags produzidas com tela mosquiteiro malha de 1 mm<sup>2</sup> e dimensão 15 x 10 cm (Figura 15).



**Figura 15** – Bags de tela mosquiteiro.

a. Preenchimento de 3g de sisal moído; b. Preenchimento de 3g de fibra de coco; c. Preenchimento de 1g de sisal em cordão e d. Preenchimento de 0,5g de tela fotodegradável.

As bags foram dispostas nas laterais das parcelas referentes ao respectivo tratamento (Figura 16), tendo quatro repetições para cada material e oito períodos avaliados, totalizando assim 128 bags. Avaliou-se a degradação

do material no período de 30, 60, 90, 120 e 180 dias a partir da diferença de peso. Após cada intervalo de tempo determinado, quatro repetições de cada material foram retiradas do local e submetidas à estufa em 50°C até peso constante. O material foi novamente pesado e avaliado o percentual de degradação no período considerado.



**Figura 16** – Disposição das bags ao entorno das parcelas dos tratamentos com manta de sisal e de fibra de coco.

### 3.9 Análise estatística

A análise estatística foi realizada por meio de testes de comparações múltiplas de médias entre as repetições de cada tratamento. Utilizou-se o programa JMP Statistical Software from SAS (2012) para avaliar as diferenças significativas entre as médias por meio da análise de variância entre tratamentos. Para discriminar as diferenças, utilizou-se o teste de Tukey em nível de significância de 0,05.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da área

#### 4.1.1 Análises físicas do solo

Os parâmetros classe textural, limites de Atterberg, densidade e porosidade diferiram significativamente na área experimental. Entretanto, os ensaios de resistência à penetração, curva de retenção de água e inclinação do talude revelaram a heterogeneidade da área.

Pela composição granulométrica do solo, a classe textural foi definida como argilosa em toda a área estudada (Tabela 2).

**Tabela 2-** Frações granulométricas e textura do solo em cada bloco.

Composição granulométrica	Bloco		
	A	B	C
Argila (%)	53,8 <sup>ns</sup>	50,8 <sup>ns</sup>	52,9 <sup>ns</sup>
Silte (%)	30,4 <sup>ns</sup>	33,9 <sup>ns</sup>	31,0 <sup>ns</sup>
Areia total (%)	15,8 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>	16,1 <sup>ns</sup>
CLASSE TEXTURAL	Argilosa	Argilosa	Argilosa

*ns* – não significativo ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 2 que em toda a área a composição granulométrica do solo não apresenta muita variação em relação aos teores de argila, silte e areia.

Já os limites de liquidez apresentaram valores médios entre os blocos de 57 e 58%. Souza et al. (2000) determinaram o limite de liquidez para dois solos, sendo um destes, muito argiloso, ao qual os autores encontram o valor de 73,9% o limite médio de plasticidade nos pontos avaliados expressou-se entre 41 e 44%, tendo como índice de plasticidade valores entre 13 e 17%. Neste contexto, segundo Caputo et al. (2015), o solo é classificado através do

índice de plasticidade (IP) como medianamente plástico e altamente plástico para valores de  $7 < IP < 15$  e  $IP > 15$  respectivamente. Os limites de Atterberg determinados encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3** - Limites de Atterberg e classificação do solo pelo índice de plasticidade.

Bloco	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de plasticidade (IP)	Solo
	.....%.....			
A	57 <sup>ns</sup>	44 <sup>ns</sup>	13 <sup>ns</sup>	Medianamente plástico
B	57 <sup>ns</sup>	43 <sup>ns</sup>	14 <sup>ns</sup>	Medianamente plástico
C	58 <sup>ns</sup>	41 <sup>ns</sup>	17 <sup>ns</sup>	Altamente plástico

*ns* – não significativo ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Os valores de densidade do solo oscilaram entre 996 e 1.379 kg m<sup>-3</sup> (Tabela 4). Klein (2012) afirma que a densidade em solos agrícolas varia entre 900 e 1.800 kg m<sup>-3</sup>, de acordo com a textura e teores de matéria orgânica presente. Já Libardi (2012) apresenta o intervalo entre 700 a 2.000 kg m<sup>-3</sup> como densidade de solos minerais naturais. O autor faz alusão a solos argilosos dentre 1.000 a 1.400 kg m<sup>-3</sup>. Reinert et al. (2008) expõem estudos quanto à limitação do crescimento radicular da cobertura vegetal devido à densidade do solo. Tais ensaios comprovaram que o limite de densidade do solo para o crescimento normal das plantas é de 1.750 kg m<sup>-3</sup>. Em condições extremas de compactação devem ser tomadas medidas, como a escarificação do solo.

A porosidade total do solo na área variou entre 0,47 a 0,52 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 4). Libardi (2012) indica valores entre 0,528 e 0,615 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para solo com classe textural argilosa. A variação no valor médio entre os blocos é muito pequena, denotando homogeneidade entre os valores de porosidade.

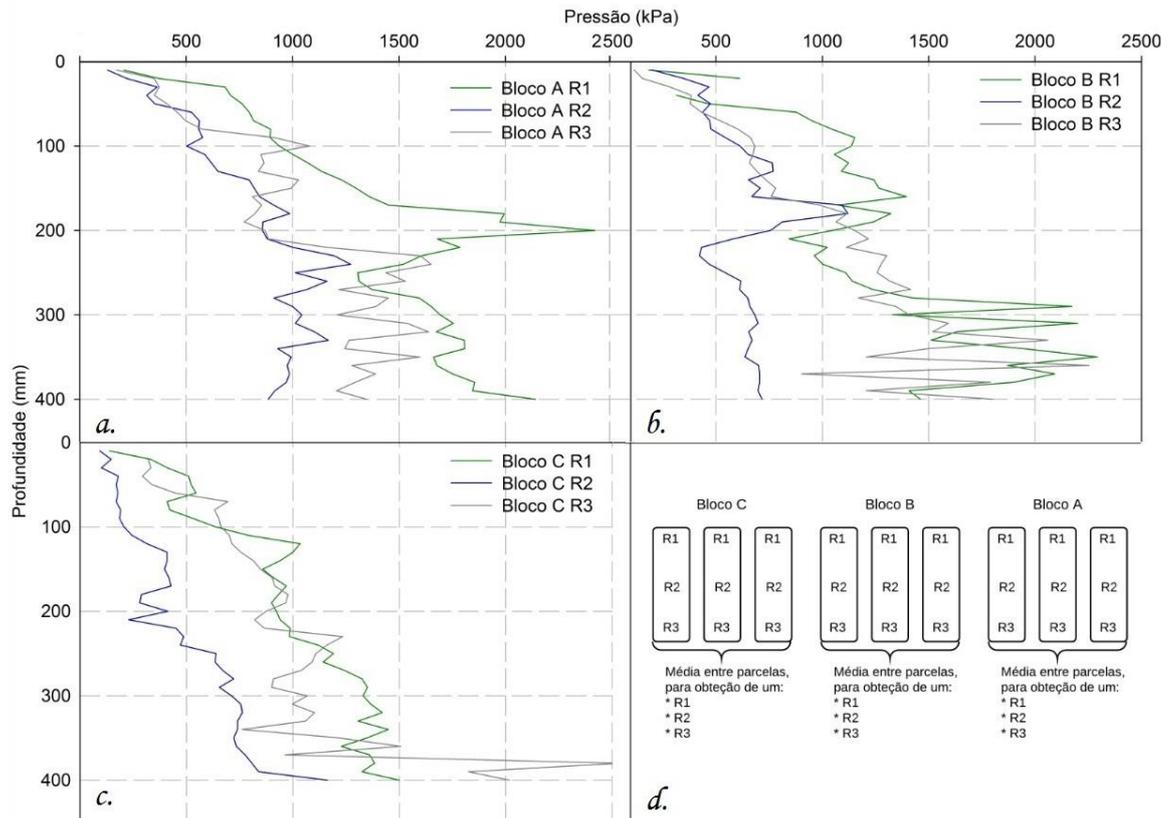
**Tabela 4** – Valores da densidade e porosidade total na camada superficial do solo na área experimental.

Bloco	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )
A	0,52 <sup>ns</sup>	996 <sup>ns</sup>
B	0,52 <sup>ns</sup>	1.379 <sup>ns</sup>
C	0,47 <sup>ns</sup>	1.204 <sup>ns</sup>
Média geral	0,49 <sup>ns</sup>	1.218 <sup>ns</sup>

*ns* – não significativo ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Os valores expostos de porosidade total e densidade do solo não apresentaram diferença significativa. Percebe-se que se trata de um solo bastante compactado e heterogêneo.

Os dados de resistência à penetração revelam considerável heterogeneidade na área experimental, tanto na posição do declive, assim como na extensão da área selecionada (Figura 17). O fato de se tratar de um solo construído e compactado, proveniente de aterro, explica a variação na característica de resistência a penetração.



**Figura 17 - Resistência a penetração em diferentes profundidades.**

a. Média por bloco referente a repetição 1 (R1); b. Média por bloco referente a repetição 2 (R2); c. Média por bloco referente a repetição 3 (R3); d. Localização esquemática dos pontos de repetições por parcela.

#### 4.1.2 Análises químicas do solo

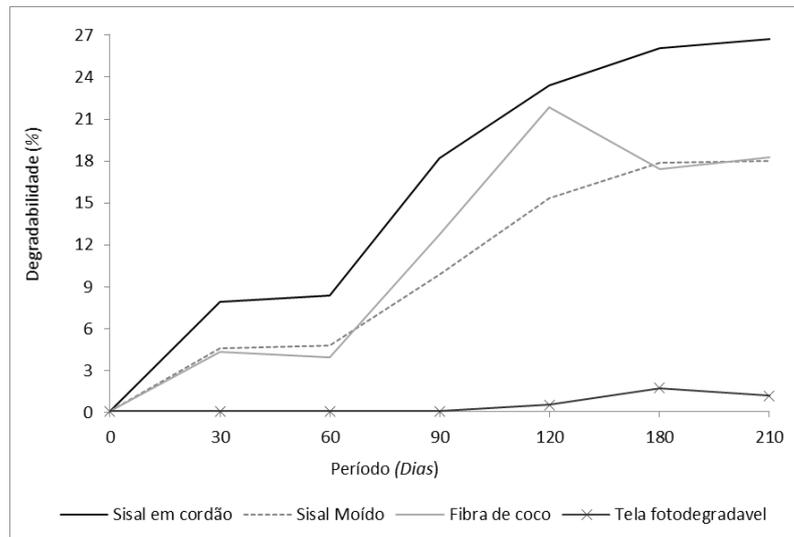
As análises do solo, realizadas na camada de 0 a 10 cm, apresentaram pH entre 5,2 e 5,7, tendo necessidade de adição de calcário, bem como, baixa fertilidade e baixo teor de matéria orgânica (Apêndice 7.1).

#### 4.2 Biomantas

Avaliou-se, em ambas as mantas utilizadas, a degradação e capacidade de absorção de água do material que as compõem.

#### 4.2.1 Degradabilidade do material

A Figura 18 apresenta a taxa de degradação dos materiais que compõem as mantas após 30, 60, 90, 120, 180 e 210 dias de exposição a intempérie. Constata-se maior biodisponibilidade do sisal em cordão e da fibra de coco. Mesmo que o sisal moído tenha maior área superficial para atuação dos microorganismos. A imagem exibe um crescimento exponencial para as três formas de fibras até os 120 dias de exposição, seguido de um desaceleração deste processo.



**Figura 18** – Degradabilidade dos materiais que compõem as biomantas.

A decomposição pela ação dos microorganismos está diretamente ligada a disponibilidade do material que será utilizado em seu metabolismo para produção de energia. De acordo com Martin et al. (2009) a fibra de sisal é composta por teores médios de 9,4% de lignina; 8,8% de hemicelulose; 81,1% de celulose e 1,3% de cinzas. Neste contexto, a porção com menor biodisponibilidade para a degradação é a lignina que será degradada apenas quando os percentuais de celulose e hemicelulose já tiverem sido sintetizados.

No caso da fibra de coco a degradação do material reduziu após 180 dias, passando de 22% a 17%. Acredita-se que se deu devido a discrepância do material, visto que as fibras não são homogêneas na sua granulometria.

A tela fotodegradável utilizada na produção das mantas apresentou rupturas após 4 meses, tendo inicialmente 0,4% e após 180 e 207 dias teve uma média de 1,4% de degradação. Comprovando que o material apresenta potencial fotodegradável, tendo como característica uma lenta degradação, ou

seja, maior permanência no solo e consequentemente maior período de proteção e suporte a área.

De acordo com Holanda, Rocha; Oliveira (2008) a taxa de degradação por completo de um geotêxtil de fibra de coco com as mesmas características, porém com densidade de fibras equivalente a  $400 \text{ g m}^{-2}$  leva entre 48 a 60 meses.

Durante o período de avaliação da biodegradabilidade das fibras algumas dificuldades foram encontradas, como o desenvolvimento de fungos e incorporação de solo nas amostras. Refletindo diretamente nos valores encontrados, visto que estes foram avaliados pela diferença de massa. Na Figura 19 apresenta-se as condições das fibras após 2, 3, 6 e 7 meses de exposição a intempéries e pode-se visualizar no item “a” e “b” o surgimento aparente de fungos, assim como, no item “c” a incorporação de solo na amostra. Acredita-se que a taxa de degradação do sisal moído possa ter sido comprometida por estes impecilios durante a análise.



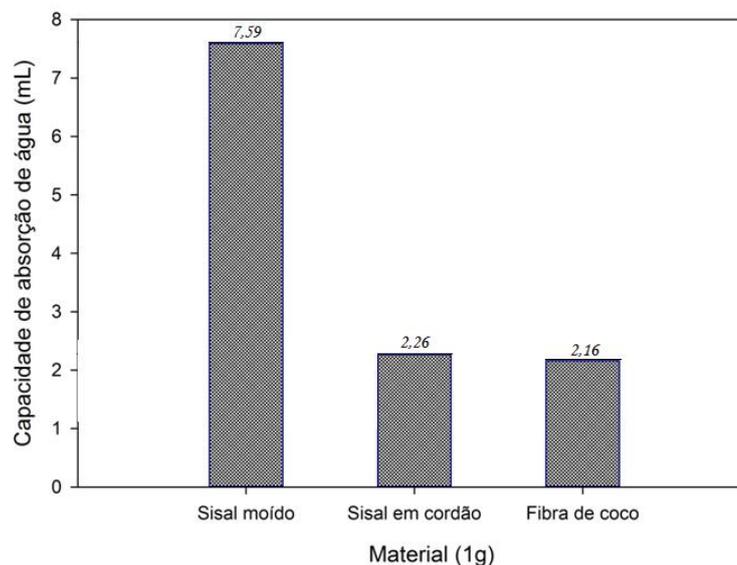
**Figura 19** - Material exposto 2, 3, 6 e 7 meses nas mesmas condições climáticas que os tratamentos avaliados. a) Fibra de sisal moída, após 2 meses na intempérie; b) Fibra de sisal moída, após 3 meses na intempérie; c) Fibra de sisal moída, após 6 meses na intempérie; d) Fibra de sisal moída, após 7 meses na intempérie; e) Fibra de sisal em cordão, após 2 meses na intempérie; f) Fibra de sisal em cordão, após 3 meses na intempérie; g) Fibra de sisal em cordão, após 6 meses na intempérie; h) Fibra de sisal em cordão, após 7 meses na intempérie; i) Fibra de coco, após 2 meses na intempérie; j) Fibra de coco, após 3 meses na intempérie; k) Fibra de coco, após 6 meses na intempérie; l) Fibra de coco, após 7 meses na intempérie.

#### 4.2.2 Capacidade de absorção de água pelas fibras

Os ensaios de absorção de água refletiram uma capacidade de retenção de até 3 vezes maior para a fibra de sisal moída quando comparada com o sisal em cordão e a fibra de coco (Figura 20).

Em um grama dos materiais avaliados obteve-se a detenção de 7,59; 2,26 e 2,16 mL para as fibras de sisal moído, em cordão e fibra de coco, respectivamente. As mantas são compostas por 450 g de fibra a cada m<sup>2</sup>, que significa que tem-se 2.250 g de fibra por parcela e uma capacidade de detenção de 17 L na parcela com manta de sisal e 4,8 L na de manta de fibra de coco.

A biomanta produzida com resíduo da fumageira apresenta um índice de absorção de água 3,5 vezes maior que a biomanta de fibra de coco industrializada. De acordo com Sisal (2016) a biomanta de sisal, produzida pela empresa Sisall All about sisal fiber, apresenta capacidade de absorção de água igual a cinco vezes o seu peso. A diferença encontrada justifica-se pela composição das mantas. A empresa utiliza apenas o sisal em cordão, formando uma rede deste material sem adição da fibra moída.



**Figura 20** – Capacidade de absorção de água pelas fibras de sisal e coco.

Os resultados demonstram que as biomantas possuem capacidade de reter água, o que pode aumentar a disponibilidade para as plantas, aumentar a infiltração de água no solo ou retardar o início do processo de escoamento superficial por causa da detenção de água pelas mesmas. De acordo com Volk; Cogo (2009), a retenção e detenção superficial da água

resulta em maior infiltração no solo e, conseqüentemente, menor perda de água na forma de enxurrada.

#### 4.3 Avaliação da matéria seca produzida pela aveia + azevém e taxa de cobertura do solo

A produção média de matéria seca de aveia azevém nos diferentes tratamentos foi avaliada ao término do ciclo das culturas (Tabela 5).

**Tabela 5** - Produção de matéria seca de aveia + azevém.

Tratamentos	Matéria seca (g m <sup>-2</sup> )
Fibra de coco	104,3 <sup>ns</sup>
Fibra de sisal	61,4 <sup>ns</sup>
Sem proteção inicial	68,1 <sup>ns</sup>

*ns* – não significativo ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A produção de massa seca nos três tratamentos foi bastante baixa quando comparado com sistemas para pastejo (Macari et al., 2006). A presença das biomantas pode ter ocasionado menor desenvolvimento das gramíneas de inverno e a ocorrência de erosão e escoamento pode ter causado a remoção de sementes e adubos no tratamento sem biomanta.

A implantação da aveia e do azevém no contexto da proteção de taludes não visa apenas a produção de matéria seca, mas especialmente a proteção nos meses iniciais, enquanto as sementes de pensacola quebram seu período de dormência. Também pode auxiliar no controle de ervas daninhas, especialmente no tratamento sem proteção com biomantas.

Em paralelo à determinação da produção de massa seca das culturas de aveia preta e azevém, avaliou-se o comportamento das mantas e o desenvolvimento da vegetação a partir das imagens digitais. A Tabela 6 apresenta os valores referentes aos oito períodos e o percentual de cobertura do solo, considerando manta mais vegetação.

**Tabela 6** – Percentagem de cobertura da superfície do solo proporcionada pelas biomantas e pelo desenvolvimento das culturas.

Data	Dias após a semeadura*	Tratamentos		
		Biomanta de fibra de coco	Biomanta de sisal	Sem Biomanta
		.....% cobertura.....		
24/08/2015	10	100,0	95,6	2,7
09/09/2015	25	100,0	96,2	34,7
15/10/2015	60	100,0	93,6	26,7
18/11/2015	93	100,0	100,0	18,0
08/12/2015	113	100,0	100,0	23,0
14/01/2016	150	100,0	100,0	29,1
05/04/2016	230	100,0	100,0	33,4
10/06/2016	295	100,0	100,0	67,2

\*A partir dos 113 dias após a semeadura a cobertura também era fornecida pela matéria seca da aveia e do azevém que após cortada foi espalhada sobre o solo.

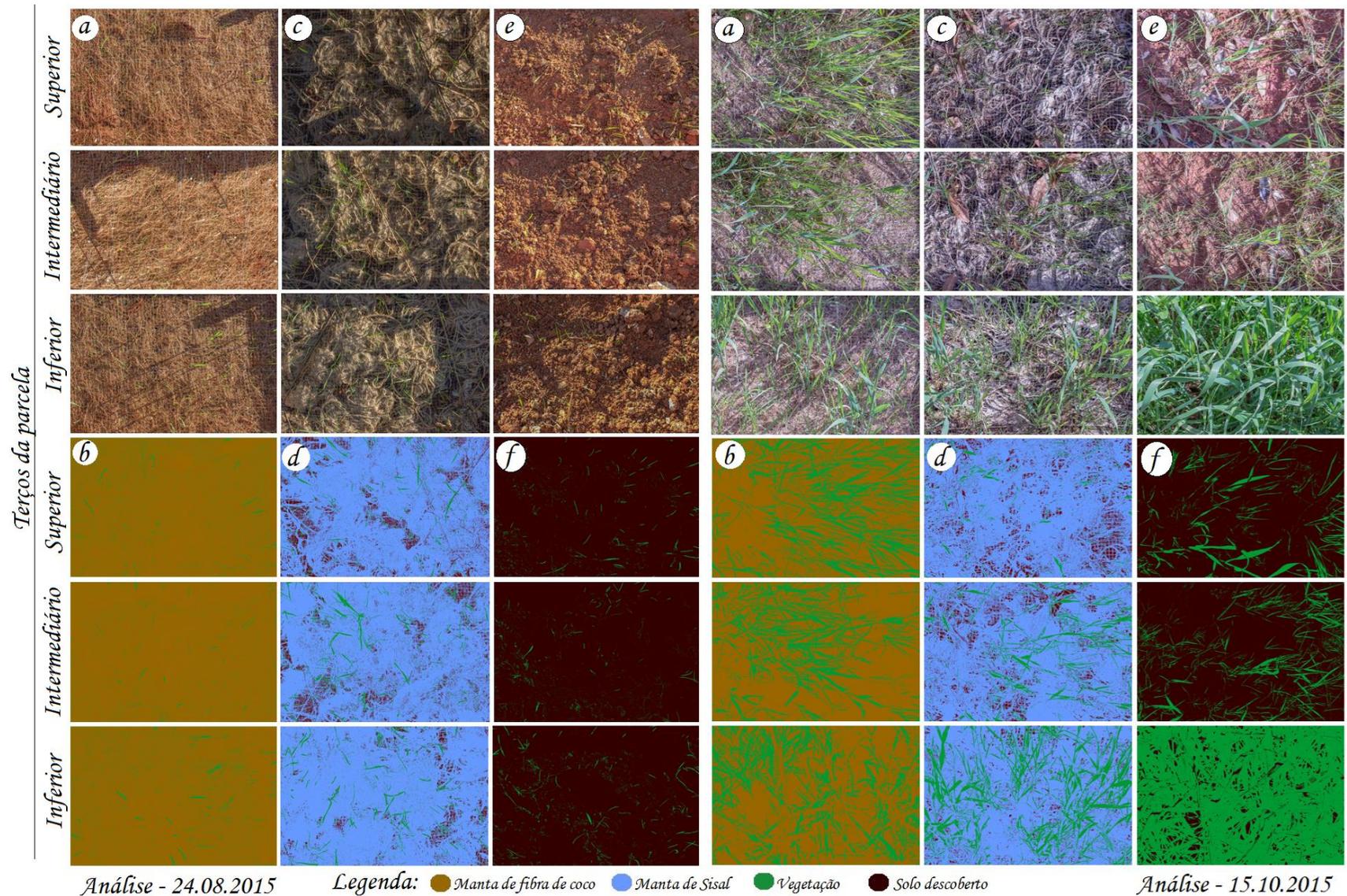
Verifica-se que os tratamentos com biomantas apresentam cobertura total da superfície do solo desde o início da semeadura das culturas de aveia preta, azevém e pensacola.

As Figuras 21 e 22 evidenciam a evolução da cobertura do solo, detalhando a proteção fornecida pelas biomantas e o desenvolvimento da vegetação. Observa-se que aos 10 dias após a semeadura (imagens de 24/08/2015) há pequena cobertura fornecida pelas plantas, mas total cobertura da superfície do solo proporcionada pelas biomantas de fibra de coco (Figura 21a) e de sisal (Figura 21c), resultando nos valores apresentados na Tabela 6, de 100% de cobertura no tratamento da biomanta de fibra de coco, 95,6% na biomanta de sisal e 2,7% no tratamento sem biomanta. As imagens demonstram a distribuição da vegetação ao longo da parcela, em 10, 60, 113 e 295 dias após a semeadura das culturas e instalação do experimento. Nas datas avaliadas, evidenciam-se os períodos inicial, intermediário, anterior e posterior ao corte da aveia e do azevém. Aos 60 dias após a semeadura das culturas, fica claro na Figura 21c (avaliação do dia 15/10/2015) a heterogeneidade na cobertura vegetal para o tratamento sem proteção inicial. Observa-se que o desenvolvimento da cultura foi maior no terço inferior da parcela quando comparado aos terços intermediário e superior, muito possivelmente pelo efeito da erosão e do escoamento superficial, que em uma inclinação de 35 graus (70% de declividade), facilitou o transporte de sementes

e adubos das partes superior e intermediária para uma posição inferior no declive.

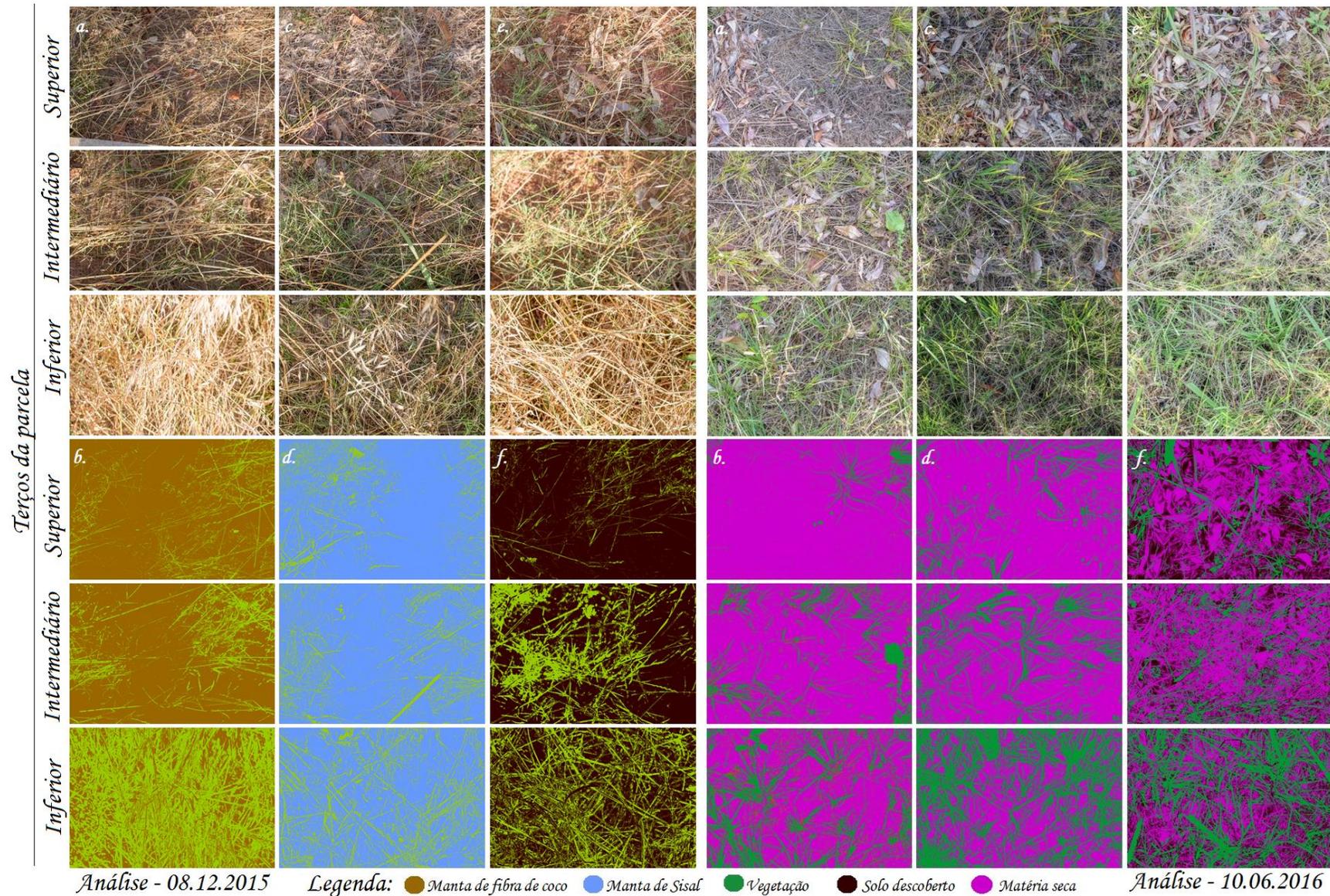
As escalas de cores das imagens possibilitaram a classificação, a partir do software SisCob, do percentual de vegetação, biomanta, solo descoberto e matéria seca disposta na parcela. Entretanto, na Figura 22, é visível na análise referente a 10 de junho (após 295 dias) que a matéria seca passou a ser confundida com as biomantas. Após o término do ciclo da aveia preta e do azevém, a palha seca foi disposta sobre as parcelas, o que justifica a grande quantidade deste material.

O tratamento sem proteção inicial, na última avaliação, ainda apresentou zonas desprotegidas, porém já apresenta característica de uma vegetação estabilizada e com percentual satisfatório de proteção do solo, de 67,2% da superfície (Tabela 6). Neste período as mantas manifestaram maior fragilidade na tela fotodegradável, a qual apresentou rompimento em alguns pontos, bem como a visível degradação das fibras com alterações nas cores e volume do material. A pensacola já se mostrava estabelecida em todos os tratamentos, porém iniciando novo período de inverno. A partir da última avaliação em 10/06/2016, a tendência é a paralisação do crescimento devido às condições climáticas.



**Figura 21** - Avaliação da cobertura do solo realizada dia 24.08.2015 (10 dias após a semeadura) e 15.10.2015 (60 dias após a semeadura) (bloco B).

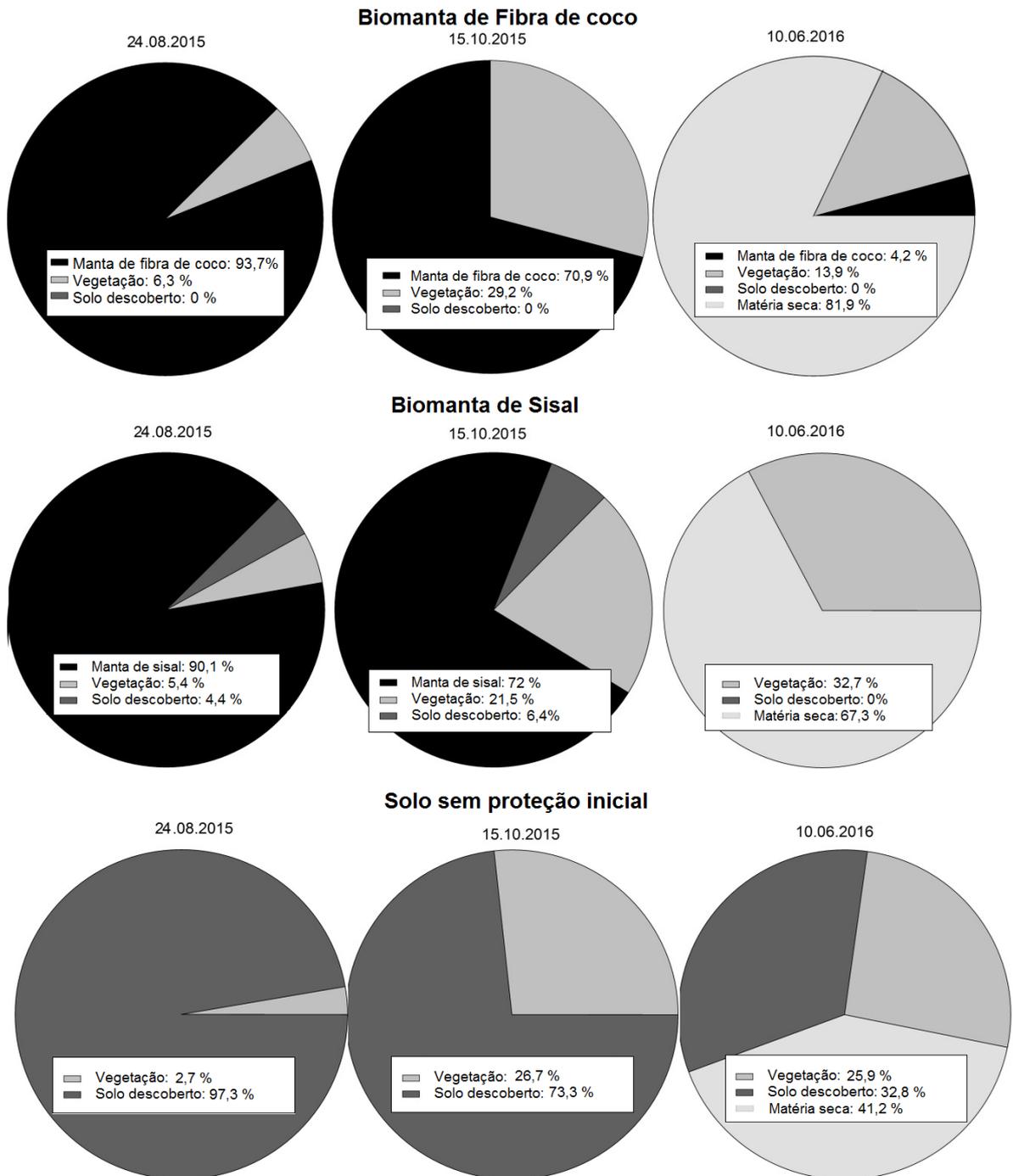
a. Fibra de coco, fotos originais, b. Fibra de coco, fotos após classificação no Siscob, c. Fibra de sisal, fotos originais, d. Fibra de sisal, fotos após classificação no Siscob, e. Sem proteção inicial, fotos originais, f. Sem proteção inicial, fotos após classificação no Siscob.



**Figura 22** - Avaliação da cobertura do solo realizada dia 08.12.2015 (113 dias após a semeadura) e 10.06.2016 (295 dias após a semeadura) (bloco B).

a. Fibra de coco, fotos originas, b. Fibra de coco, fotos após classificação no Siscob, c. Fibra de sisal, fotos originas, d. Fibra de sisal, fotos após classificação no Siscob, e. Sem proteção inicial, fotos originas, f. Sem proteção inicial, fotos após classificação no Siscob.

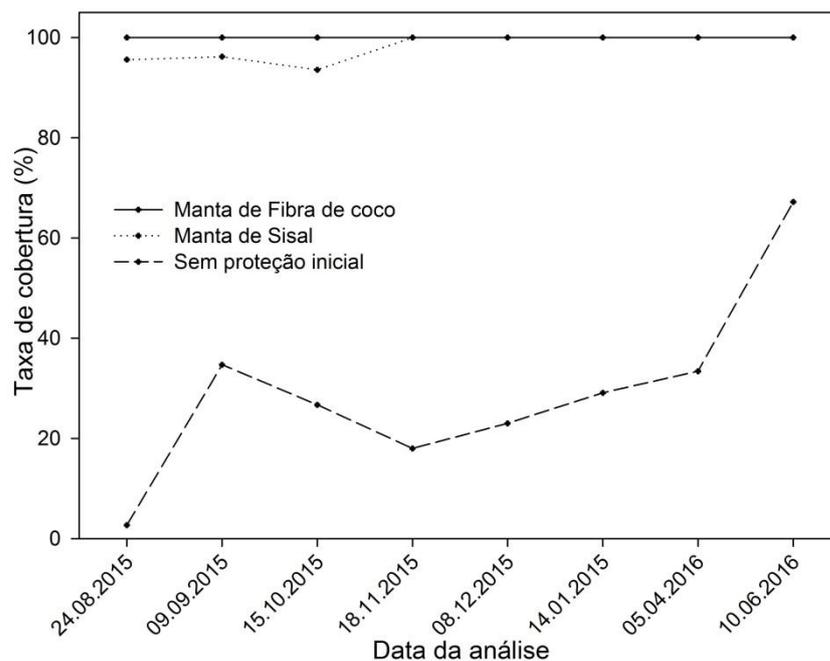
Avaliação da cobertura do solo nos períodos inicial, intermediário e final de condução do experimento, na média de três repetições dos tratamentos, estão mostradas na Figura 23. Nesta figura, a cobertura da superfície do solo é detalhada pelas contribuições da manta, da vegetação implantada e da matéria seca ao final do ciclo das gramíneas de inverno.



**Figura 23** – Percentagem de cobertura do solo pelas mantas, pela vegetação, pela matéria seca e percentagem de solo descoberto nos três tratamentos em três diferentes épocas do período experimental.

Observa-se na Figura 23 que nos tratamentos com manta, à medida que avançava o ciclo das culturas, a percentagem de cobertura da superfície do solo devida à manta foi diminuindo e aumentando a percentagem de cobertura devida à vegetação de gramíneas e, ao final do ciclo, devida a matéria seca. A aveia e o azevém foram colhidos no dia 16 de dezembro (120 dias após a sementeira), o que explica a redução do percentual de vegetação em todos os tratamentos quando comparadas as datas 15 de outubro e 10 de junho. Com o fim do ciclo da aveia e do azevém, a pensacola passou a ser mais evidenciada, sendo avaliada como vegetação. O ténue decréscimo do percentual de cobertura devida à vegetação ao final do ciclo das gramíneas de inverno pode ter sido devido a cortes efetuados na pensacola em início de desenvolvimento, para estimular o crescimento.

O tratamento que apresentou maior desenvolvimento da vegetação permanente, após os 295 dias de avaliação, foi com a proteção da biomanta de fibra de sisal (32,7% de vegetação estabelecida), seguido do tratamento sem biomanta (25,9% de vegetação estabelecida) e por fim do tratamento com a biomanta de fibra de coco (13,9% de vegetação estabelecida). Todavia, ao final do período avaliado, o tratamento sem biomanta ainda apresenta 32,2% de sua área sem cobertura, enquanto que os tratamentos com biomantas apresentavam 100% de sua área coberta (Figura 24).



**Figura 24** – Taxa de cobertura do solo.

De acordo com Holanda et al. (2008), a aplicação de métodos de engenharia natural reflete no desenvolvimento da vegetação como um facilitador. Neste sentido, antes de conclusões quanto à eficiência das biomantas no que se refere ao desenvolvimento da vegetação, deve-se avaliar o sistema até que as mantas se degradem por completo.

#### 4.4 Avaliação do escoamento superficial e das perdas de solo e água por erosão

##### 4.4.1 Quantidade total e erosividade das chuvas no período experimental

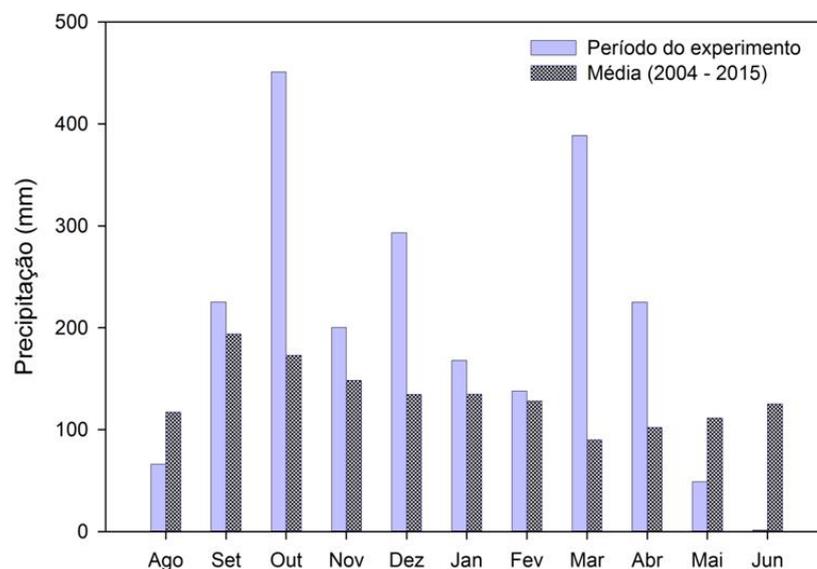
A precipitação total durante os 306 dias do período experimental foi de 2.211,2 mm (Tabela 7). Deste total, 1.963,4 mm foram de chuvas erosivas conforme critérios de Wischmeier; Smith (1978). O mês mais chuvoso foi outubro de 2015, com 451,0 mm de chuva total e, considerando os meses completos, o mês de maio de 2016 apresentou o menor índice pluviométrico, com 54,2 mm de chuva total.

**Tabela 7** – Caracterização das chuvas erosivas.

Ano	Meses <sup>(1)</sup>	Precipitação total (mm)	Chuvas erosivas total (mm)	Nº de chuvas erosivas	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
2015	Agosto	66,2	42,4	1	202,3
2015	Setembro	225,4	211,0	5	783,8
2015	Outubro	451,0	435,6	5	3.765,4
2015	Novembro	200,2	186,2	5	1.061,2
2015	Dezembro	293,2	274,8	8	1.695,5
2016	Janeiro	167,8	150,2	3	1.202,6
2016	Fevereiro	137,8	127,6	5	1.227,3
2016	Março	388,6	362,8	5	3.613,4
2016	Abril	225,0	173,2	6	1.411,0
2016	Maio	54,8	29,6	1	202,1
2016	Junho	1,8	0,0	0	0,0
Total		2.211,2	1.993,4	44	15.164,6

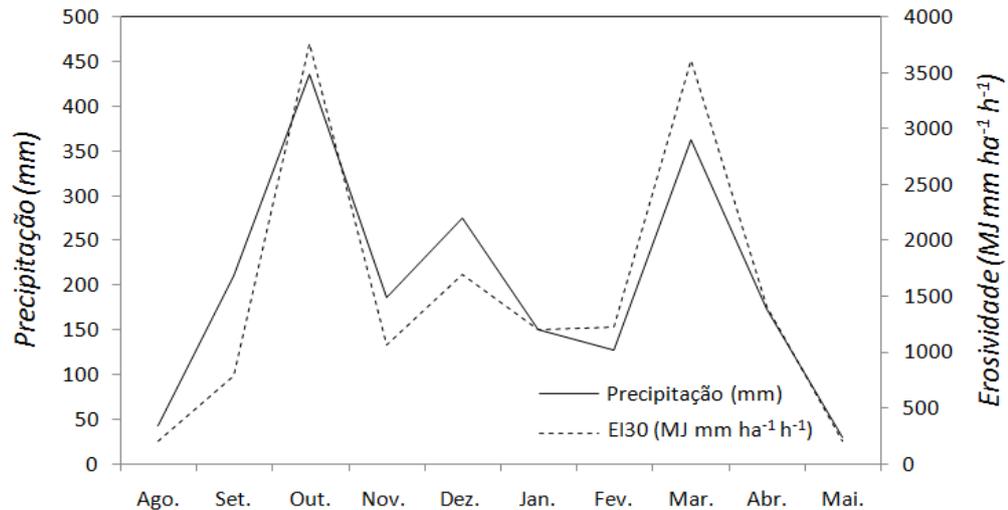
(1) Dados do mês de agosto de 2015 entre 14 e 31 e mês de junho de 2016 entre 01 e 15.

A distribuição das chuvas durante o período do experimento apresentou os maiores volumes mensais em outubro e dezembro de 2015 e março de 2016. Nesses meses, os totais precipitados foram consideravelmente maiores que as médias históricas de um período de 11 anos (Figura 25). A comparação dos valores mensais da precipitação pluvial durante o período experimental, com as médias históricas mensais de um período de 11 anos (2004-2015), demonstra que, com exceção dos meses de agosto de 2015 e maio de 2016, os meses restantes tiveram maiores valores de chuva no período experimental que as médias históricas (Figura 25). Isso caracteriza que o experimento de campo foi conduzido durante um período bastante chuvoso.



**Figura 25** – Distribuição temporal das precipitações (mm) da estação meteorológica Vantage Plus 2, localizada no Campus da UNISC, durante o período de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016 em comparativo com a média mensal obtida através de dados dos últimos 11 anos.

Também se observa na Tabela 7 que o potencial erosivo das chuvas durante os 10 meses (306 dias) de avaliação, determinado pelo índice  $EI_{30}$  (Wischmeier, 1959) é de  $15.164,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Desse total,  $7.508,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  são devidas as chuvas que ocorreram nos meses avaliados do ano de 2015 e  $7.656,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  ocorreram nos meses de 2016. Observou-se que os maiores valores mensais do índice de erosividade  $EI_{30}$  da chuva ocorreram nos meses outubro (2015) e março (2016) com  $3.765,4$  e  $3.613,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente; já o menor foi em maio (2016) igual a  $202,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 26).



**Figura 26** – Precipitação pluvial e erosividade mensal.

Os meses de outubro de 2015 e março de 2016 apresentaram os maiores riscos de perda de solo, devido aos elevados valores de erosividade mensal. A erosividade total de 15.164,6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> durante os 10 meses do ensaio foi superior ao índice anual de 5.135 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> encontrado para Rio Grande (RS) (Bazzano et al., 2010), ao índice anual de 9.292 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> observado em Quaraí, RS (Bazzano et al., 2007) e ao valor de 9.751 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, encontrado para São Borja (Cassol et al., 2008). O valor de 15.164,6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> também é consideravelmente superior ao índice de 6.222,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> obtido para Taquari (RS) município localizado a 81,3 km de Santa Cruz do Sul (RS), com base no período de 1963 a 1999 (Cassol et al., 2004). Considerando-se que o valor total corresponde a 10 meses de avaliação, percebe-se o elevado potencial erosivo das chuvas deste período, caracterizando-se como um ano excepcional em relação à erosividade das chuvas.

Em relação ao padrão hidrológico das chuvas, houve predominância do tipo avançado que ocorreu em 54,6% dos eventos, de um total de 44 chuvas erosivas, constituindo-se em 68,9% do volume total e em 77,6% da erosividade total (Tabela 8).

**Tabela 8** – Padrões hidrológicos das chuvas erosivas.

Tipo hidrológico	Número		Quantidade (mm)		Erosividade, EI <sub>30</sub> (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	
	Total	%	Total	%	Total	%
Avançado	24	54,6	1.373,6	68,9	11.767,2	77,6
Intermediário	13	29,5	478,2	24,0	2.628,6	17,3
Atrasado	7	15,9	141,6	7,1	768,8	5,1
Total	44	100,0	1.993,4	100,0	15.164,6	100,0

A predominância do padrão hidrológico avançado é uma característica comum nas chuvas do Estado do Rio Grande do Sul, conforme já constatado por vários autores (Bazzano et al., 2007; Cassol et al., 2008; Mazurana et al., 2009; Eltz et al., 2011).

As datas e a quantidade total de cada uma das chuvas diárias individuais durante o período experimental encontram-se no Apêndice 7.2. Já no Apêndice 7.3 encontram-se as chuvas individuais erosivas, com a data da ocorrência, quantidade total, duração e valor do índice EI<sub>30</sub>. O Padrão hidrológico das chuvas individuais e erosivas encontra-se no Apêndice 7.4.

#### 4.4.2 Perdas de solo e água por erosão

Durante todo o período de realização do trabalho, as perdas totais de solo observadas foram de 33.231,1 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento de semeadura sem biomanta, de 30,3 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento de semeadura de gramíneas com biomanta de fibra de coco e de 18,2 kg ha<sup>-1</sup>, no tratamento de semeadura de gramíneas com biomanta de fibra de sisal (Tabela 9).

**Tabela 9** – Perdas totais de solo e água no período experimental de 306 dias (entre 15 de agosto de 2015 e 15 de junho de 2016), com chuva total de 2.221,2 mm, sendo 1.993,4 mm de chuvas erosivas com erosividade total pelo índice EI<sub>30</sub> de 15.164,6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Cada valor é uma média de 3 repetições<sup>(1)</sup>.

Tratamentos			
Semeadura gramíneas	Perdas de Solo (kg ha <sup>-1</sup> )	Perdas de água em	
		(mm)	(% da chuva)
Sem biomanta	33.231,1 a	421,5 a	19,1
Com biomanta de fibra de coco	30,3 b	45,3 ab	2,1
Com biomanta de fibra de sisal	18,2 b	36,6 b	1,7

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Os resultados da Tabela 9 equivalem a uma redução nas perdas de solo por erosão de 99,91% e 99,94% com aplicação dos geotêxteis de fibra de

coco e sisal, em comparação com apenas a semeadura de gramíneas sem a proteção de biomantas. Bezerra et al., (2011), por sua vez, comprovaram uma redução na produção de sedimentos de 93,4% com aplicação de geotêxtil produzido com fibra de buriti associada a semeadura de gramínea (capim-braquiara, *Brachiaria brizantha*).

Tanto a biomanta de fibra de coco quanto a biomanta de fibra de sisal foram muito eficientes no controle da erosão, protegendo o talude desde o início (Tabela 9). Não se observaram diferenças significativas entre as biomantas na redução das perdas de solo por erosão, sendo ambas extremamente eficientes.

Em relação às perdas de água, o tratamento sem biomanta apresentou diferença significativa apenas do tratamento com a manta de sisal (Tabela 9). A manta de fibra de coco pode não ter tido uma diferença significativa do tratamento sem proteção devido à variação das perdas entre as coletas. Observa-se que, conforme mostrado na Figura 25, o total precipitado nos meses em que foi conduzido o experimento, foi extraordinariamente maior que a média da precipitação mensal nos últimos 11 anos, o que reforça ainda mais a atuação protetiva das biomantas para reduzir o escoamento superficial.

As perdas mensais de solo por erosão podem ser visualizadas na Tabela 10. Percebe-se que as perdas de solo estão atreladas ao  $EI_{30}$ , que é o índice que representa o potencial erosivo das chuvas, ou seja, a erosividade das chuvas.

**Tabela 10**– Médias mensais e totais de perdas de solo e erosividade das chuvas, no período experimental (de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016).

Ano	Mês	Chuvas erosivas		Semeadura de gramíneas		
		Quant	Erosividade	Com biomanta de		Sem biomanta
				Fibra de coco	Fibra de sisal	Solo sem proteção inicial
mm	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Perda de solo em kg ha <sup>-1</sup>				
2015	AGO	42,4	202,3	1,5	0,2	6,8
2015	SET	211,0	783,8	1,9	1,9	2.440,8
2015	OUT	435,6	3.765,4	5,9	4,2	22.666,5
2015	NOV	186,2	1.061,2	0,1	0,1	4.064,3
2015	DEZ	274,8	1.695,6	2,8	3,1	3.832,7
2016	JAN	150,2	1.202,6	1,5	0,7	50,3
2016	FEV	127,6	1.227,3	1,1	0,8	25,2
2016	MAR	362,8	3.613,4	6,2	2,7	67,4
2016	ABR	173,2	1.411,0	9,1	4,3	77,0
2016	MAI	29,6	202,1	0,2	0,2	0,2
Total		1.993,4	15.164,7	30,3 b	18,2 b	33.231,1 a

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

As perdas de solo foram mais acentuadas no período referente ao ano de 2015 para o tratamento sem proteção inicial (Tabela 10). Nos primeiros 4 meses e meio de experimentação (entre 15 de agosto e 31 de dezembro de 2016) ocorreram 99,3% das perdas totais de solo no tratamento sem proteção de biomanta. No mesmo período ocorreu 49,5% da erosividade total. Observando-se a Tabela 10, pode-se verificar no tratamento sem biomanta (apenas com a semeadura das gramíneas) que nos meses iniciais, aumentando a erosividade das chuvas, aumentava as perdas de solo. Já, a partir de meados de outubro, com o estabelecimento da aveia e do azevém proporcionando maior cobertura do solo, mesmo com o aumento da erosividade, não ocorreu na mesma proporção o aumento das perdas de solo. Isso, certamente, é efeito da proteção dada ao solo pela cobertura das culturas. No entanto, nos mesmos períodos, as perdas de solo nos tratamentos com biomantas foram praticamente desprezíveis, denotando a total eficiência da cobertura do solo pelas biomantas. Essa é a principal função desses geotêxteis, ou seja, proteger o solo nos períodos iniciais de desenvolvimento

das gramíneas implantadas, enquanto estas estão se desenvolvendo, ainda não apresentando efetiva proteção ao solo.

Após o estabelecimento da vegetação (já no período de 2016), as perdas de solo no tratamento sem proteção inicial reduziram consideravelmente, mesmo no mês de março onde o  $EI_{30}$  apresentou valor semelhante a outubro de 2015. Percebe-se que os tratamentos com manta apresentaram um sutil acréscimo nas perdas de solo, concomitantemente com a lenta degradação das mantas, mas em valores absolutos totalmente desprezíveis. Inicialmente, as biomantas proporcionaram recobrimento próximo a 100% e aos poucos passaram a dar lugar à vegetação. Isto corrobora com as conclusões dos autores Holanda et al., (2008) e Bezerra et al., (2011) que constataram que os geotêxteis, além de impedir a perda de sementes, garantem a proteção inicial do solo, atuando diretamente no efeito *splash* e escoamento superficial.

Os picos de perdas de solo ocorreram nas coletas correspondentes aos meses outubro, novembro e dezembro. As perdas avaliadas no ano de 2016 obtiveram destaque nos meses de março e abril, porém com valores menos expressivos. Em ambos os períodos, os picos são expressos concomitantemente aos maiores índices de erosividade da chuva já apresentados na Tabela 10.

Observou-se uma relação direta entre as perdas de solo mostradas na Tabela 10, com as perdas de água observadas na Tabela 11, indicando que as perdas de solo estão intimamente relacionadas com o volume do escoamento superficial. Isso diferiu do estudo realizado por Fernandes et al. (2009), onde as máximas de perda de solo e água não foram resultantes do mesmo efeito. Para os tratamentos com biomanta de fibra de coco e fibra de sisal as perdas de água totalizaram 45,4 mm e 36,6 mm, enquanto que no tratamento sem biomanta (sem proteção inicial do solo) atingiu volume total de 421,7 mm (Tabela 11). Os tratamentos com manta não apresentaram diferença entre si durante todo o período de ensaio, porém apenas o tratamento com biomanta de sisal foi significativamente diferente ao tratamento sem proteção inicial (Tabela 11).

**Tabela 11**– Médias mensais e totais de perdas de água, durante o período experimental, de 15 de agosto de 2015 a 15 de junho de 2016.

Ano	Mês	Chuva total	Semeadura de gramíneas mais biomantas de		Semeadura de gramíneas sem biomanta
		Quantidade	Fibra de coco	Fibra de sisal	Solo sem proteção inicial
		--- mm ---	----- Perda de água em mm -----		
2015	AGO	66,2	0,5	0,5	0,4
2015	SET	225,4	4,7	3,1	29,5
2015	OUT	451,0	11,9	16,7	253,3
2015	NOV	200,2	2,7	1,9	51,2
2015	DEZ	293,2	11,2	6,5	49,0
2016	JAN	167,8	1,3	1,0	6,3
2016	FEV	137,8	1,2	1,0	3,8
2016	MAR	388,6	7,1	3,5	21,3
2016	ABR	225,0	4,4	2,2	6,6
2016	MAI	54,2	0,4	0,2	0,3
2016	JUN	1,8	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>		2.211,2	45,4 ab	36,6 b	421,7 a

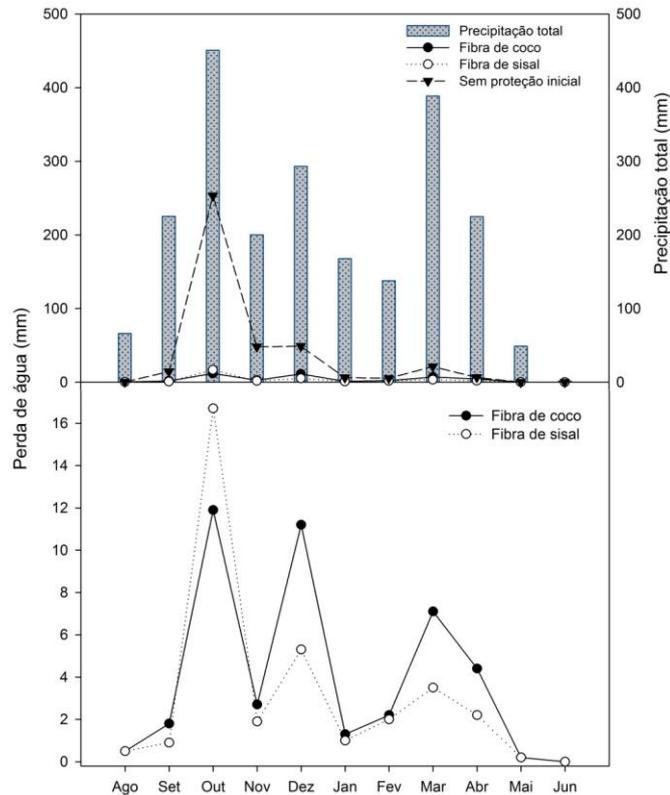
Verifica-se que nos primeiros quatro meses e meio de avaliação, correspondente ao ano de 2015, ocorreram as maiores perdas de água em todos os tratamentos. Nesse período ocorreu 90,9% do total de perda de água no tratamento sem biomanta, de 68,3% no tratamento com biomanta de fibra de coco e 78,4% no tratamento com biomanta de fibra de sisal.

Nos cinco meses e meio seguintes, correspondendo aos meses do ano de 2016, além da presença da biomanta, já com algum estágio de degradação, mais a existência da vegetação ocorreu a redução considerável nas perdas de água. Entretanto, ainda assim há uma considerável diferença nas perdas de água entre o tratamento com biomanta de sisal e sem biomanta.

As condições antecedentes do solo, principalmente no que se refere à umidade deste, são determinantes para o volume total da enxurrada (Guadagnin et al., 2005). Isto justifica o fato das perdas de água não serem proporcionais em todos os casos ao volume total precipitado (Figura 27).

A Figura 27 revela a eficiência dos tratamentos com proteção inicial no período de 2015, onde os valores de perda de água oscilaram entre 0,5 e 16,7 mm enquanto o solo sem biomanta apresentou valores no intervalo de 0,4

a 253,3 mm. Constatou-se picos no total precipitado referente aos meses outubro, dezembro e março.



**Figura 27-** Perdas de água mensal.

As coletas do período de janeiro a junho de 2016 resultaram em menores perdas de água, podendo ser atrelado ao desenvolvimento da vegetação, bem como, ao intervalo das chuvas, em especial no período de janeiro e fevereiro, que apresentaram chuvas bem espaçadas. Nesse período os valores de perdas de água nos tratamentos com biomanta foram entre 0,2 e 7,1 mm enquanto que no sistema sem proteção inicial as perdas oscilam entre 0,3 e 21,3 mm, sendo clara a atuação da vegetação como fator principal nessa redução.

## 5. CONCLUSÕES

Biomantas comerciais de fibra de coco e biomantas artesanais de fibras de sisal controlam em 99% a erosão em taludes que ocorre com a semeadura de gramíneas sem a proteção de biomantas. A aplicação de biomantas oferece proteção imediata, absorvendo água e reduzindo o escoamento superficial no solo.

Gramíneas permanentes se estabelecem em taludes protegidos com a presença de biomantas comercial de fibra de coco e artesanal de fibra de sisal, de maneira que após a biodegradação dos geotêxteis, a vegetação estabelecida fornece proteção contra a erosão.

A biodegradabilidade do material ocorre no período em que a vegetação já está estabelecida, sendo substituída lentamente pelo desenvolvimento da espécie selecionada e incorporada como matéria orgânica no solo.

A biomanta artesanal de sisal é viável e eficiente na proteção de taludes contra erosão, além de transformar um resíduo em insumo, atuando diretamente na gestão de resíduos sólidos industriais. A implantação desta técnica com emprego de um resíduo industrial promove benefícios ambientais, e pode se constituir em material comercial que também venha a trazer benefícios econômico e sociais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Ensaio de limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Determinação do limite de Liquidez de solos. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Determinação do limite de Plasticidade de solos. Rio de Janeiro, 1988.

ABDON, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** 2004. 322 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.

ALHO, A. A. **Erosão e estabilização biológica de taludes.** 2. ed. Lisboa: SIME, 2006.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em área agrícola. In: **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: editora UFV, 2009. cap. 4.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ARAÚJO FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. R. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia plena**, São Cristovão, v. 9, n. 7, 2013.

ASAE. AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL ENGENNERS. **Soil Cone Penetrometer**. Saint Joseph, 2004. ASAE S 313.3.

ASTM INTERNATIONAL. **Standard test method for water absorption of plastics**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1995. Standard D 570-95.

AUSTIN, D. N.; DRIVER, T. Classifying rolled erosion control products. **Erosion Control**, v. 2, n. 1, p. 48-53, 1995.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1205-1217, 2007.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 235-244, 2010.

BERNHARD-REVERSAT, F. Measuring litter decomposition in a tropical forest ecosystem: Comparison of some methods. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, Jaipur, v. 8, p. 63-71, 1982.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone editora, 2012.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Utilização da fotocomparação na reabilitação de áreas degradadas por erosão, a partir de uma estação experimental, Uberlândia – MG. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 28, n. 2, p. 149-164, 2011.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia/MG. **Revista de Geografia**, Recife, v. 12, n. 2, p. 93-104, 2011.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, J. M. A. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**: Fundamentos. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963 a 1999. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA; MANEJO: INTEGRANDO A CIÊNCIA DO SOLO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS, 15, Santa Maria, 2004. **Resumos expandidos...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008.

CAVAILLÉ, P. et al. Functional and taxonomic plant diversity for riverbank protection works: Bioengineering techniques close to natural banks and beyond hard engineering. **Journal of Environmental Management**, London, v. 151, p. 65–75, 2015.

CECÍLIO, R. A. et al. Aplicación de los modelos rusle y WEPP para la estimativa de la erosión hídrica em Microbacia Hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável grupo verde de agricultura alternativa (GVAA)**, Mossoró – RN, v. 4, n. 2, p. 39-45 abr./jun. 2009.

CELLINGSCIENCE. **The Effects of Nicotine on Plant Growth**, 2012. Disponível em: <<https://cellingscience.wikispaces.com/The+Effects+of+Nicotine+on+Plant+Growth>>. Acesso em: 19 set. 2016. CONRADO, D.; MERICAL, E. B.; CRISPIM, J. Q. Erosão urbana: planejamento e proposta de recuperação de uma voçoroca em Luiziana/PR. / In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: DESENVOLVIMENTO REGIONAL E DINÂMICA AMBIENTAL, 2011, S.I. [Anais...] S.l: s.n., 2011.

COUTO, L. et al. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Viçosa: CBCN, 2010. (Boletim Técnico CBCN, n. 1).

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e meio ambiente. In: **Degradação ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. cap. 7.

DEFLOR BIOENGENHARIA. **Guia de instalação de biomantas antierosivas, retentores de sedimentos e hidrossemeio**. Disponível em: <[http://deflor.com.br/downloads/GUIA\\_DE\\_INSTALA%C3%87%C3%83O.pdf](http://deflor.com.br/downloads/GUIA_DE_INSTALA%C3%87%C3%83O.pdf)>. Acesso: 26 fev. 2015.

DHITAL, Y. P.; TANG, Q. Soil bioengineering application for flood hazard minimization in the foothills of Siwaliks, Nepal. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 74, p. 458–462, 2015.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de vegetação rodoviária**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/normas/MANUAL%20DE%20VEGETACAO%20RODOVIARIA%20-%20VOLUME%201.pdf>>. Acesso: 10 maio 2016.

ELLISON, W. D. Soil detachment and transportation. **Soil Conservation**, Washington, v. 11, n. 8, p. 179-190, 1946.

ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; PASCOTINI, P.B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 331-337, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Produção do Sisal**. João Pessoa – PB: [Embrapa], 1984. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43271/1/SID-DOCUMENTOS-1-SISTEMA-DE-PRODUCAO-DE-SISAL-MICROREGIOES-DO-CURIMATAU-SERIDO-PARAIBANO-E-CARIRI.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. - 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Laboratório de Imagem**. SISCOB - Software para análise de imagens de cobertura vegetal de solo, 2003. Disponível em: <<http://labimagem.cnpdia.embrapa.br/Ferramentas.aspx?ferramenta=3>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

EROSION CONTROL TECHNOLOGY COUNCIL. **Rolled Erosion Control Products (RECPs) General Usage and Installation Guidelines for Slope**. Version 1.0, March 2014.

FAOSTAT. **Production. Crops**. FAO, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en>>. Acesso: 20 jan. 2016.

FERNANDES, L. S. **Avaliação de mantas comerciais na vegetação de talude em corte de estrada**. 2004. 81 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa- UFV, MG, Viçosa, 2004.

FERNANDES, L. S. et al. Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 199-206, 2009.

FLANAGAN, D. C. et al. Overview of the WEPP erosion prediction model. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Ed.). **Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation**. West Lafayette: United

States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory, 1995.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2006.

GUADAGNIN, J. C; et al. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 277-286, May/Apr. 2005.

GUERRA, A. J. T. O Início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. cap. 1.

GUERRA, A. J. T. Erosão e planificação de uso do solo. In: MAFRA, N. M. C. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. cap. 9.

GUIMARÃES, J. C. C. Abordagem de práticas conservacionistas na recuperação de voçorocas. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v. 8, n. 14, p. 977, 2012.

GUIMARÃES, J. **Produção Vegetal**. [S.l.]: Instituto Formação, 2012. (Cursos Técnicos Profissionalizantes – Agricultura).

HOLANDA, F. S. R. et al. Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos. **R. RA' E GA**, Curitiba, n. 17, p. 93-101, 2009.

HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, O. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 570–575, 2008.

ISO. **ISO 2881/1992**. Internacional Standart – ISO Tabacco – Determination of alkaloids in tabacco – Spectrophotometric method. Central Tabacco Research Institute, Índia.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012.

KOTTEK M. et al. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LEITE, D. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1033-1044, 2004.

LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes - A case study. **Geotextiles and Geomembranes**, Barking, v. 22, n. 5, p. 399-413, 2004.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

LUPATINI, G. C. et al. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 33, n. 11, p. 1939-1 943, nov., 1998.

MACARI et al. Avaliação da mistura de cultivares de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) sob pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, June, 2006.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: **Erosão e conservação dos solos**: Conceitos, temas e aplicações. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. cap. 9.

MARTIN, A. et al. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade *Agave sisalana*. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.

MAZURANA, J. et al. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas de Santa Rosa, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 975-983, 2009.

MEDINA, J.C. **O sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1954. 286 p.

MERTEN, G. H.; MINELLA. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia E Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, out/dez, 2002.

METHACANON, P. et al. Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, n. 4, p. 1090–1096, 2010.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR – 386**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, F. P. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica em Bacia Rural em Arvorezinha, RS, utilizando WEPP**. 2010. 151 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.15, n. 43, São Paulo, Sept./Dec. 2001.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETTE, L. V. Impactos sobre o solo. – In: **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013a. cap. 14.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V.; AUGUSTO FILHO, O. Geologia e Solos. In: **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013b. cap. 2.

PEREIRA, A. R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2. ed. Belo Horizonte – MG: Editora FAPI, 2008.

POLSTER, D. F. Soil Bioengineering for Slope Stabilization and Site Restoration. In: **MINING AND THE ENVIRONMENT**, 3, 2003, Ontario. [Proceedings]... Ontario: [Laurentian University], 2003.

PRUSKI, F. F. Prejuízos Decorrentes da Erosão Hídrica e Tolerância de Perdas de Solo. In: **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: editora UFV, 2009. cap. 1.

PRUSKI, F. F. Processo Físico de Ocorrência da Erosão Hídrica. In: Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: editora UFV, 2009. cap. 2.

PRUSKI, F. F. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: editora UFV, 2009. cap. 3.

RENARD, K. G.; et al. (Coord.). **Predicting Soil Erosion by Water**: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: [USDA], 1997. (Agriculture Handbook, 537).

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REIS, L. F. R.; BRANDÃO, J. L. B. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: **Engenharia Ambiental**: Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

REY, F.; BURYLO, M. Can bioengineering structures made of willow cuttings trap sediment in eroded marly gullies in a Mediterranean mountainous climate? **Geomorphology**, Amsterdam, v. 204, p. 564–572, January 2014.

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, L. V. Estudo da recuperação de áreas degradadas por erosão no Município de Franca, São Paulo, Brasil. **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**, Buenos Aires, n. 29, p. 41–58, 2012.

ROSO, C. et al. Aveia preta, triticale e centeio em mistura com azevém. 1. Dinâmica, produção e qualidade de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 75-84, 2000.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. **Erosão e conservação dos solos**: Conceitos, temas e aplicações. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. cap. 7.

SANTOS, L. M. **Erosão em taludes de corte**: métodos de proteção e estabilização. 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

SCHIECHTL, H. M.; STERN R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control**. Australia: Blackwell Science, 1996. 146 p.

SCHMEIER, N. P. **Bioengenharia na recuperação das margens do arroio Forquetinha/RS**. 2012. Monografia (Graduação) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2012.

SCHMEIER, N. P. Bioengenharia de solos: uma alternativa à recuperação de áreas degradadas. **Revista destaques acadêmicos - CETEC/UNIVATES**, v. 5, n. 4, 2013.

SECRETARIA DA AGRICULTURA.- Rio Grande do Sul. **Manual de conservação do solo**. 2. ed. Atualizada. Porto Alegre: [s.n.], 1983. p. 228.

SILVA, D. J. B. **Avaliação de Métodos de Baixo Custo Para a Proteção de Taludes em Estradas Rurais Não-Pavimentadas**. 2009. Monografia (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2009.

SILVA, F. C. **Método de sementeira e uso de mantas no controle de erosão em taludes de corte**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVA, O. et al. **Cultivo de Sisal no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande: Embrapa, 2008. (Circular Técnica, 123). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA-2009-09/22318/1/CIRTEC123.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

SISALL. **Biomanta de Sisal**. Disponível em: <[http://api.ning.com/files/rKarpPCATM7S1O-Ke4Z\\*Gi9JGNC\\*8K7yhj-b4SIZluZAJJo\\*gn4KnTIJ8p-W-0uG8re7osECgXpj0Df7WH8Ps3KXHQ4CWfEC/folder2.pdf](http://api.ning.com/files/rKarpPCATM7S1O-Ke4Z*Gi9JGNC*8K7yhj-b4SIZluZAJJo*gn4KnTIJ8p-W-0uG8re7osECgXpj0Df7WH8Ps3KXHQ4CWfEC/folder2.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2016.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 460-464, 2000.

STOCKING, M. A. **Soil Erosion: Research Methods**. 2. ed. Northeast Ankeny Road: Soil and Water Conservation Society, 1994.

SUTILI, F. J. **Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil**. 2007. 95 p. Tese (Doutorado) – Universidade Rural de Viena, Departamento de Engenharia Civil e Perigos Naturais, Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, Viena, 2007.

SUTHERLAND, R. A.; ZIEGLER, A. D. Effectiveness of coir-based rolled erosion control systems in reducing sediment transport from hillslopes. **Applied Geography**, Oxford, v. 27, n. 3-4, p. 150–164, 2007.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1985.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EPFS, 1969. 24 p.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1459-1471, 2009.

WANDT, P. G. S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco: EMBRAPA, 2003. (Documentos, 90).

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978.

XIAOPING, L.; ZHANG, L.; ZHANG, Z. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 304–314, 2006.

ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. Recuperação de áreas degradadas. In: **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 23.

## **7. APÊNDICES**

## 7.1 Análises químicas do solo

Bloco	Prof. cm	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P mg/dm <sup>3</sup>	K mg/dm <sup>3</sup>	M.O. %	Al troc. cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca troc. cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg troc. cmolc/dm <sup>3</sup>	A+H cmolc/dm <sup>3</sup>
A	0-10	35	5.7	7.8	4.0	121	0.6	4.0	4.4	4.1	4.0
A	10-20	34	5.3	4.6	2.6	85	0.9	4.7	3.4	3.7	21.8
B	0-10	13	5.3	4.7	4.5	112	0.3	4.5	4.0	4.2	19.4
B	10-20	40	5.2	4.9	2.5	87	0.4	3.8	3.9	4.0	15.4
C	0-10	42	5.2	4.5	2.8	130	0.3	5.3	5.6	5.4	24.4
C	10-20	47	5.2	4.6	4.0	111	0.4	4.6	6.0	5.1	21.8

Bloco	Prof. cm	CTC cmolc/dm <sup>3</sup>	% SAT da CTC		Relações			S mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	B mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K					
A	0-10	12.8	69	31	1.1	14	13	19	1.7	1.2	0.2	44
A	10-20	29.1	25	38.9	0.9	16	17	17	1.4	0.8	0.1	38
B	0-10	27.9	30	34.5	1	14	15	19	1.6	0.9	0.1	37
B	10-20	23.5	35	31.7	1	17	18	18	1.6	1.3	0.1	35
C	0-10	35.8	32	31.7	1	17	16	22	1.9	1.0	0.1	44
C	10-20	33.2	34	28.6	1.2	21	18	22	1.9	1.1	0.1	47

## 7.2 Quantidade total de chuva diária durante o período experimental.

Dia	----- Ano de 2015 -----					----- Ano de 2016 -----					
	AGO*	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN**
	----- Chuva (mm) -----										
1	-	0,4	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
2	-	0,2	20,2	0,2	20,0	0,0	8,8	70,0	20,8	0,2	0,2
3	-	0,0	0,0	1,6	1,2	0,0	11,2	74,4	0,2	0,0	0,0
4	-	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	7,4	5,4	0,0	0,0	0,2
5	-	0,0	0,0	54,0	0,0	10,0	0,0	0,4	0,0	0,2	0,2
6	-	0,0	0,6	0,2	0,0	4,8	0,0	0,0	6,4	0,2	0,0
7	-	0,2	128,6	0,0	0,0	12,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
8	-	0,0	71,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	2,4	0,0
9	-	0,2	35,0	0,0	28,6	0,8	22,8	88	7,4	0,0	0,0
10	-	2,8	27,0	62,4	7,6	0,4	0,2	47,4	3,0	1,6	0,4
11	-	0,6	26,6	1,0	0,0	0,0	0,0	3,4	12,6	0,0	0,2
12	-	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,6	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,2	11,6	11,8	1,2	21,2	0,0	32,4	0,0	0,2
14	0,0	0,0	30,6	0,0	14,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2
15	0,8	0,0	49,8	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6	0,2
16	6,6	11,0	0,0	8,4	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,8	-
17	0,0	60,8	0,2	7,4	0,0	0,0	39,8	0,0	0,0	0,0	-
18	10,4	5,0	0,0	0,0	23,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-
19	0,6	40,8	0,0	34,6	0,4	0,0	0,0	13,0	0,0	0,2	-
20	0,0	23,2	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	9,2	0,0	6,2	-
21	0,0	15,8	53,4	0,2	7,0	0,0	0,0	23,4	6,0	2,8	-
22	4,4	40,4	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,2	21,0	4,4	-
23	0,4	0	0,2	0,0	63,6	0,0	0,0	0,2	1,8	0,0	-
24	0,0	23,8	0,0	0,0	70,6	0,0	0,0	0,0	50,8	0,2	-
25	0,0	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	49,4	27,4	0,8	-
26	42,4	0,0	0,0	0,6	0,8	0,2	24,0	2,4	18,6	0,2	-
27	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	-
29	0,2	0,0	0,0	0,0	5,0	18,6	0,2	0,0	0,0	4,0	-
30	0	0,0	5,2	0,0	1,2	118,6	---	0,2	0,0	0,2	-
31	0,4	---	1,2	---	0,4	1,2	---	0,0	---	0,0	-
<b>Total</b>	<b>66,2</b>	<b>225,4</b>	<b>451</b>	<b>200,2</b>	<b>293,2</b>	<b>167,8</b>	<b>137,8</b>	<b>388,6</b>	<b>225</b>	<b>54,2</b>	<b>1,8</b>

\*De 15 a 30 no mês de Agosto/2015 e de 01 a 15 de Junho de 2016

### 7.3 Chuvas individuais e erosivas que ocorreram durante o período experimental

Data da chuva			Quantidade Total (mm)	Duração		Padrão Hidrológico	EI <sub>30</sub> MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Ano	Mês	Dia		hs	min		
2015	08	26	42,4	08	30	Avançado	202,3
2015	09	16	11,0	08	40	Avançado	39,5
2015	09	17	55,6	08	00	Intermediário	221,3
2015	09	18	80,2	67	50	Avançado	325,9
2015	09	22	40,4	08	55	Intermediário	124,7
2015	09	24	23,8	10	00	Atrasado	72,4
2015	10	02	20,2	04	35	Intermediário	103,9
2015	10	07	243,8	97	20	Avançado	2.354,1
2015	10	10	44,6	30	00	Intermediário	82,2
2015	10	14	73,6	16	00	Avançado	567,2
2015	10	21	53,4	06	50	Avançado	658,0
2015	11	03	67,6	43	25	Avançado	311,3
2015	11	10	62,4	08	00	Intermediário	411,3
2015	11	13	11,6	03	35	Intermediário	31,6
2015	11	16	9,6	15	05	Atrasado	10,8
2015	11	19	35,0	14	55	Atrasado	296,2
2015	12	01	33,0	11	55	Avançado	106,2
2015	12	09	36,2	12	05	Intermediário	111,3
2015	12	13	11,8	10	50	Avançado	15,6
2015	12	14	14,0	12	15	Avançado	13,8
2015	12	18	23,6	04	30	Avançado	148,2
2015	12	22	20,0	15	20	Intermediário	68,7
2015	12	23	63,6	11	55	Intermediário	912,0
2015	12	24	72,6	27	30	Avançado	319,7
2016	01	07	12,0	14	55	Avançado	7,8
2016	01	29	18,6	03	40	Atrasado	173,7
2016	01	30	119,6	20	40	Avançado	1.021,1
2016	02	02	20,0	06	45	Intermediário	75,5
2016	02	09	22,8	04	40	Atrasado	125,1
2016	02	13	21,2	04	00	Intermediário	145,4
2016	02	17	39,6	02	10	Avançado	677,3
2016	02	26	24,0	05	30	Avançado	204,0
2016	03	02	144,4	25	45	Avançado	2.463,7
2016	03	09	135,4	33	50	Avançado	976,2
2016	03	20	15,4	10	40	Avançado	23,2
2016	03	21	17,0	04	40	Atrasado	57,6
2016	03	25	50,6	22	55	Intermediário	92,7
2016	04	08	14,8	03	30	Atrasado	33,0
2016	04	10	15,6	06	15	Avançado	29,2
2016	04	13	31,8	11	50	Intermediário	248,0
2016	04	22	22,2	11	05	Avançado	151,9
2016	04	24	56,0	10	15	Avançado	829,1
2016	04	25	32,8	21	25	Avançado	119,8
2016	05	15	29,6	12	30	Avançado	202,1
<b>Total</b>			<b>1.993,4</b>				<b>15.164,6</b>

**7.4 Padrões hidrológicos das chuvas erosivas mensais durante o período experimental, em número, quantidade (em mm) e erosividade pelo índice EI<sub>30</sub>, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.**

	Ano de 2015 <sup>(1)</sup>					Ano de 2016 <sup>(2)</sup>					Total
	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	
<b>Padrão hidrológico Avançado</b>											
Número	1	2	3	1	5	2	2	3	4	1	24
Volume	42,4	91,2	370,8	67,6	155,0	131,6	63,6	295,2	126,6	29,6	1.373,6
EI <sub>30</sub>	202,3	365,4	3.579,3	311,3	603,5	1.028,9	881,3	3.463,1	1.130,0	202,1	11.767,2
<b>Padrão hidrológico Intermediário</b>											
Número	0	2	2	2	3	0	2	1	1	0	13
Volume	0,0	96,0	64,8	74,0	119,8	0,0	41,2	50,6	31,8	0,0	478,2
EI <sub>30</sub>	0,0	346,0	186,1	442,9	1.092,0	0,0	220,9	92,7	248,0	0,0	2.628,6
<b>Padrão hidrológico Atrasado</b>											
Número	0	1	0	2	0	1	1	1	1	0	7
Volume	0,0	23,8	0,0	44,6	0,0	18,6	22,8	17,0	14,8	0,0	141,6
EI <sub>30</sub>	0,0	72,4	0,0	307,0	0,0	173,7	125,1	57,6	33,0	0,0	768,8
<b>Total no Período experimental de 306 dias ou 10 meses</b>											
Número	1	5	5	5	8	3	5	5	6	1	44
Volume	42,4	211,0	435,6	186,2	274,8	150,2	127,6	362,8	173,2	29,6	1.993,4
EI <sub>30</sub>	202,3	783,8	3.765,4	1.061,2	1.695,5	1.202,6	1.227,3	3.613,4	1.411,0	202,1	15.164,6

<sup>(1)</sup> Mês de agosto de 2015 à partir do dia 15

<sup>(2)</sup> Mês de junho de 2016 entre dias 1º e 15, sem ocorrência de chuvas erosivas.

**7.5 Chuvas totais e erosivas, índice de erosividade e perdas de solo e água em cada coleta, na média de três repetições por tratamento.**

Coleta	Chuvas	Índice	Sem Biomanta		Biomanta de		Sem Biomanta		Biomanta de		Sem Biomanta		Biomanta de	
			Total	Chuva Erosiva	El <sub>30</sub>	Fibra Coco	Fibra Sisal	FibraCoco	FibraSisal	FibraCoco	FibraSisal	FibraCoco	FibraSisal	
Nº	Data	(mm)	Nº	(mm)	$\left(\frac{MJ\ mm}{ha\ h}\right)$	-- Perdas de solo kg/ha --			Perdas de água em % da chuva			Perdas de água em mm		
1	28/08/2015	65,6	1	42,4	202,3	6,82	1,49	0,20	0,56	0,81	0,79	0,37	0,53	0,52
2	18/09/2015	81,4	2	66,6	260,8	607,92	1,55	1,55	4,42	3,40	2,06	3,60	2,77	1,68
3	23/09/2015	120,6	2	120,6	450,6	1.029,40	0,26	0,16	15,94	1,44	0,96	19,22	1,74	1,16
4	29/09/2015	24,0	1	23,8	72,4	803,44	0,12	0,21	27,79	0,67	0,92	6,67	0,16	0,22
5	06/10/2015	20,8	1	20,2	103,9	145,99	0,11	0,13	6,44	0,38	0,53	1,34	0,08	0,11
6	08/10/2015	174,8	1	243,8	2.354,1	11.169,96	4,65	3,06	70,92	1,04	5,65	123,97	1,82	9,88
7	10/10/2015	69,0	1	69,0	212,7	1.850,02	0,44	0,23	48,45	1,96	1,26	33,43	1,35	0,87
8	11/10/2015	42,2	1	44,6	82,2	561,24	0,00	0,07	49,12	1,09	0,78	20,73	0,46	0,33
9	15/10/2015	58,6	1	58,6	177,8	3.396,27	0,52	0,43	41,08	6,76	4,98	24,07	3,96	2,92
10	15/10/2015	25,2	1	25,2	76,2	417,71	0,13	0,19	63,73	3,73	3,53	16,06	0,94	0,89
11	22/10/2015	53,8	1	53,4	658	5.125,29	0,10	0,10	62,60	6,06	3,12	33,68	3,26	1,68
12	06/11/2015	74,6	1	67,6	311,3	849,02	0,00	0,05	24,22	0,71	0,75	18,07	0,53	0,56
13	13/11/2015	76,0	2	74	442,9	2.570,75	0,04	0,00	35,32	2,28	1,34	26,84	1,73	1,02
14	23/11/2015	54,8	2	44,6	307	644,53	0,03	0,02	11,42	0,86	0,57	6,26	0,47	0,31
15	02/12/2015	34,4	1	33	106,2	16,00	0,01	0,02	1,37	0,55	0,61	0,47	0,19	0,21
16	16/12/2015	65,6	3	62	140,7	2,48	0,00	0,00	0,14	0,20	0,21	0,09	0,13	0,14
17	22/12/2015	35,2	1	35,2	106,2	6,54	0,02	0,01	1,08	0,77	0,68	0,38	0,27	0,24
18	23/12/2005	78,4	4	179,8	1.448,6	2.673,23	2,72	3,04	33,33	11,66	5,98	26,13	9,14	4,69
19	25/12/2015	73,6	1	73,6	220,8	1.134,44	0,01	0,04	29,85	2,02	1,68	21,97	1,49	1,24
20	01/02/2016	175,2	3	150,2	1.202,6	50,25	1,53	0,67	3,57	0,76	0,59	6,25	1,34	1,03

21	04/02/2016	27,4	1	20	75,5	0,03	0,00	0,01	2,01	0,95	0,80	0,55	0,26	0,22
22	10/02/2016	23,0	1	22,8	125,1	0,37	0,27	0,17	1,17	0,96	0,74	0,27	0,22	0,17
23	15/02/2016	22,2	1	21,2	145,4	0,21	0,10	0,09	0,50	0,72	0,54	0,11	0,16	0,12
24	18/02/2016	41,0	1	39,6	677,3	17,06	0,18	0,11	5,59	0,78	0,71	2,29	0,32	0,29
25	29/02/2016	24,2	1	24	204	7,49	0,53	0,42	2,44	0,95	0,70	0,59	0,23	0,17
26	03/03/2016	144,0	1	144,4	2.463,7	30,35	4,67	1,69	8,32	3,39	1,20	11,98	4,88	1,73
27	10/03/2016	141,8	1	135,4	976,2	36,22	0,16	0,05	6,21	0,98	0,85	8,81	1,39	1,21
28	23/03/2016	49,8	2	32,4	80,8	0,38	0,70	0,49	0,44	0,64	0,54	0,22	0,32	0,27
29	29/03/2016	52,8	1	50,6	92,7	0,50	0,62	0,47	0,63	0,91	0,61	0,33	0,48	0,32
30	12/04/2016	66,8	2	30,4	62,2	1,34	1,21	0,98	0,82	0,78	0,63	0,55	0,52	0,42
31	18/04/2016	32,8	1	31,8	248	1,16	0,50	0,40	0,95	0,88	0,73	0,31	0,29	0,24
32	28/04/2016	125,6	3	111	1.100,8	74,53	7,41	2,93	4,58	2,88	1,22	5,75	3,62	1,53
33	17/05/2016	54,2	1	29,6	202,1	0,20	0,24	0,19	0,31	0,44	0,31	0,17	0,24	0,17
	15/06/2016	1,8												
	<b>Total</b>	<b>2.211,2</b>	<b>44</b>	<b>1.993,4</b>	<b>15.164,6</b>	<b>33.231,14</b>	<b>30,32</b>	<b>18,18</b>	<b>19,06</b>	<b>2,05</b>	<b>1,65</b>	<b>421,53</b>	<b>45,29</b>	<b>36,56</b>

## **8. ANEXOS**

### 8.1 Orçamentos de biomanta, fornecidos por diversas empresas em janeiro de 2015

Empresas	Local	Material	Área da bobina (m <sup>2</sup> )	Orçamento (R\$)
BM Bioengenharia Ambiental <sup>(1)</sup>	Fortaleza Ceará	Fibra de coco + Polipropileno	100	890,00
		Fibra de coco	100	320,00
		Fibra de palha	100	290,00
Projar <sup>(2)</sup>	Campinas São Paulo	Fibra de coco + juta	100	882,00
RG BioEngenharia <sup>(3)</sup>	Paracatu Minas Gerais	Fibra de coco	100	320,00
Minas Gramados <sup>(4)</sup>	Betim Minas Gerais	Fibra de coco + Polipropileno	100	790,00
		Fibra de coco	100	320,00
		Fibra de palha	100	310,00
Gramas Tapete Verde <sup>(5)</sup>	Cruzeiro do Sul RS	Grama verde Tradicional	100	700,00
		Grama Esmeralda	100	800,00

<sup>(1)</sup> <http://www.bmbioengenhariaambiental.com.br/>

<sup>(2)</sup> <http://projar.com.br/>

<sup>(3)</sup> <http://rgbioengenharia.com.br/>

<sup>(4)</sup> <http://gramados.net/>

<sup>(5)</sup> <http://gramastapeteverde.com.br/>